

2025

Itabirito /
MG

HERCULANO MINERAÇÃO LTDA



Ampliação do Empreendimento - Projeto Pellet Feed

ANM 004.254/1957 e 832.197/1986 (Tanque Seco)

**ANM 001.995/1963, 004.856/1960 e 831.175/1974 (Retiro do
Sapecado)**



ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL – EIA

VOLUME 1

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Preliminares	1
1.2 Descrição do Empreendimento Quanto aos Critérios da DN 217/2017.....	5
1.2.1 Critérios Locacionais do Empreendimento.....	5
1.2.2 Fatores de Restrição ou Vedação	12
2. IDENTIFICAÇÃO	14
2.1 Caracterização sucinta do empreendimento	14
2.2 Empresa responsável pelo empreendimento	14
2.3 Empresa responsável pela elaboração do EIA/RIMA	15
3. ESTUDO DE ALTERNATIVAS.....	16
3.1 Alternativas Locacionais	16
3.1.1 Alternativas Locacionais - Lavra (Cava A)	16
3.1.2 Alternativas Locacionais - Usina de beneficiamento	17
3.1.3 Alternativas Locacionais - Pilhas de Estéril/Rejeito (Pilha Norte e Pilha Sul)	18
3.3.3.1 Critérios para Análise de Alternativas Locacionais	23
3.3.3.2 Análise das Alternativas Locacionais	25
3.1.3.1 Conclusão e Escolha das Melhores Alternativas.....	31
3.2 Alternativas Tecnológicas	33
3.3 Alternativa Zero	37
4. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E ASPECTOS AMBIENTAIS	40
4.1 Caracterização do Empreendimento.....	40
4.2 Localização E Vias De Acesso Ao Empreendimento	43
4.3 Ampliação da Lavra	45
4.3.1 Cava A – Mina Tanque Seco.....	45
4.3.2 Continuidade do Desenvolvimento da Cava Sapecado	48
4.3.4 Barragens do Empreendimento.....	53
4.3.4.1 Barragem B1	54
4.3.4.2 Sistema de Barragens B2 / B3.....	58
4.3.4.3 Barragem B4	59

4.3.4.3.1.	Retomada dos finos da Barragem B4.....	63
4.3.5	Beneficiamento	66
4.3.5.1	Considerações Preliminares.....	66
4.3.5.2	Etapas do Processo	68
4.3.6.1	Balanço Hídrico Atual.....	86
4.3.6.2	Cenários Futuros	88
4.3.8	Disposição de Estéril / Rejeito e preenchimento de cava	94
4.3.8.1	Concepção Geral do Projeto das Pilhas de Estéril/Rejeito.....	97
4.3.8.2	Sistema de Drenagem Integrado	99
4.3.8.3	Tratamento da Fundação.....	108
4.3.8.4	Etapas Executivas.....	108
4.3.8.5	Técnica Complementar: Secagem de Rejeitos por Insolação	115
4.3.8.6	Ficha Técnica da Pilha de estéril/rejeito	118
4.3.8.6.1.	Ficha Técnica da Pilha de Estéril e Rejeito Sul – PDER Sul	118
4.3.8.6.2.	Ficha Técnica da Pilha de Estéril e Rejeito Norte – PDER Norte	119
4.3.8.7	Estudos.....	120
4.3.8.7.1.	Estudos Locacionais	120
4.3.8.7.2.	Estudos Geológico-Geotécnicos	122
4.3.8.8	Estudos Hidrológicos e Hidráulicos	226
4.3.8.9	Estudos Sedimentológicos	239
4.3.8.10	Análises de Estabilidade.....	240
4.4	Conservação da Biodiversidade.....	243
4.5	Zoneamento Ecológico-Econômico de Minas Gerais.....	256
4.5.1	Vulnerabilidade Natural.....	257
4.5.2	Potencial Social.....	259
4.5.3	Índice Ecológico-Econômico	261
4.6	Áreas Protegidas	263
4.6.1	Unidades de Conservação	263
4.6.2	Áreas de Proteção Especial - APE	267
4.6.3	Corredor Ecológico	268
4.6.4	Unidades de Conservação e APE próximas à Região do Empreendimento	269
4.7	Legislação Incidente Sobre o Empreendimento.....	280
4.7.1	Aspectos Constitucionais Relacionados.....	280
4.7.2	Legislação Ambiental - Licenciamento	282
4.7.3	Legislação Ambiental – Minas Gerais	282
4.7.4	Legislação Municipal – Município de Itabirito	283

4.7.5	Código Florestal – Supressão de Vegetação	288
4.7.6	Outorga para intervenção em recurso hídrico	289
4.7.7	Legislação Municipal.....	291
5.	ÁREA DE ESTUDO (AE)	293
5.1	Área de Estudo (AE) Para o Meio Físico	297
5.2	Área de Estudo Local (AE) Para o Biótico	301
5.3	Área de Estudo (AE) Para o Meio Socioeconômico	304
6.	DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	307
6.1	MEIO FÍSICO	307
6.1.1	Clima e meteorologia	307
6.1.1.1	Caracterização Climática Regional.....	309
6.1.1.2	Caracterização Climática Local.....	311
6.1.1.3	Conclusão.....	322
6.1.2	Qualidade do ar	322
6.1.2.1	Proximidades com Núcleos Populacionais.....	323
6.1.2.2	O monitoramento da Qualidade do Ar	324
6.1.2.3	Localização do Ponto de Medição	327
6.1.2.4	Diagnósticos da Qualidade do Ar	330
6.1.2.5	Resultado da Qualidade do Ar	338
6.1.2.6	Considerações Finais.....	338
6.1.3	Ruído Ambiental	339
6.1.3.1	Ruído Ambiental	340
6.1.3.2	Local Receptor e Ponto de Medição	342
6.1.3.3	Diagnóstico de Níveis de Ruídos	345
6.1.3.4	Resultados dos Níveis de Ruído	349
6.1.3.5	Considerações Finais.....	350
6.1.4	Geologia.....	351
6.1.4.1	Geologia Regional	351
6.1.4.2	Geologia Local.....	355
6.1.5	Geomorfologia e pedologia	357
6.1.5.1	Geomorfologia Regional	357
6.1.5.2	Geomorfologia Local.....	358
6.1.5.3	Solos.....	361
6.1.6	Espeleologia.....	365

6.1.6.1	Estudos de Prospecção Espeleológica	365
6.1.7	Recursos Hídricos e qualidade das águas superficiais e de sedimentos de fundo	
	412	
6.1.7.1	Hidrografia Regional	412
6.1.7.2	Hidrografia Local	421
6.1.7.3	Qualidade das Águas Superficiais e de sedimentos de fundo	424
6.1.7.4	Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais	424
6.1.7.5	Avaliação da Qualidade dos Sedimentos de Fundo dos Pontos de Coleta de	
Águas Superficiais	566	

Anexos

- Anexo 01 – ADA e inserção regional
- Anexo 02 – Drenagem Pilha Norte
- Anexo 03 – Drenagem Pilha Sul
- Anexo 04 – Área de Estudo - AE
- Anexo 05 – Área de estudo – fatores físicos considerados
- Anexo 06 – Área de estudo – fatores bióticos considerados
- Anexo 07 – Área de estudo – fatores socioeconômicos considerados
- Anexo 08 – Monitoramento Ambiental
- Anexo 09 – Uso e ocupação do solo
- Anexo 10 - Estudos Espeleológicos
- Anexo 11 – Áreas de Influência do Meio Físico e Biótico
- Anexo 12 – Áreas de Influência do Meio Socioeconômico
- Anexo 13 – Anotação de Responsabilidade Técnica
- Anexo 14 – Cadastro Técnico Federal – IBAMA

Figuras

Figura 1 - ADA do presente licenciamento em imagem de satélite.....	1
Figura 2 – ADA do presente licenciamento, a qual engloba a área de lavra (Cava A) e das Pilhas de Estéril / Rejeito (Pilha Norte e Pilha Sul) e os acessos.....	2
Figura 3 - Vista geral do conjunto das áreas que integram o empreendimento minerário da Herculano, observando-se a esquerda o local das áreas de apoio e do beneficiamento, além da jazida de minério de ferro existente nos Processos ANM nº 004.254/1957 e nº 832.197/1986, no local denominado Tanque Seco, e a direita da ilustração, as áreas nas quais vem sendo explotados o minério de ferro, no local denominado Sapecado, Processos ANM nº 001.995/1963, nº 004.856/1960 e nº 831.175/2022.	3
Figura 4 - Vista das áreas nas quais vem sendo explotados o minério de ferro, no local denominado Sapecado, Processos ANM nº 001.995/1963, nº 004.856/1960 e nº 831.175/2022.	4
Figura 5 - Critério locacional de enquadramento: Localização prevista em zona de amortecimento de Unidade de Conservação de Proteção Integral estabelecida em Plano de Manejo, no presente caso na Zona de Amortecimento da unidade de conservação Estação Ecológica de Arêdes.....	6
Figura 6 - Critério locacional de enquadramento: Localização prevista em zona de amortecimento de Unidade de Conservação de Proteção Integral, ou na faixa de 3 km do seu entorno. No presente caso A ADA está no raio de 3 km da unidade de conservação Reserva Biológica Municipal Campos Rupestres de Moeda Sul.....	7
Figura 7 - Critério locacional de enquadramento: Localização prevista em zona de amortecimento de Unidade de Conservação de Proteção Integral, ou na faixa de 3 km do seu entorno. No presente caso a ADA está no raio de 3 km da unidade de conservação Reserva Biológica Municipal Campos Rupestres de Moeda Norte.....	8
Figura 8 - Critério locacional de enquadramento: Localização prevista em zona de amortecimento de Unidade de Conservação de Proteção Integral, ou na faixa de 3 km do seu entorno. No presente caso a ADA está no raio de 3 km da unidade de conservação Monumento Natural Municipal Mãe D'água.	9
Figura 9 - Critério locacional de enquadramento: Localização prevista em Reserva da Biosfera, excluídas as áreas urbanas. A figura mostra a ADA na área da Amortecimento da Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço.....	10
Figura 10 - Critério locacional de enquadramento: Localização prevista em Reserva da Biosfera, excluídas as áreas urbanas. A figura mostra a ADA na área da Amortecimento da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica.	11
Figura 11 - Localização da área de lavra pleiteada (Cava A).	17
Figura 12 – Localização das alternativas locacionais das Pilhas de Estéril/Rejeito.....	20
Figura 13 - Localização das alternativas locacionais das Pilhas de Estéril/Rejeito.....	21
Figura 14 - Localização das alternativas locacionais das Pilhas de Estéril/Rejeito frente ao mapa geológico de Itabirito e Casa de Pedra.	22
Figura 15 - Localização da Alternativa 1 - Pilha Norte	27

<i>Figura 16 - Localização da Alternativa 2 – Pilha Sul.</i>	28
<i>Figura 17 – Localização da Alternativa 3 – Pilha Eucalipto.</i>	29
<i>Figura 18 – Localização da Alternativa 4 - Oeste Vale.</i>	30
<i>Figura 19 – Localização da Alternativa 5 – Noroeste Vale.</i>	31
<i>Figura 20 - Foto ilustrativa das bancadas da lavra do Sapecado.</i>	33
Figura 21 - Foto mostrando o conjunto escavadeira / caminhão basculante normalmente empregado na frente de lavra.	34
Figura 22 - Estruturas atuais da Unidade Operacional da Herculano Mineração em Itabirito / MG.	41
Figura 23 - Vista em detalhe das áreas da lavra praticada atualmente pela Herculano Mineração na mina do Sapecado, Processos ANM 004.856/1960, 001.995/1963 e 831.175/2022.	42
Figura 24 - Localização e vias de acesso ao empreendimento da Herculano Mineração, em Itabirito / MG.	44
Figura 25 - Cava A da Mina do Tanque Seco em sua configuração planejada.	47
Figura 26 - Visão tridimensional da Cava A, na mina do Tanque Seco, a ser desenvolvida nas áreas dos Processos ANM 4.254/1957 e 832.197/1986.	48
<i>Figura 27 – Vista em detalhe das áreas da lavra praticada atualmente pela Herculano Mineração na Mina do Retiro do Sapecado, Processos ANM 004.856/1960 e 001.995/1963 e 831.175/2022.</i>	49
Figura 28 - Evolução da produção de ROM, ampliando-se a escala para compensar os minérios cada vez mais pobres em ferro e obter um acréscimo no volume de produtos.	51
Figura 29 - Evolução da produção anual de ROM, bem como da geração de produtos e rejeitos, observando-se a geração crescente de rejeitos prevista, em razão da existência de minérios mais pobres na medida em que se aprofunda a principal cava (Sapecado).	51
Figura 30 - Localização da ADA do licenciamento atual e a localização das barragens B1, B2, B3 e B4.	53
Figura 31 - Histórico da Barragem B1.	54
Figura 32 - Registro fotográfico da remoção dos rejeitos da Barragem B1, em suas fases iniciais.	55
Figura 33 - Registro fotográfico da remoção dos rejeitos da Barragem B1.	56
Figura 34 - Vista aérea panorâmica da área do empreendimento da Herculano Mineração no Tanque Seco, em destaque, a área da Barragem B1, já oficialmente descaracterizada, destacando-se sua total reconformação, com a retirada dos rejeitos remanescentes, implantação de sistema de drenagem e revegetação.	56
Figura 35 - Vista aérea da área da Barragem B1, já oficialmente descaracterizada, destacando-se sua total reconformação.	57
Figura 36 - Vista aérea panorâmica próxima da área da Barragem B1, já oficialmente descaracterizada, destacando-se sua total reconformação, com a retirada dos rejeitos remanescentes, implantação de sistema de drenagem e revegetação, observando-se ao fundo as barragens B2 e B3.	57
Figura 37 - Vista da Barragem B2 e B3.	58
Figura 38 – Localização da B1 que se encontra oficialmente descaracterizada, e a localização da Barragem B2 e B3.	59

Figura 39 - Vista da área da Barragem B4.	60
Figura 40 - Linha do tempo da descaracterização de B4.	61
Figura 41 – Vista da Barragem B4, a partir da sua crista, do sentido montante para jusante. Observando ao fundo o reservatório de água desativado.	62
Figura 42 – Vista do taludes de jusante da Barragem B4, observando-se a estrutura filtrante em sua base (blocos de enrocamento).	62
Figura 43 – Vista da bacia de acumulação de rejeitos da Barragem B4, em processo de descaracterização, observando-se os cortes realizados por escavação mecânica para remoção dos materiais e encaminhamento para a planta de beneficiamento.	63
Figura 44 – Retomada dos rejeitos da Barragem B4.	63
Figura 45 - Vista aérea Barragem B4 e evidenciando os cortes mecânicos em sua bacia de acumulação de rejeitos, operações que fazem parte de seu processo de descaracterização.	65
Figura 46 - Vista panorâmica da área da ITM.	67
Figura 47 - Vista panorâmica da área da ITM.	67
Figura 48 – Pátio de Alimentação e Britagem Primária.	69
Figura 49 - Peneiramento e Britagem secundária.	71
Figura 50 - Peneiramento e Britagens Terciária e Quaternária.	72
Figura 51 – Circuito opcional Peneiramento e Britagem Secundária.	74
Figura 52 – Britagem/ Peneiramento a Seco.	75
Figura 53 – Circuito Peneiramento a Seco, Moagem e Classificação.	76
Figura 54 – Separação Magnética Média Intensidade.	77
Figura 55 – Concentração por Espirais Concentradoras.	78
Figura 56 – Concentração Magnética.	80
Figura 57 – Peneiramento de Alta Frequência e Flotação.	81
Figura 58 – Espessamento e Filtragem de Concentrado.	82
Figura 59 – Deslamagem, Espessamento e Filtragem de Rejeitos.	83
Figura 60 – Fluxograma Simplificado.	84
Figura 61 – Detalhe do muro de alvenaria e do bom aspecto das vias de rolamento e das canaletas laterais de drenagem da via de ligação entre a HERCULANO e a BR-040.	92
Figura 62 – Muro recém reestruturado, reforçado e com altura aumentada, em grande extensão na divisa da via com as habitações vizinhas.	93
Figura 63 – Vista da extensão da via mais próxima à BR-040, mostrando o bom acréscimo na altura do muro, o que pode ser conferido ao fazer um comparativo do mesmo em relação à altura do caminhão que está na via.	93
Figura 64 - Estruturas focalizadas no presente processo de ampliação do empreendimento, que inclui duas pilhas de estéril/rejeito, Pilha Norte e Pilha Sul, sendo que esta recobrirá a futura Cava A, também parte do projeto (Preenchimento de Cava).	96

Figura 65 – Drenagem superficial da Pilha Norte.	100
Figura 66 – Drenagem superficial da Pilha Sul.	101
Figura 67 – Drenagem interna da Pilha Norte.	102
Figura 68 – Drenagem interna da Pilha Sul.	105
Figura 69 – Contexto geográfico, na bacia do Alto Rio das Velhas e geológico do empreendimento da Herculano Mineração, na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero.	123
Figura 70 – Vista do Quadrilátero Ferrífero em imagem do satélite Landsat 7, destacando-se a localização do empreendimento da Herculano no Platô do Sinclinal Moeda.	123
Figura 71 – Mapa Hipsométrico do Sinclinal Moeda extraído de Oliveira (2012).	125
Figura 72 – Vista do Sinclinal Moeda em imagem de satélite Landsat -5 TM composição colorida RGB-743 para o ano de 2011, extraído de Oliveira (2012).	126
Figura 73 – Compartimentação geológica dos processos ANM nº 004.254/1957 – nº 832.197/1986.	129
Figura 74 – Seção transversal ao Sinclinal Moeda.	135
Figura 75 – Mapa geológico da região do Tanque Seco, onde está inserido o empreendimento.	136
Figura 76 – Locais onde foram realizadas as investigações.	144
Figura 77 – Perfis individuais reduzidos (SM-01 a SM-06) das sondagens realizadas e dos instrumentos instalados (mini-logs) – Campanha 2022.	154
Figura 78 – Perfis individuais reduzidos das sondagens realizadas (SM-07) e dos instrumentos instalados (mini-logs) – Campanha 2022.	155
Figura 79 – Log de sondagem SM-11 Campanha 2025 1/4.	156
Figura 80 – Log de sondagem SM-11 Campanha 2025 2/4.	157
Figura 81 – Log de sondagem SM-11 Campanha 2025 3/4.	158
Figura 82 – Log de sondagem SM-11 Campanha 2025 4/4.	159
Figura 83 – Log de sondagem SM-12 Campanha 2025 1/2.	160
Figura 84 – Log de sondagem SM-12 Campanha 2025 2/2.	161
Figura 85 – Log de sondagem SM-14 Campanha 2025 1/4.	162
Figura 86 – Log de sondagem SM-14 Campanha 2025 2/4.	163
Figura 87 – Log de sondagem SM-14 Campanha 2025 3/4.	164
Figura 88 – Log de sondagem SM-14 Campanha 2025 4/4.	165
Figura 89 – Log de sondagem SM-16 Campanha 2025 1/4.	166
Figura 90 – Log de sondagem SM-16 Campanha 2025 2/4.	167
Figura 91 – Log de sondagem SM-16 Campanha 2025 3/4.	168
Figura 92 – Log de sondagem SM-16 Campanha 2025 4/4.	169
Figura 93 – Instrumentação Geotécnica – Pilha Sul.	173
Figura 94 – Instrumentação Geotécnica – Pilha Sul.	174
Figura 95 – Granulometria da fundação – SM-05 amostra “shelby”.	175
Figura 96 – Ensaio Triaxial – SM-05 44,00 – 44,80 m.	177

Figura 97 – <i>Locação das investigações realizadas PDER Norte.....</i>	180
Figura 98 – <i>SM-01, SM-02 e SM-03 – Perfis Individuais de Sondagens Resumidos (Mini-logs) (Campanha 2019 e 2021).....</i>	204
Figura 99 – <i>SM-04, SM-05 e SM-08 – Perfis Individuais de Sondagens Resumidos (Mini-logs) (Campanha 2019 e 2021).....</i>	205
Figura 100 – <i>Perfis Individuais Resumidos / Legendas e Convenções (Campanha 2019 e 2021).....</i>	206
Figura 101 – <i>Perfis Individuais SP-01 (Campanha 2025).....</i>	207
Figura 102 – <i>Perfis Individuais SP-02 (Campanha 2025).....</i>	208
Figura 103 – <i>Perfis Individuais SP-03 (Campanha 2025).....</i>	209
Figura 104 – <i>Perfis Individuais SP-04 (Campanha 2025).....</i>	210
Figura 105 – <i>Perfis Individuais SP-05 (Campanha 2025).....</i>	211
Figura 106 – <i>Perfis Individuais SP-06 (Campanha 2025).....</i>	212
Figura 107 – <i>Perfis Individuais SP-07 (Campanha 2025).....</i>	213
Figura 108 – <i>Perfis Individuais SP-08 (Campanha 2025).....</i>	214
Figura 109 – <i>Perfis Individuais SP-09 (Campanha 2025).....</i>	215
Figura 110 – <i>Perfis Individuais SP-10 (Campanha 2025).....</i>	216
Figura 111 – <i>Locação das instrumentações existentes (PDER Norte).</i>	222
Figura 112 – <i>Granulometria – SM-25A – Amostra 0025.</i>	223
Figura 113 – <i>Ensaio Triaxial – SM-25A Amostra 0025 – 7,00 a 8,00 m.</i>	225
Figura 114 – <i>Localização das Estações Pluviométricas.</i>	229
Figura 115 – <i>Curva de Dupla Acumulação – Estação Lagoa Grande.</i>	230
Figura 116 – <i>Curva de Dupla Acumulação – Estação Rio do Peixe.....</i>	231
Figura 117 – <i>Curva de Dupla Acumulação – Estação Represa das Codornas.....</i>	231
Figura 118 – <i>Curva de Dupla Acumulação – Estação Represa do Miguelão.</i>	232
Figura 119 – <i>Curva de Dupla Acumulação – Estação Itabirito Linígrafo.</i>	232
Figura 120 – <i>Estação Lagoa Grande – Curva Cronológica.</i>	234
Figura 121 – <i>Estação Lagoa Grande – Histograma de Frequências.....</i>	235
Figura 122 – <i>Precipitação x Tempo de Retorno – Distribuição GEV.....</i>	238
Figura 123 – <i>Área do empreendimento representada no mapa das Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade em Minas Gerais.</i>	245
Figura 124 – <i>Localização do empreendimento representada no mapa de áreas prioritárias para a conservação de invertebrados em Minas Gerais.</i>	249
Figura 125 – <i>Localização do empreendimento representada no mapa de áreas prioritárias para a conservação de répteis e anfíbios em Minas Gerais.....</i>	250
Figura 126 – <i>Localização do empreendimento representada no mapa de áreas prioritárias para a conservação de aves em Minas Gerais.....</i>	251

Figura 127 – Localização do empreendimento representada no mapa de áreas prioritárias para a conservação de mamíferos em Minas Gerais.	253
Figura 128 - Localização do empreendimento representada no mapa de áreas prioritárias para a conservação de peixes em Minas Gerais.	254
Figura 129 - Localização do empreendimento representada no mapa de áreas prioritárias para a conservação da flora em Minas Gerais.	255
Figura 130 - Vulnerabilidade Natural da Área Diretamente Afetada – ADA pelo empreendimento.	258
Figura 131 - Potencialidade Social da Área Diretamente Afetada – ADA pelo empreendimento.	260
Figura 132 - Zona Ecológico-Econômica da Área Diretamente Afetada - ADA.	262
Figura 133 – Localização da ADA em relação à localização do Corredor Ecológico Serra da Moeda Arêdes.	269
Figura 134 – Unidades de Conservação e APE situadas no entorno da região do empreendimento.	271
Figura 135 – Localização do empreendimento frente às Zonas de amortecimento de UCs definidas em Plano de Manejo e Zonas de amortecimento de UCs definidas por raio de 3 km.	272
Figura 136 – Localização do empreendimento frente à Zona de amortecimento, definida em Plano de Manejo, da Estação Ecológica de Arêdes.	276
Figura 137 – Localização do empreendimento frente à Zona de amortecimento, definida pelo raio de 3km, do Monumento Natural Municipal Mãe D'Água.	277
Figura 138 – Localização do empreendimento frente à Zona de amortecimento da Reserva Biológica Campos Rupestres de Moeda Norte.	279
Figura 139 – Localização do empreendimento frente à Zona de amortecimento da Reserva Biológica Campos Rupestres de Moeda Sul.	280
Figura 140 - Macrozoneamento municipal de Itabirito-MG.	286
Figura 141 - Detalhe da zona URBE BR-040, na qual se situam os objetos do presente licenciamento.	287
Figura 142 - Levantamento de dados na Área de Estudo (AE) para caracterizar o contexto biológico, físico e socioeconômico da região do empreendimento para posterior análise das informações levantadas.	294
Figura 143 - Área de Estudo para o meio físico, biótico e socioeconômico - imagem de satélite.	296
Figura 144 - Área de Estudo.	299
Figura 145 - Área de Estudo (AE) e fatores físicos considerados para a sua delimitação - Meio Físico.	300
Figura 146 - Área de Estudo.	302
Figura 147 - Área de Estudo (AE) e fatores biológicos considerados em sua delimitação – Meio Biótico. ...	303
Figura 148 - Área de Estudo.	305
Figura 149 - Área de Estudo (AE) e fatores socioeconômicos analisados e considerados em sua delimitação - Meio Socioeconômico.	306
Figura 150 - Localização da estação utilizada (Fonte: INMET).	308
Figura 151 - Atuação dos Sistemas Frontais, em escala sinótica, na região de Itabirito.	310
Figura 152 - Atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) no Estado de Minas Gerais.	310

Figura 153 - Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....	311
Figura 154 - Comportamento climatológico da precipitação (mm).	312
Figura 155 - Comportamento climatológico do número de dias de chuvas mensais.	313
Figura 156 - Comportamento climatológico da precipitação (mm) máxima em 24 horas.....	313
Figura 157 - Comportamento climatológico – coeficiente precipitação / evaporação.	314
Figura 158 - Comportamento climatológico das temperaturas médias máximas e mínimas.	315
Figura 159 - Comportamento climatológico das temperaturas mínimas absolutas.	316
Figura 160 - Comportamento climatológico das temperaturas máximas absolutas.	316
Figura 161 - Comportamento climatológico da umidade relativa do ar.	317
Figura 162 - Comportamento climatológico da nebulosidade.	318
Figura 163 - Comportamento climatológico da pressão atmosférica.	319
Figura 164- Comportamento climatológico da insolação total mensal.	320
Figura 165 - Direção predominante dos ventos, média aplicada à região de Itabirito.	321
Figura 166 - Comportamento climatológico da velocidade média dos ventos.....	321
Figura 167 - Núcleos populacionais na proximidade da área da mina Tanque Seco.	324
Figura 168 - Ponto de medição com os instrumentos para medições de partículas atmosféricas.	328
Figura 169 – Localização do Ponto de medição com os instrumentos para medições de partículas atmosféricas.	329
Figura 170 - Ponto de medição com os instrumentos para medições de níveis de ruído.....	342
Figura 171 – Localização do Ponto de medição com os instrumentos para medições de ruídos.	343
Figura 172 – Caracterização das Fontes Sonoras (ruídos) verificadas na área do monitoramento na Herculano Mineração e apresentadas no Anexo do relatório da ECOAR de janeiro de 2025.	349
Figura 173- Mapa Geológico simplificado do Quadrilátero Ferrífero (Alkimin & Marshak, 1998).....	352
Figura 174 - Compartimentação geológica dos processos ANM nº 4254/1957 e nº 832.197/1986.	355
Figura 175 - Compartimentação geomorfológica.	360
Figura 176- Indicação da área de estudo no Mapa de Solos de Minas Gerais (2010).....	361
Figura 177 - Estrutura Alvo do processo de licenciamento e seu raio de influência de 250 m.	366
Figura 178 - Cavidades relacionadas em cadastros oficiais, na região de inserção do alvo de licenciamento.	377
Figura 179– (A) Processo genético de cavidades geradas a partir de processos exógenos (erosivos), onde o substrato subjacente a canga é lateralmente erodida; (B) Processo genético de cavidades formadas por processos endógenos (dissolução), onde zona de contato entre o itabirito e a canga sofre processo de dissolução. Segundo (Stavale, 2007).	383
Figura 180 – Compartimentação geomorfológica da região.	388
Figura 181 – Mapa Hipsométrico da Unidade Geomorfológica Serra da Serpentina exibindo a posição da área de influência do empreendimento.....	389

<i>Figura 182 - Mapa de potencial espeleológico da região onde se insere o empreendimento, segundo o potencial estabelecido pelo CECav-ICMBio (Escala 1:2.500.000).</i>	<i>393</i>
<i>Figura 183 - Mapa de potencial espeleológico das Folhas Casa de Pedra e Itabirito para a região onde se insere o empreendimento, seguindo os critérios de potencial estabelecidos pelo CECav-ICMBio.</i>	<i>395</i>
<i>Figura 184 - Caminhamento Espeleológico.</i>	<i>398</i>
<i>Figura 185 - Pontos de Campo.....</i>	<i>400</i>
Figura 186 - Bacia do Rio São Francisco, em destaque a bacia do rio das Velhas e o Estado de Minas Gerais.	413
Figura 187 - Localização da UPGRH Velhas.....	414
Figura 188 - Rio das Velhas e seus afluentes.....	415
Figura 189 - Subdivisões da bacia hidrográfica do Rio das Velhas.....	418
Figura 190 – Localização da ADA na Bacia do Rio das Velhas e sua localização em relação ao SCBH Itabirito.	419
Figura 191 - Bacia do Rio das Velhas e SCBH Rio Itabirito.	421
Figura 192 - Hidrografia local do empreendimento da Herculano Mineração, destacando-se a área diretamente afetada (ADA).	423
Figura 193 - Imagem satélite e IBGE do projeto da Herculano Mineração destacando o local da ADA do Tanque Seco, objeto do licenciamento, e a região do Retiro do Sapecado, integrantes do Projeto Minerário da Herculano em estudo e a localização dos pontos de águas superficiais.	428
Figura 194 - Imagem satélite e IBGE do projeto da Herculano Mineração destacando o local da ADA do Tanque Seco, objeto do licenciamento, e a região do Retiro do Sapecado, integrantes do Projeto Minerário da Herculano em estudo e a localização dos pontos de águas superficiais.	429
Figura 195 - Mapa da bacia do rio São Francisco e inserção da sub-bacia do rio das Velhas.....	434
Figura 196 - Bacia do rio das Velhas destacando os 51 municípios.	435
Figura 197 - Rio das Velhas.	436
Figura 198 - Rio Itabirito e o encontro com o rio das Velhas.	437
Figura 199 - Rio das Velhas.	437
Figura 200 - Imagem satélite Google Earth com situação atual da atividade minerária na região de inserção do empreendimento.	439
Figura 201 - Bacia hidrográfica do rio Itabirito, MG.	440
Figura 202 - Registro fotográfico de alguns afluentes do rio Itabirito.	441
Figura 203 - Diagrama unifilar da bacia do rio Itabirito.	443
Figura 204 - Hidrografia local do empreendimento da Herculano Mineração, destacando-se a área diretamente afetada (ADA).	444
Figura 205 - Outorgas de direito de uso de recursos hídricos - All e AID.	447
Figura 206 - Cadastros de usos insignificantes de recursos hídricos - All e AID.	449
Figura 207 - Usos das Águas e Classes de Enquadramento segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005... 	451

Figura 208 - Enquadramento dos principais cursos de água da bacia do rio Itabirito.	453
Figura 209 - Modelos das estruturas moleculares dos ácidos húmico e fúlvico.....	455
Figura 210 - Filtragem de uma Amostra de água (sólidos suspensos e dissolvidos).	456
Figura 211 - Cone Imhoff.....	456
Figura 212 - Encontro das águas do rio Negro (à direita), menos turvo, com as do rio Solimões, que possui muitas partículas em suspensão.	458
Figura 213 - Escala de pH.	459
Figura 214 - Formas de entrada e saída do oxigênio dissolvido da água.....	461
Figura 215 - Modelo da estrutura química do Alquilbenzeno sulfonato de sódio - ABS.	462
Figura 216 - Modelo da estrutura química do sulfonato de alquil benzeno – LAS.	463
Figura 217 - Exemplo de água eutrofizada (Lagoa eutrofizada/área alagada - Parque Ecológico do Tietê - Núcleo Engenheiro Goulart, São Paulo, SP, Brasil).	464
Figura 218 - Transporte e bioacumulação do Hg.	473
Figura 219 - Ciclo do mercúrio em ambientes naturais.....	475
Figura 220 - Bactérias do grupo coliformes.	484
Figura 221 - Escherichia coli.	485
Figura 222 - Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas.	488
Figura 223 - Local de coleta do ponto P1.	491
Figura 224 - Local de coleta realizada no ponto P1.	492
Figura 225 - Local de coleta realizada no ponto P1 na data 16/09/24.	493
Figura 226 - Resultados de pH obtidos no ponto P1 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	494
Figura 227 - Resultados de condutividade elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) e sólidos dissolvidos totais ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$) obtidos no ponto P1, no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	496
Figura 228 - Resultados de sólidos totais ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$) obtidos no ponto P1 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	497
Figura 229 - Resultados de sólidos suspensos ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$) e turbidez (UNT) obtidos no ponto P1 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.....	498
Figura 230 - Resultados de óleos e graxas ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$) obtidos no ponto P1 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	499
Figura 231 - Resultados de ferro solúvel ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$) e ferro total ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$) obtidos no ponto P1 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.....	500

Figura 232 - Resultados de manganês total (mg.L^{-1}) e manganês solúvel (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P1 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	500
Figura 233 - Resultados de cor (mgPt.L^{-1}) obtidos no ponto P1 no período de 2017 a 2021 (médias anuais), no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	501
Figura 234 - Resultados de OD (mg.L^{-1}) e DBO (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P1 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	502
Figura 235 - Resultados de DQO (mg.L^{-1}) e DBO (mg.L^{-1}) obtidos no ponto no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	504
Figura 236 - Resultados de temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) obtidos no ponto P1 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	505
Figura 237 - Resultados do grupo coliformes (NMP.100 mL^{-1}) obtidos no ponto P1 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	506
Figura 238 - Local de coleta do ponto P2	512
Figura 239 - Detalhe visual da água no ponto P2	513
Figura 240 - Registro fotográfico do local de coleta do ponto P2	517
Figura 241 - Registro fotográfico do local de coleta do ponto P2 na data 16/09/24.	518
Figura 242 - Resultados de pH obtidos no ponto P2 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	519
Figura 243 - Resultados de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) e sólidos dissolvidos totais (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P2 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	519
Figura 244 - Resultados de sólidos suspensos (mg.L^{-1}) e turbidez (UNT) obtidos no ponto P2 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	520
Figura 245 - Resultados de sólidos totais (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P2 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	521
Figura 246 - Resultados de óleos e graxas (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P2 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	522
Figura 247 - Resultados de ferro solúvel (mg.L^{-1}) e ferro total (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P2 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	523

Figura 248 - Resultados de manganês solúvel (mg.L^{-1}) e manganês total (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P2 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	524
Figura 249 - Resultados de cor (mgPt.L^{-1}) obtidos no ponto P2 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	525
Figura 250 - Resultados de OD (mg.L^{-1}) e DBO (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P2 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	525
Figura 251 - Resultados da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) obtidos no ponto P2 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	526
Figura 252 - Resultados de <i>Enterococos faecium</i> e <i>faecalis</i> (NMP.100 mL^{-1}), coliformes totais (NMP.100 mL^{-1}) e <i>E. coli</i> (NMP.100 mL^{-1}) obtidos no ponto P2 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.	528
Figura 253 - Local de coleta do ponto P3	534
Figura 254 - Detalhe visual da qualidade da água do ponto de monitoramento P3 , situado no ribeirão Silva, a jusante do atual e do futuro empreendimento da Herculano Mineração.	535
Figura 255 - Registro fotográfico da qualidade visual da água no ponto P3 no período de 2017 a janeiro de 2025.	536
Figura 256 - Registro fotográfico da qualidade visual da água no ponto P3 na data 16/09/24.	537
Figura 257 - Resultados de pH obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.	538
Figura 258 - Resultados de condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$) e sólidos dissolvidos totais (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.	539
Figura 259 - Resultados de turbidez (UNT) e sólidos suspensos (mg.L^{-1}) obtidos no P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.	540
Figura 260 - Resultados de sólidos totais (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024. ...	541
Figura 261 - Resultados de óleos e graxas (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024. ...	542
Figura 262 - Resultados de ferro solúvel (mg.L^{-1}) e ferro total (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.	542

Figura 263 - Resultados de manganês solúvel (mg.L^{-1}) e manganês total (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.	543
Figura 264 - Resultados de cor (mgPt.L^{-1}) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.	544
Figura 265 - Resultados de OD (mg.L^{-1}) e DBO (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.	545
Figura 266 - Resultados de temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.	546
Figura 267 - Resultados de <i>Enterococos faecium</i> e <i>faecalis</i> (NMP.100 mL^{-1}) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.	546
Figura 268 - Resultados de <i>E. coli</i> (NMP.100 mL^{-1}) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024. ...	547
Figura 269 - Local de coleta do ponto P14.	553
Figura 270 - Detalhe visual da qualidade da água do ponto de monitoramento P14, situado no Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes.	555
Figura 271 - Detalhe visual da qualidade da água no local do ponto P14 na data 16/09/24.	556
Figura 272 – Rota de contaminação dos contaminantes nos sedimentos.	567
Figura 273 - Imagem satélite contendo os locais dos pontos de sedimento de fundo de águas superficiais.	571
Figura 274 - Imagem IBGE contendo os locais dos pontos de sedimento de fundo de águas superficiais.	572
Figura 275 - Local de coleta de água e sedimento no ponto P1.	573
Figura 276 - Local de coleta de água e de sedimento no ponto P2.	574
Figura 277 - Local de coleta de sedimento no ponto P3.	575
Figura 278 - Local de coleta de sedimento no ponto P14.	576
Figura 279 - Rede para coleta de sedimento para análise de comunidades bentônicas.	577
Figura 280 - Classificação de contaminantes químicos em cinco faixas de qualidade e sua relação com os critérios TEL e PEL.	580
Figura 281 - Resultados de alumínio em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.	582
Figura 282 - Resultados de arsênio em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.	584
Figura 283 - Resultados de bário em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.	585
Figura 284 - Resultados de berílio em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.	587
Figura 285 - Resultados de cádmio em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.	588
Figura 286 - Resultados de chumbo em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.	589

Figura 287 - Resultados de cobalto em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.	591
Figura 288 - Resultados de cobre em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.....	593
Figura 289 - Resultados de mercúrio em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.	595
Figura 290 - Resultados de níquel em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.....	596
Figura 291 - Resultados de zinco em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/2024.	598
Figura 292 - Resultados de selênio em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/2024.	599
Figura 293 - Resultados de ferro em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/2024.....	601
Figura 294 - Resultados de manganês em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/2024.....	602
Figura 295 - Resultados de pH em sedimentos coletados em 16/09/24.	603
Figura 296 - Resultados de óxido de alumínio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados em 16/09/2024.....	604
Figura 297 - Resultados de óxido de cálcio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados em 16/09/24.	605
Figura 298 - Resultados de óxido férrico (%) em sedimentos coletados em 16/09/24.	606
Figura 299 - Resultados de óxido de magnésio (mg.Kg^{-1}) em sedimentos coletados em 16/09/2024.....	607
Figura 300 - Resultados de óxido de manganês (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados em 16/09/2024.....	608
Figura 301 - Resultados de óxido de potássio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados em 16/09/2024.	609
Figura 302 - Resultados de óxido de sódio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados em 16/09/2024.	610
Figura 303 - Resultados de óxido de silício (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados em 16/09/2024.....	611
Figura 304 - Resultados de dióxido de titânio (%) em sedimentos coletados em 16/09/09/24.	613
Figura 305 - Resultados de pentóxido de fósforo (%) em sedimentos coletados em 16/09/2024.	614
Figura 306 - Resultados de matéria orgânica (%) em sedimentos coletados em 16/09/2024.....	615
Figura 307 - Metais em sedimento de fundo de água doce (mg.kg^{-1}) em quatro pontos de coleta.	616
Figura 308 - Metais em sedimento de fundo de água doce (mg.kg^{-1}) em quatro pontos de coleta sem o bário e o alumínio.	617
Figura 309 - Óxido de ferro (%) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta.	619
Figura 310 - Óxido de manganês (mg.kg^{-1}) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta.....	619
Figura 311 - Óxidos (mg.kg^{-1}) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta.	620
Figura 312 - Óxidos de ferro e manganês (mg.kg^{-1}) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta. Continua.....	621
Figura 313 - Óxidos de ferro e manganês (mg.kg^{-1}) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta.	621
Figura 314 - Óxido de fósforo (mg.kg^{-1}) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta.	622
Figura 315 - Óxido de silício e potássio (mg.kg^{-1}) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta.....	622
Figura 316 - Imagem satélite Google Earth com situação atual da atividade minerária pela região do empreendimento.	624

Tabelas

Tabela 1 - Fatores de Restrição ou Vedação.	13
Tabela 2 - Características operacionais e ambientais comparativas das pilhas estudadas.	19
Tabela 3 - Projeção da produção de run of mine (ROM) a partir das Cavas do Sapecado e Cava A (Tanque Seco).	50
Tabela 4 - Balanço de Massa para estimativa de massas e volumes.	52
Tabela 5 - Cronograma das obras de descaracterização da Barragem B4.	61
Tabela 6 - Consumo de água (m³/dia) – Situação Atual.	87
Tabela 7 - Fontes de Abastecimento.	87
Tabela 8 - Consumo de água (m³/dia) – Produção de ROM 5.350.000 t/ano.	88
Tabela 9 - Consumo de água (m³/dia) – Produção de ROM 7.600.000 t/ano.	89
Tabela 10 - Consumo de água (m³/dia) – Produção de ROM 8.800.000 t/ano.	90
Tabela 11 - Consumo de água (m³/dia) – Produção de ROM 10.200.000 t/ano.	91
Tabela 12 - Quantitativos de estéril e rejeitos a serem dispostos.	95
Tabela 13 – Coordenada dos pontos da Pilha Norte (PDER Norte): Pontos Notáveis - Drenos.	103
Tabela 14 – Coordenada dos pontos da Pilha Sul (PDER Sul): Pontos Notáveis - Drenos.	106
Tabela 15 - Ficha Técnica da Pilha de Estéril e Rejeito Sul – PDER Sul.	118
Tabela 16 - Ficha Técnica da Pilha de Estéril e Rejeito Norte – PDER Norte.	119
Tabela 17 – Principais sistemas hidrogeológicos do Sinclinal Moeda, respectivas unidades, com espessuras e valores típicos de condutividade hidráulica.	134
Tabela 18 – Características gerais das sondagens realizadas (ano 2022).	142
Tabela 19 – Características gerais das sondagens realizadas (ano 2025).	143
Tabela 20 – Síntese dos resultados das resistências à penetração do amostrador padrão SPT nas sondagens executadas.	153
Tabela 21 – Características gerais das sondagens realizadas na PDER Sul (ano 2022).	172
Tabela 22 – Características gerais das sondagens realizadas na PDER Sul (ano 2025).	172
Tabela 23 – Ensaio de Granulometria – Fundação.	175
Tabela 24 – Densidades e Umidade – Fundação.	176
Tabela 25 – Plasticidade – Fundação.	176
Tabela 26 – Resistência – Fundação.	176
Tabela 27 – Características gerais das sondagens realizadas na PDER Norte (ano 2019 e 2021).	178
Tabela 28 – Características gerais das sondagens realizadas na PDER Norte (07-2025).	179
Tabela 29 – Penetrabilidade e Permeabilidade / Média das Médias, do Máximos e dos Mínimos dos Materiais Terrosos (campanha 2019 e 2021).	203
Tabela 30 – Características gerais dos instrumentos instalados na fundação da PDER Norte.	221
Tabela 31 – Ensaio de Granulometria.	223

Tabela 32 – Umidade Natural e Densidades.	224
Tabela 33 – Índices Físicos.	224
Tabela 34 – Limites.	224
Tabela 35 – Resistência.	225
Tabela 36 – Normais climatológicas.	228
Tabela 37 – Estações pluviométricas inventariadas.	228
Tabela 38 – Estação Lagoa Grande – Altura de Chuva (mm) – Diária Máxima Anual.	233
Tabela 39 – Estação Lagoa Grande – Estatística de Base.	235
Tabela 40 – Distribuição de Probabilidade.	237
Tabela 41 – Quantis – GEV.	238
Tabela 42 – Altura Pluviométrica Total (mm) – Distribuição GEV.	239
Tabela 43 – Categorias de potencialidade social dos municípios de Minas Gerais.	260
Tabela 44 – Tipologias e categorias de unidades de conservação de acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (Lei nº 9.985/2000).	265
Tabela 45 - Concentrações de Material Particulado PM₁₀ (µg/m³) no ponto P-01 Condomínio Villa Bella.	331
Tabela 46 - Concentrações de Partículas Totais em Suspensão - PTS (µg/m³) no ponto P-01 Condomínio Villa Bella.	334
Tabela 47 - Resultados dos monitoramentos diurnos e noturnos de ruídos provenientes do ambiente e do empreendimento no período de 29/10/2018 a 26/01/2025.	345
Tabela 48 - Relação de cavidades existentes na região do presente licenciamento que constam dos cadastros oficiais do CECAV – ICMBio.	374
Tabela 49 - Estimativa do potencial espeleológico brasileiro em relação a cavernas conhecidas e sua respectiva litologia (modificado de Piló & Auler, 2005).	390
Tabela 50 - Densidade de caminhamento espeleológico a ser realizado na prospecção espeleológica de áreas de mineração.	396
Tabela 51 - Unidades Territoriais Estratégicas da Bacia Hidrográfica do rio das Velhas.	416
Tabela 52 - Relação entre UTEs e as macrorregiões de planejamento do rio das Velhas.	417
Tabela 53 - Pontos de coleta de águas superficiais (UTM - SIRGAS 2000 – Fuso 23 K).	426
Tabela 54 – Outorgas de direito de uso de recursos hídricos - AII e AID.	447
Tabela 55 – Cadastros de usos insignificantes de recursos hídricos - AII e AID.	449
Tabela 56 – Limites máximos permitidos segundo a DN Conjunta COPAM/CERH n.º 008/2022 para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados para as águas superficiais Classe 2.	454
Tabela 57- Níveis de qualidade das águas em função do valor de IQA.	489
Tabela 58 – Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto P1.	509
Tabela 59– Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto P1.	510
Tabela 60– Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto P1.	511

<i>Tabela 61– Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto P2, Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante da mina.</i>	<i>531</i>
Tabela 62 – Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto P2, Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante da mina.	532
Tabela 63 – Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto P2, Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante da mina.	533
<i>Tabela 64– Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto P3.</i>	<i>550</i>
Tabela 65– Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto P3.	551
Tabela 66– Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto P3.	552
<i>Tabela 67 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto P14.</i>	<i>560</i>
Tabela 68 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto P14.	561
Tabela 69 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto P14.	562
<i>Tabela 70 – Pontos de coleta de sedimentos de fundo (UTM - SIRGAS 2000).</i>	<i>570</i>
Tabela 71 – Parâmetros Legais de Referência para Sedimentos de Água Doce.	579
Tabela 72 – Classificação de contaminantes em sedimento de água doce estabelecidos a partir de TEL e PEL.	580
Tabela 73 – Resultados em mg.kg⁻¹ do alumínio nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.	582
Tabela 74 – Resultados em mg.kg⁻¹ do metaloide arsênio nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.	583
Tabela 75 – Resultados em mg.kg⁻¹ do bário nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.	585
Tabela 76 – Resultados em mg.kg⁻¹ do berílio nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.	586
Tabela 77 – Resultados em mg.kg⁻¹ do cádmio nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.	588
Tabela 78 – Resultados em mg.kg⁻¹ do chumbo nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.	589
Tabela 79 – Resultados em mg.kg⁻¹ do cobalto nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.	591
Tabela 80 – Resultados em mg.kg⁻¹ do cobre nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.	593
Tabela 81 – Resultados em mg.kg⁻¹ do mercúrio nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.	594
Tabela 82 – Resultados em mg.kg⁻¹ do níquel nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.	596

Tabela 83 – Resultados em mg.kg^{-1} de zinco nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.....	597
Tabela 84 – Resultados em mg.kg^{-1} de selênio nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.....	599
Tabela 85 – Resultados em mg.kg^{-1} de ferro nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.....	600
Tabela 86 – Resultados em mg.kg^{-1} de manganês nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.....	602
Tabela 87 – Resultados de pH nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14. .	603
Tabela 88 – Resultados de óxido de alumínio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.....	604
Tabela 89 – Resultados de óxido de cálcio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.	605
Tabela 90 – Resultados de óxido férrico (%) e (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.....	606
Tabela 91 – Resultados de óxido de magnésio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.....	607
Tabela 92 – Resultados de óxido de manganês (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.....	608
Tabela 93 – Resultados de óxido de potássio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.....	609
Tabela 94 – Resultados de óxido de sódio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.	610
Tabela 95 – Resultados de dióxido de silício (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.	611
Tabela 96 – Resultados de dióxido de titânio (%) e (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.....	612
Tabela 97 – Resultados de pentóxido de fósforo (%) e (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.....	613
Tabela 98 – Resultados de matéria orgânica (mg.Kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.....	615

Quadros

<i>Quadro 1- Características da licença ambiental do empreendimento.</i>	<i>1</i>
<i>Quadro 2- Síntese dos processos de direito minerário envolvidos neste licenciamento.</i>	<i>3</i>
<i>Quadro 3 - Código das atividades objetos do presente licenciamento conforme DN COPAM 217/2017.</i>	<i>4</i>
<i>Quadro 4 - Parâmetros de critérios locacionais de enquadramento da implantação do empreendimento.</i>	<i>5</i>
Quadro 5 - Conversão de classes para o sistema utilizado no ZEE-MG (IDE SISEMA) – Fauna.	247
Quadro 6 - Conversão de classes para o sistema utilizado no ZEE-MG (IDE SISEMA) – Flora.	247
Quadro 7 - Informações sobre as unidades de conservação e APE existentes no entorno da região do empreendimento.	270
Quadro 8 - Principais máquinas e equipamentos utilizados na Herculano.	341

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

O presente Estudo de Impacto Ambiental - EIA, e seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, bem como o Plano de Controle Ambiental - PCA, estão sendo apresentados à FEAM - Fundação Estadual de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais, com o propósito de a **HERCULANO MINERAÇÃO LTDA** promover o licenciamento ambiental da ampliação do seu empreendimento minerário, denominado Projeto Pellet Feed, sendo caracterizado pela lavra (Cava A), acessos, beneficiamento de minério de ferro e implantação de duas pilhas de estéril/rejeito (Pilha Norte e Pilha Sul), no local denominado Tanque Seco, Município de Itabirito - MG.

O empreendimento já licenciado e em operação da HERCULANO inclui a lavra nas áreas dos Processos ANM nº 001.995/63, nº 004.856/1960 e nº 831.175/2022, no Retiro do Sapecado, sendo o minério beneficiado em usina própria, situada no local denominado Tanque Seco.

No presente, todas as atividades minerárias atuais da HERCULANO estão acobertadas pela Licença de Operação Corretiva - LOC nº 078/2017, de 11 de dezembro de 2017, vincenda em 13 de dezembro de 2027, emitida pela SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - SEMAD.

Quadro 1- Características da licença ambiental do empreendimento.

Processo COPAM	Certificado	Objeto da Licença
00340/1995/017/2017	078/2017	Lavra a céu aberto com tratamento a úmido de minério de ferro, unidade de tratamento de minerais (UTM), obras de infraestrutura, pilha de rejeito/estéril, estrada de transporte de minério/estéril, barragem de contenção de rejeitos/resíduos, reaproveitamento de bens minerais dispostos em pilha de estéril ou rejeito e reaproveitamento de bens minerais dispostos em barragem. Escala de produção de 4.800.000 t/ano.

De forma complementar, também estão amparadas pela Licença de Operação concedida pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Itabirito, vinculada ao Processo ANM 831.175/2022, qual seja, a Licença Ambiental Concomitante – LAC 1 nº 001/2025 (LP+LI+LO), para a atividade de Lavra a céu aberto – minério de ferro, na escala de 500.000 t/ano, que possibilita a abertura da cava no âmbito deste direito minerário.

Nestes oito anos de operação, de 2017 a 2025, os trabalhos de lavra foram bem-sucedidos. Durante este período, novas demandas surgiram, exigindo o licenciamento das estruturas pleiteadas por meio deste processo.

Estas novas demandas podem assim ser sumarizadas:

I - Ampliação de quantitativos de lavra, em virtude da redução na recuperação dos minérios lavrados ultimamente na mina do Sapecado, à medida que se aprofunda a cava, bem como em função do aumento das demandas de mercado;

II - Aperfeiçoamentos no sistema de tratamento do minério, visando potencializar a capacidade de produção da usina, compatibilizando-a com a escala de produção de minério bruto (*run of mine* - ROM) e com o direcionamento para a produção de finos (pellet feed);

III - Demanda de novas unidades de pilha de estéril/rejeito, para acomodar os volumes de estéreis a serem gerados na lavra do novo depósito (Cava A - Tanque Seco) e Retiro do Sapecado (Cava Principal), assim como os rejeitos oriundos do beneficiamento em escala ampliada;

IV - Decisão da ANM de retificar e atualizar o título de lavra da área do Tanque Seco, Processo ANM nº 004.254/1957, conforme Portaria de Lavra nº 455 publicada no Diário Oficial da União em 03/11/2023, demandando, por conseguinte, a obtenção de licença ambiental para efetivamente reiniciar a lavra nesta jazida (Cava A);

V - Trabalhos de reavaliação de reservas da jazida existente na área do Processo ANM nº 004.254/1957, demandando a atualização do projeto de lavra e o respectivo licenciamento ambiental para sua implantação (Cava A).

VI - Trabalhos de reavaliação das reservas da jazida existente na área do Processo ANM nº 832.197/1986, demandando também o licenciamento ambiental para obtenção da Portaria de Lavra referente a esse direito minerário e a consequente implantação das atividades minerárias (Cava A).

Para maior objetividade processual e correlação entre todas as atividades necessárias ao pleno funcionamento das atividades minerárias planejadas, todas estas demandas compõem o presente estudo e projeto de ampliação do empreendimento, denominado Projeto Pellet Feed.

O presente processo de licenciamento ambiental está sendo instruído conforme a orientação constante no SLA nº 2025.07.04.003.0003032.

Quadro 2- Síntese dos processos de direito minerário envolvidos neste licenciamento.

Processo ANM	Local	Situação Legal
001995/63	Retiro Sapecado	Portaria de Lavra nº 977-DOU22/07 /1980
004856/60	Retiro Sapecado	Portaria de Lavra nº 193 -DOU 05/10/2010
831175/22	Retiro do Sapecado	Portaria de Lavra nº 316 - DOU25/04/2022
004254/57	Tanque Seco	Portaria de Lavra nº 455 - DOU 03/11/2023
832197/1986	Tanque Seco	Requerimento de lavra

DOU: Diário Oficial da União.

De maneira objetiva, o presente trabalho tem como propósito a regularização ambiental da pretendida implantação da lavra (Cava A), de novos acessos internos e de duas novas pilhas de estéril/rejeito (Pilha Norte e Pilha Sul), no local denominado Tanque Seco, assim como a ampliação da escala dos trabalhos de lavra e beneficiamento do complexo minerário de 5.300.000 t/ano de minério de ferro, passando-o para 10.200.000 t/ano.

Quadro 3 - Código das atividades objetos do presente licenciamento conforme DN COPAM 217/2017.

Código da Atividade	Descrição da Atividade do Empreendimento	Parâmetro	Quantidade já licenciada	Quantidade	Unidade de Medida
A-02-03-8	Lavra a céu aberto - Minério de ferro	Produção Bruta	5.300.000	4.900.000	t/ano
A-05-02-0	Unidade de Tratamento de Minerais – UTM, com tratamento a úmido	Capacidade instalada	4.800.000	5.400.000	t/ano
A-05-06-02	Disposição de estéril ou de rejeito inerte e não inerte da mineração (classe II-A e IIB, segundo a NBR 10.004) em cava de mina, em caráter temporário ou definitivo, sem necessidade de construção de barramento para contenção	Volume da cava	-	5.000.000	M³
A-05-04-7	Pilhas de rejeito/estéril - Minério de ferro	Área útil	-	85,02	ha

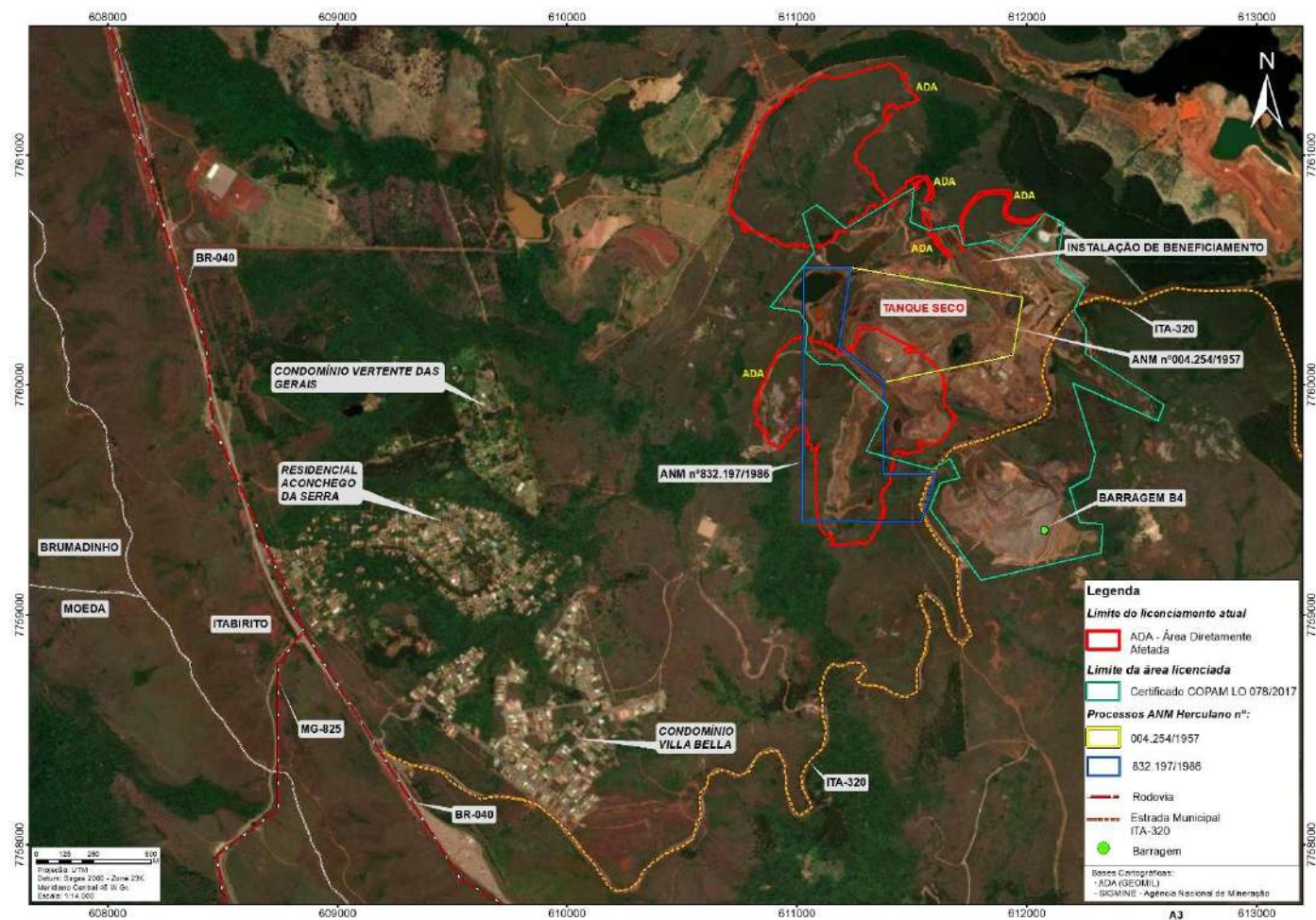


Figura 1 - ADA do presente licenciamento em imagem de satélite.

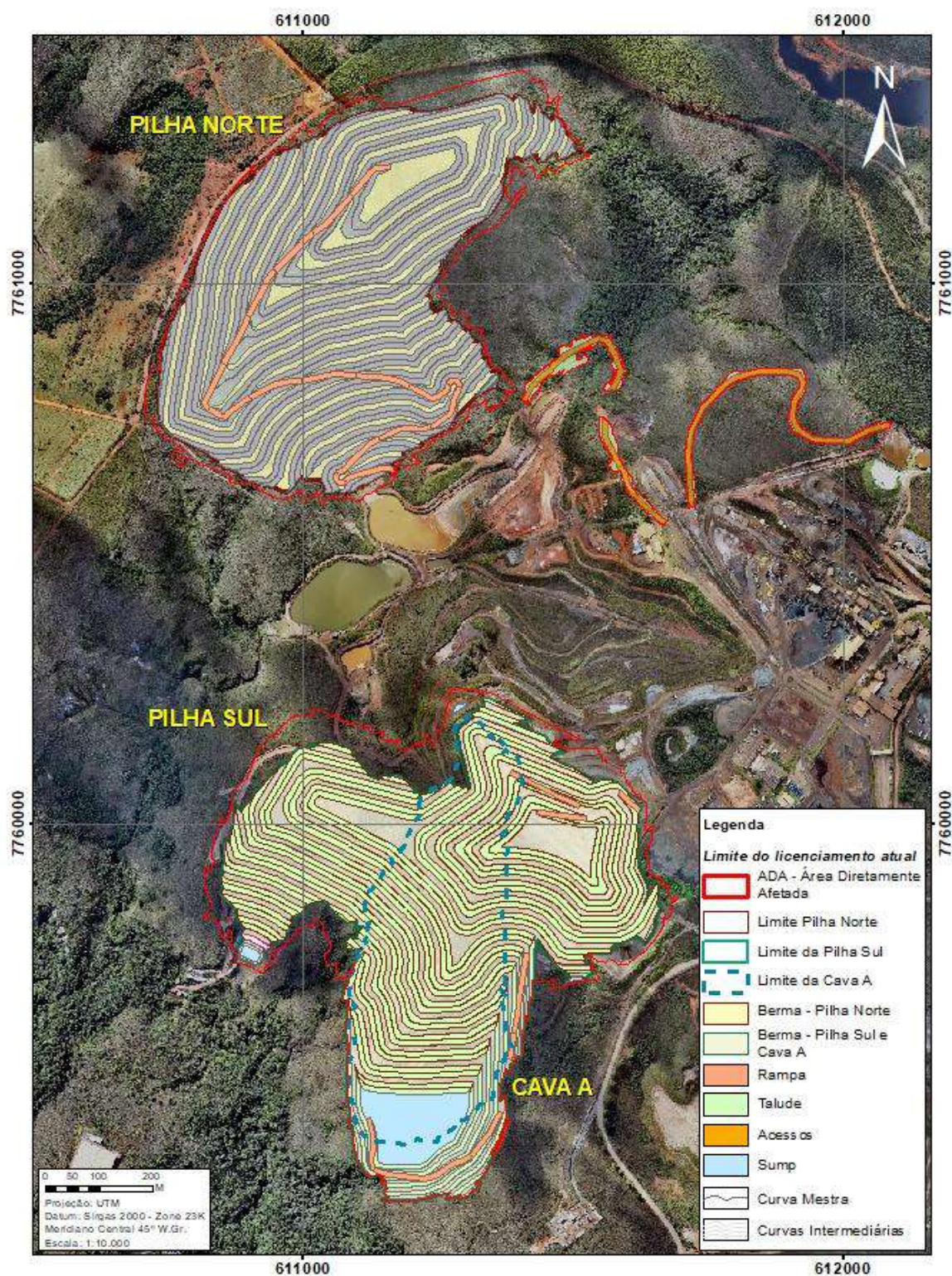


Figura 2 – ADA do presente licenciamento, a qual engloba a área de lavra (Cava A) e das Pilhas de Estéril / Rejeito (Pilha Norte e Pilha Sul) e os acessos.

A escala de produção atual licenciada, de lavra e beneficiamento a úmido, é de 4.800.000 t/ano de minério de ferro, amparada pela LOC nº 078/2017, que abrange todo o empreendimento, lavra na Mina do Retiro do Sapecado (Processos ANM nº 001.995/1963 e nº 004.856/1960) e ITM no Tanque Seco, acrescida de 500.000 t/ano, vinculadas ao Processo ANM nº 831.175/2022, amparada pela LAC1 obtida junto a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Itabirito. Com a referida ampliação pretende-se aumentar este limite para 10.200.000 t/ano de minério de ferro.

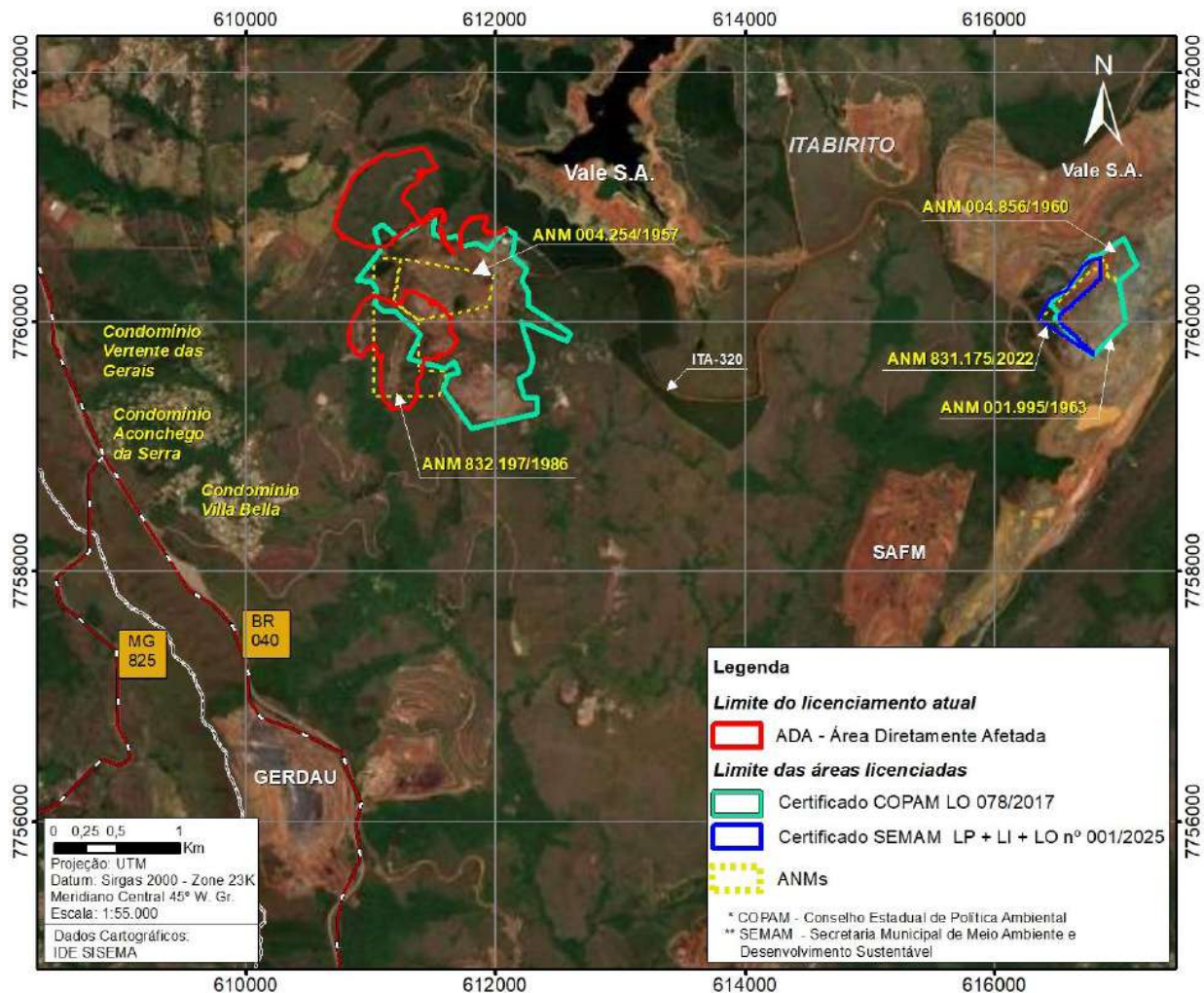


Figura 3 - Vista geral do conjunto das áreas que integram o empreendimento minerário da Herculano, observando-se a esquerda o local das áreas de apoio e do beneficiamento, além da jazida de minério de ferro existente nos Processos ANM nº 004.254/1957 e nº 832.197/1986, no local denominado Tanque Seco, e a direita da ilustração, as áreas nas quais vem sendo explotados o minério de ferro, no local denominado Sapecado, Processos ANM nº 001.995/1963, nº 004.856/1960 e nº 831.175/2022.

Recentemente, houve o licenciamento ambiental da expansão das atividades de lavra na Mina do Sapecado, estando a mesma amparada pelo Certificado SEMAM LP+LI+LO nº 001/2025, concedida pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Itabirito, envolvendo o Processo ANM 831.175/2022.

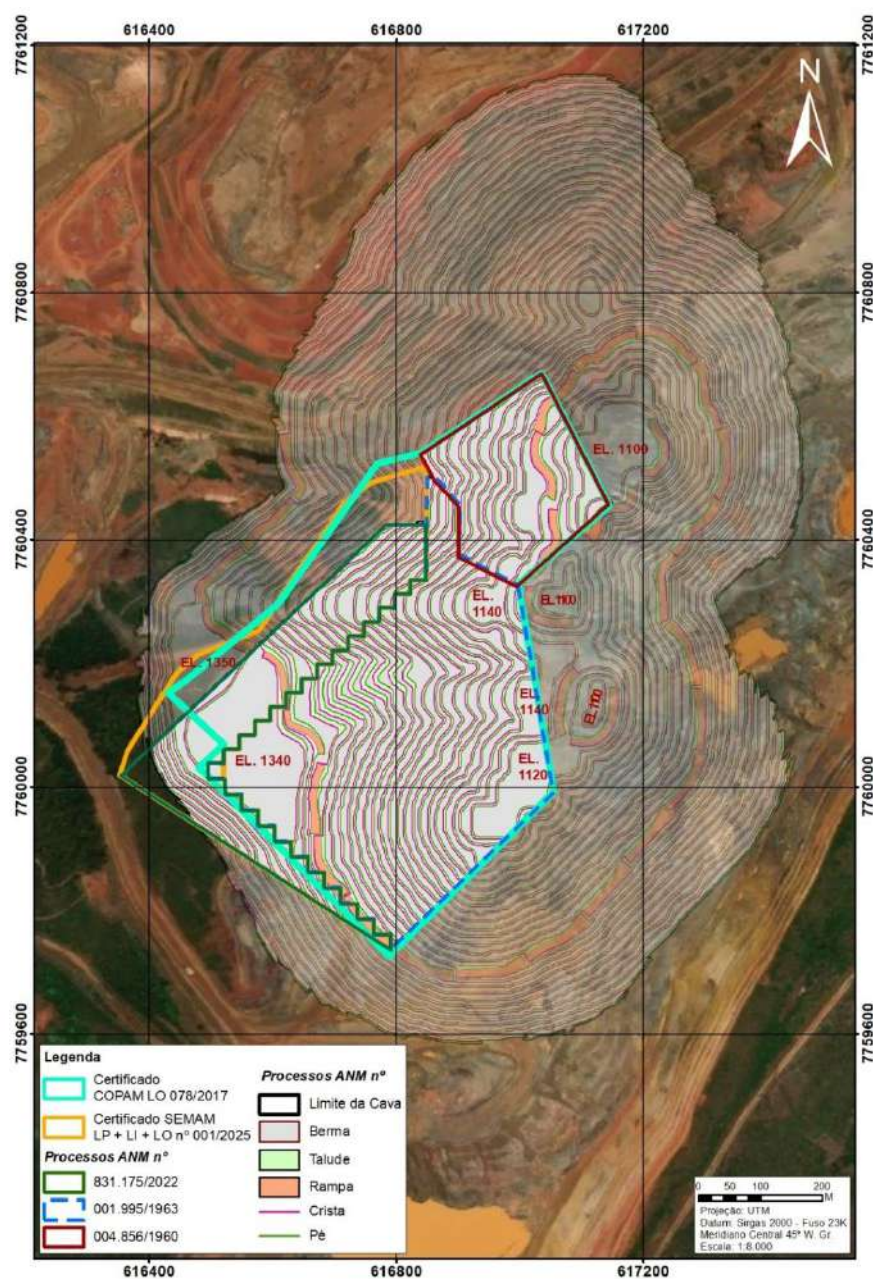


Figura 4 - Vista das áreas nas quais vem sendo explotados o minério de ferro, no local denominado Sapecado, Processos ANM nº 001.995/1963, nº 004.856/1960 e nº 831.175/2022.

1.2 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO QUANTO AOS CRITÉRIOS DA DN 217/2017

1.2.1 *Críticas Locacionais do Empreendimento*

Considerando os critérios locacionais, conforme quadro a seguir, o empreendimento foi enquadrado na modalidade LAC2.

Quadro 4 - Parâmetros de critérios locacionais de enquadramento da implantação do empreendimento.

Parâmetro	Não	Sim	Peso
Localização prevista em Unidade de Conservação de Proteção Integral, nas hipóteses previstas em Lei	x		2
Supressão de vegetação nativa, exceto árvores isoladas.		x	1
Localização prevista em zona de amortecimento de Unidade de Conservação de Proteção Integral, ou na faixa de 3 km do seu entorno quando não houver zona de amortecimento estabelecida por Plano de Manejo; excluídas as áreas urbanas.		x	1
Localização prevista em Unidade de Conservação de Uso Sustentável, exceto APA	x		1
Localização prevista em Reserva da Biosfera, excluídas as áreas urbanas		x	1
Localização prevista em Corredor Ecológico formalmente instituído, conforme previsão legal	x		1
Localização prevista em áreas designadas como Sítios Ramsar	x		2
Localização prevista em área de drenagem a montante de trecho de curso d'água enquadrado em classe especial	x		1
Captação de água superficial em Área de Conflito por uso de recursos hídricos.	x		1
Localização prevista em área de alto ou muito alto grau de potencialidade de ocorrência de cavidades, conforme dados oficiais do CECAV-ICMBio		x	1

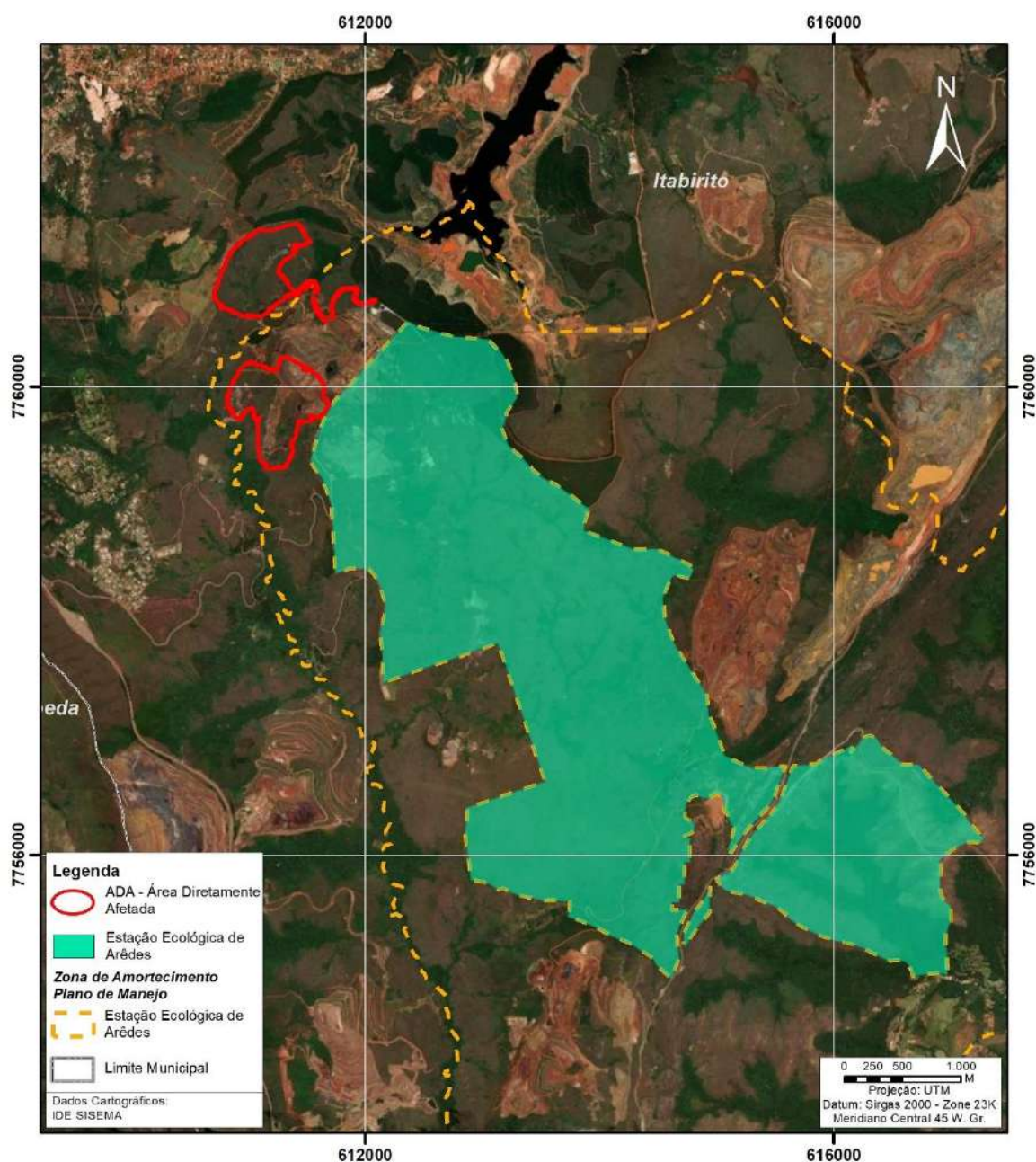


Figura 5 - Critério locacional de enquadramento: Localização prevista em zona de amortecimento de Unidade de Conservação de Proteção Integral estabelecida em Plano de Manejo, no presente caso na Zona de Amortecimento da unidade de conservação Estação Ecológica de Arêdes.

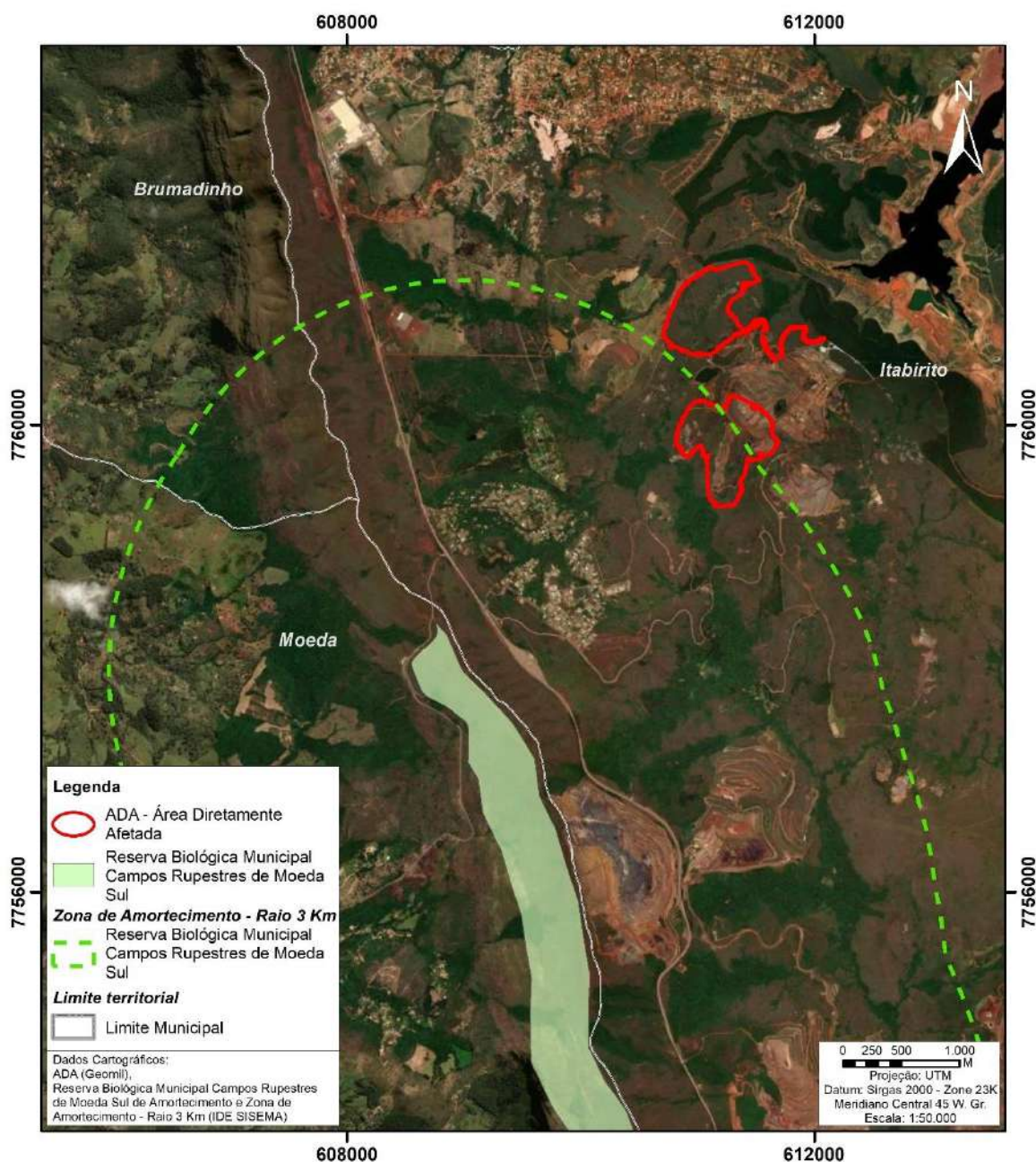


Figura 6 - Critério locacional de enquadramento: Localização prevista em zona de amortecimento de Unidade de Conservação de Proteção Integral, ou na faixa de 3 km do seu entorno. No presente caso A ADA está no raio de 3 km da unidade de conservação Reserva Biológica Municipal Campos Rupestres de Moeda Sul.

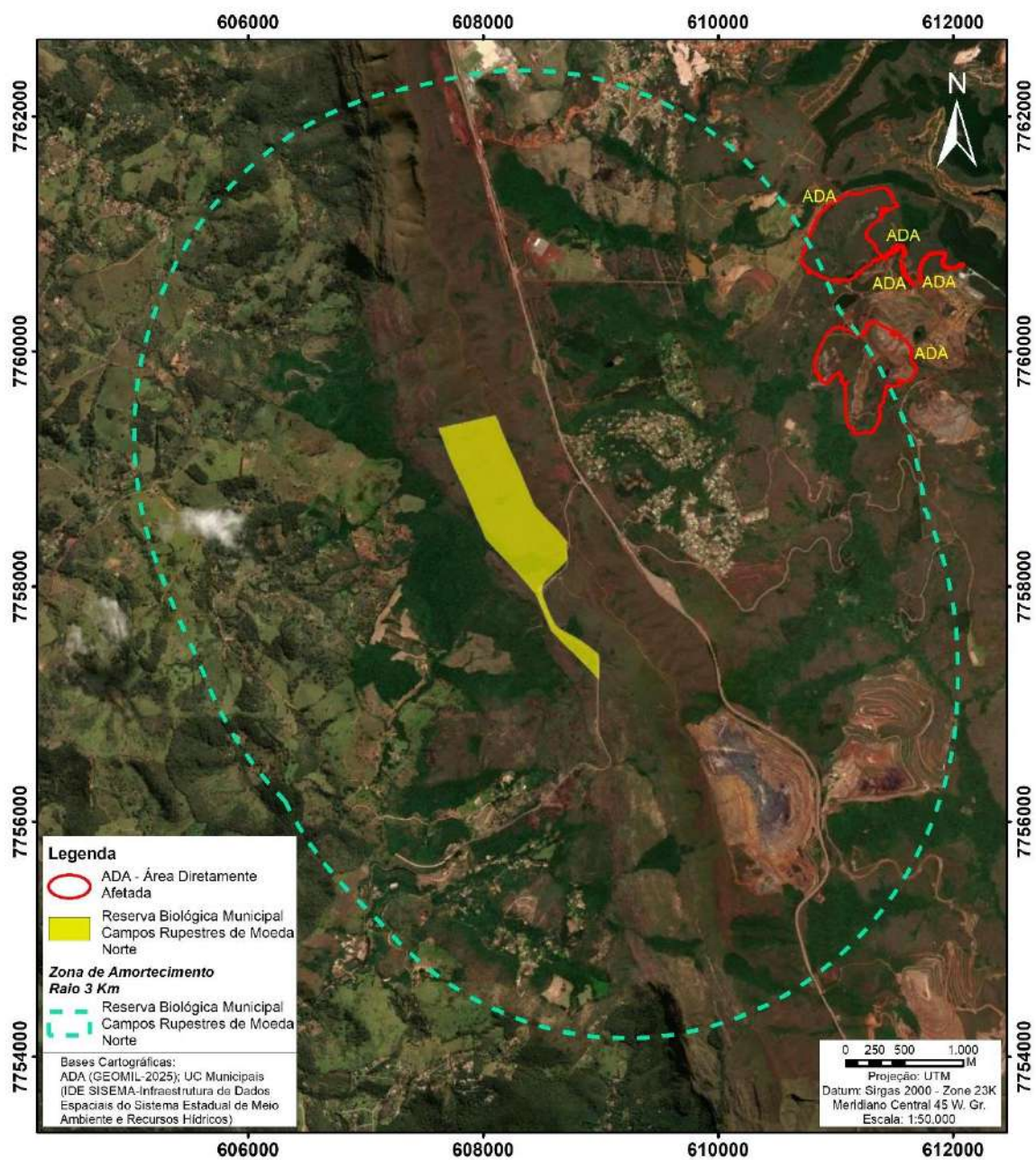


Figura 7 - Critério locacional de enquadramento: Localização prevista em zona de amortecimento de Unidade de Conservação de Proteção Integral, ou na faixa de 3 km do seu entorno. No presente caso a ADA está no raio de 3 km da unidade de conservação Reserva Biológica Municipal Campos Rupestres de Moeda Norte.

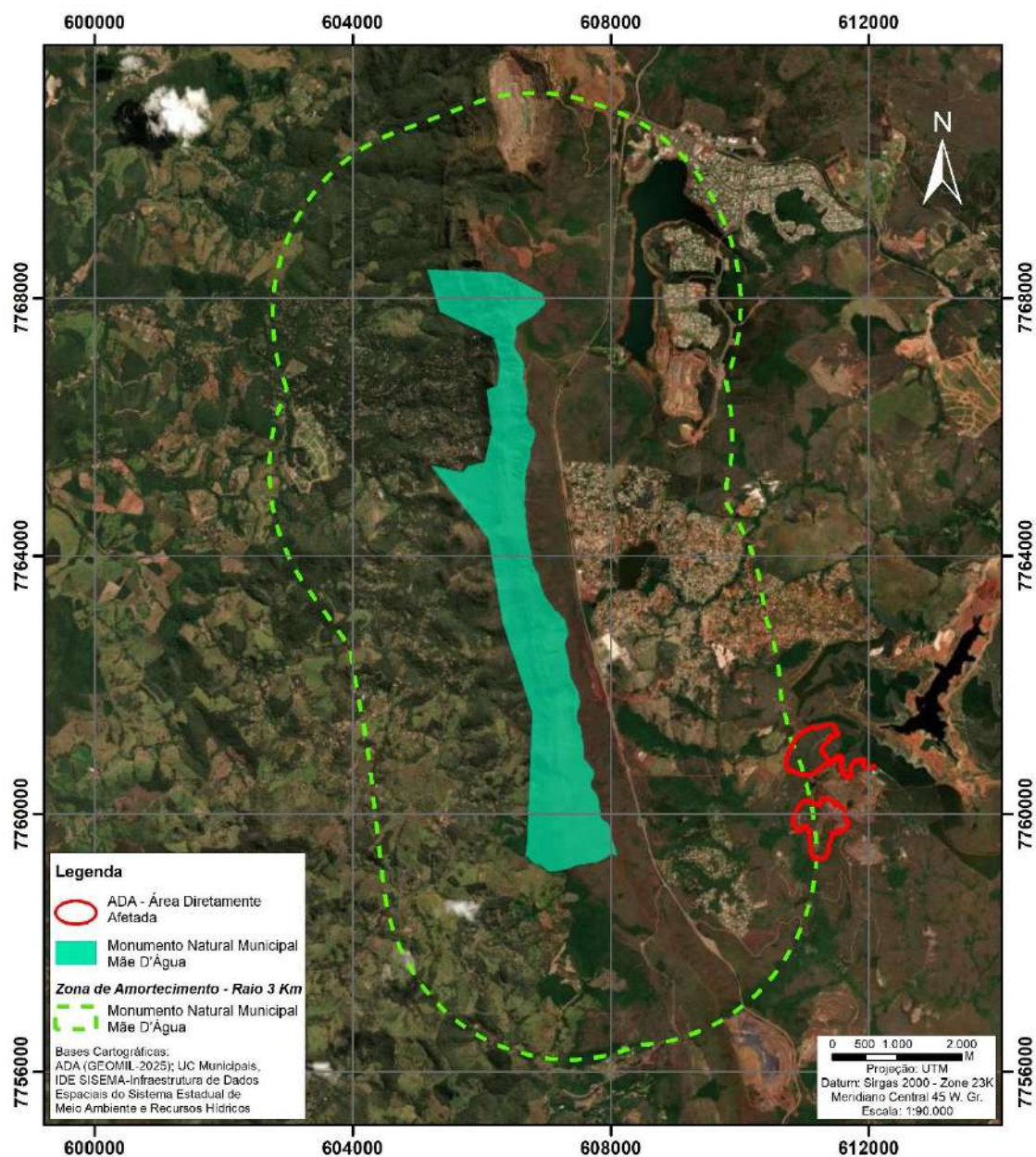


Figura 8 - Critério locacional de enquadramento: Localização prevista em zona de amortecimento de Unidade de Conservação de Proteção Integral, ou na faixa de 3 km do seu entorno. No presente caso a ADA está no raio de 3 km da unidade de conservação Monumento Natural Municipal Mãe D'água.

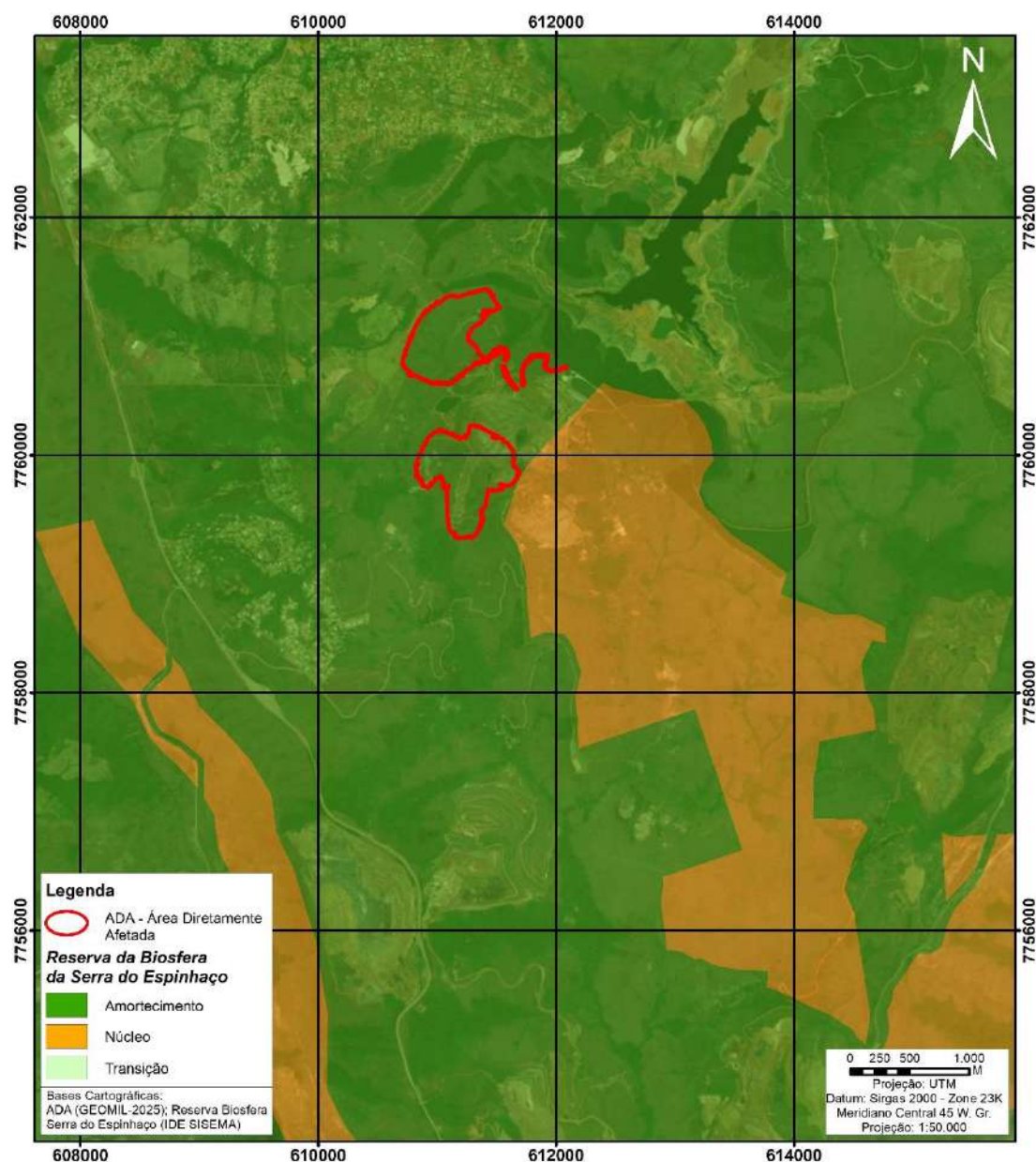


Figura 9 - Critério locacional de enquadramento: Localização prevista em Reserva da Biosfera, excluídas as áreas urbanas. A figura mostra a ADA na área da Amortecimento da Reserva da Biosfera da Serra do Espinhaço.

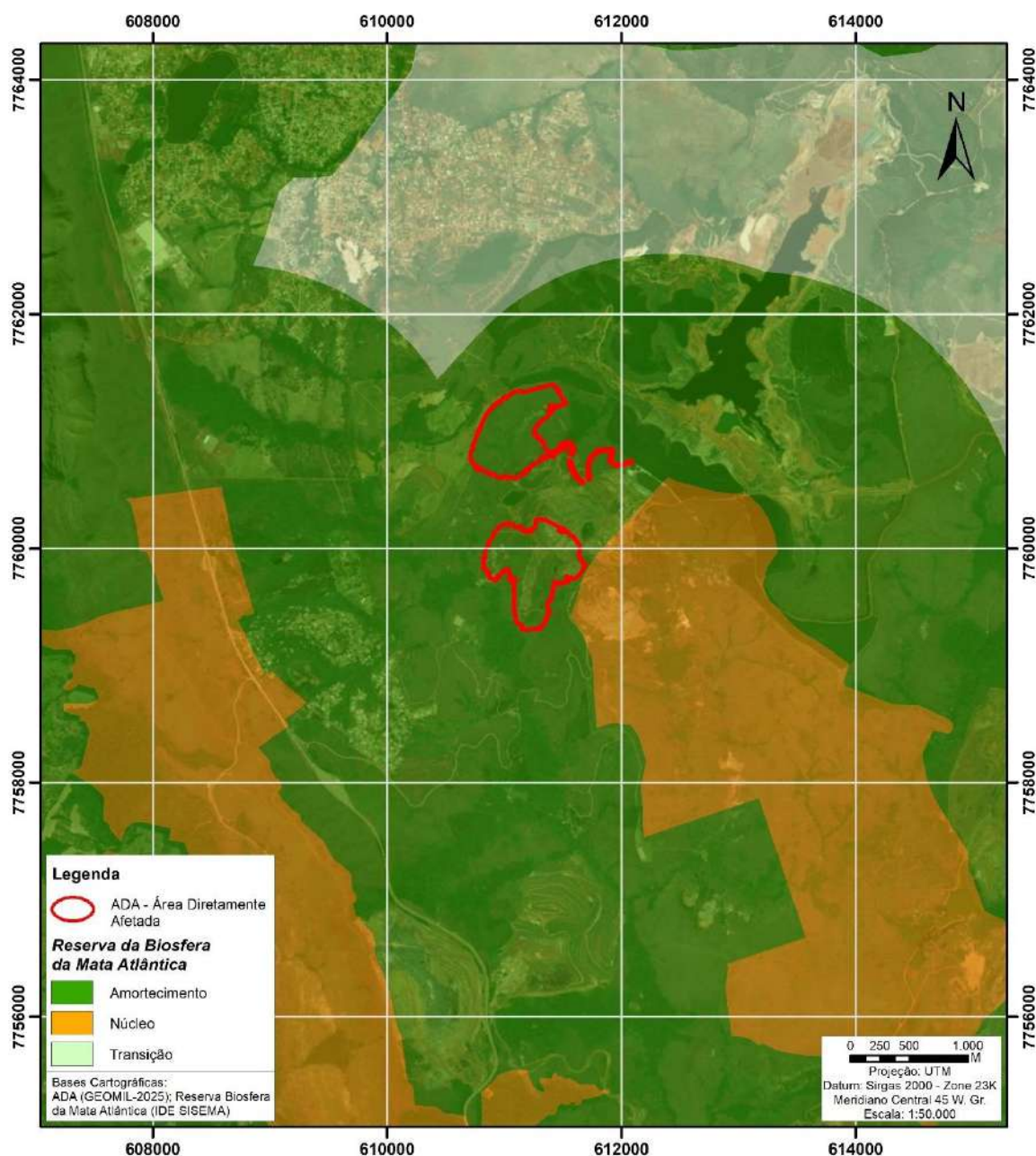


Figura 10 - Critério locacional de enquadramento: Localização prevista em Reserva da Biosfera, excluídas as áreas urbanas. A figura mostra a ADA na área da Amortecimento da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica.

Os critérios mencionados apontam para um empreendimento **Classe 6** com **critério locacional de peso 1**, o que orientou o presente licenciamento para **LAC2** (análise, em uma única fase, das etapas de LP e LI do empreendimento, com análise posterior da LO).

1.2.2 Fatores de Restrição ou Vedação

Além de considerar o porte e o potencial poluidor do empreendimento, a Deliberação Normativa COPAM nº 217/2017 estabelece que a modalidade de licenciamento deve considerar a presença de fatores locacionais, os quais, apesar de não conferirem peso para fins de classificação, modificam as modalidades e devem ser considerados na abordagem dos estudos ambientais, sem prejuízo de normas específicas.

Nesta verificação de incidência de fatores de restrição ou vedação o empreendedor poderá acessar o sistema IDE-SISEMA para identificação de dados georreferenciados.

“Art. 6º.

...

§4º – Os fatores de restrição ou vedação previstos na Tabela 5 do Anexo Único desta Deliberação Normativa não conferem peso para fins de enquadramento dos empreendimentos, devendo ser considerados na abordagem dos estudos ambientais a serem apresentados, sem prejuízo de outros fatores estabelecidos em normas específicas.

§5º - Para fins de planejamento do empreendimento ou atividade, bem como verificação de incidência de critérios locacionais e fatores de restrição ou vedação, o empreendedor poderá acessar o sistema informatizado da Infraestrutura de Dados Espaciais do SISEMA – IDE-SISEMA, na qual se encontram disponíveis os dados georreferenciados relativos aos critérios e fatores constantes das Tabelas 4 e 5 do Anexo Único desta Deliberação Normativa.”

A seguir apresenta-se a análise dos fatores de restrição ou vedação:

Tabela 1 - Fatores de Restrição ou Vedação.

Fatores de Restrição ou Vedação			
Fatores	Tipo de Restrição ou Vedação	Não	Sim
<u>Área de Preservação Permanente – APP</u> (Lei Estadual n.º 20.922, de 16 de outubro de 2013).	Vedada a intervenção e/ou supressão nos termos especificados, ressalvados os casos legalmente permitidos.		X
<u>Área de restrição e controle de uso de águas subterrâneas</u> (Aprovada Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH, em reunião realizada no dia 14.09.2017).	Restrita a implantação de empreendimentos que dependam de utilização de água subterrânea, conforme atos específicos.	X	
<u>Área de Segurança Aeroportuária – ASA</u> (Lei Federal n.º 12.725, de 16 de outubro de 2012).	Restrito o uso e ocupação em função da natureza atrativa de fauna na área circular do território de um ou mais municípios, definida a partir do centro geométrico da maior pista do aeródromo ou do aeródromo militar, com 20 km (vinte quilômetros) de raio.	X	
<u>Bioma Mata Atlântica</u> (Lei n.º 11.428, de 22 de dezembro de 2006)	Vedado o corte e/ou a supressão de vegetação nativa primária ou secundária em estágio médio ou avançado de regeneração, exceto árvores isoladas nos termos especificados, ressalvados os casos legalmente permitidos.		X
<u>Rio de Preservação Permanente</u> (Lei Estadual n.º 15.082, de 27 de abril de 2004).	Vedada a modificação no leito e das margens, revolvimento de sedimentos para a lavra de recursos minerais nos termos especificados, ressalvados os casos legalmente permitidos.	X	
<u>Terras Indígenas</u> (Portaria Interministerial n.º 60, de 24 de março de 2015, do Ministério do Meio Ambiente, da Justiça, da Cultura e da Saúde).	Localização restrita em faixas de 3 km (três quilômetros) para dutos, 5 km (cinco quilômetros) para ferrovias e linhas de transmissão, 8 km (oito quilômetros) para portos, mineração e termoelétricas, 10 km (dez quilômetros) para rodovias ou 15 km (quinze quilômetros) para UHEs e PCHs a partir dos limites de Terras Indígenas.	X	
	Vedada a implantação ou operação de atividade ou empreendimento em Terra Indígena, ressalvados os casos previamente autorizados pela Fundação Nacional do Índio – FUNAI.	X	
<u>Terra Quilombola</u> (Portaria Interministerial n.º 60, de 24 de março de 2015, do Ministério do Meio Ambiente, da Justiça, da Cultura e da Saúde)	Localização restrita em faixas de 3 km (três quilômetros) para dutos, 5 km (cinco quilômetros) para ferrovias e linhas de transmissão, 8 km (oito quilômetros) para portos, mineração e termoelétricas, 10 km (dez quilômetros) para rodovias ou 15 km (quinze quilômetros) para UHEs e PCHs a partir dos limites de Terra Quilombola.	X	
	Vedada a implantação ou operação de atividade ou empreendimento em Terra Quilombola, ressalvados os casos previamente autorizados pela Fundação Cultural Palmares – FCP.	X	
<u>Unidade de Conservação de Proteção Integral</u> (Lei Federal n.º 9.985, de 18 de julho de 2000).	Vedada a implantação de atividade ou empreendimento em Unidade de Conservação de Proteção Integral, ressalvados os casos legalmente permitidos.	X	

2. IDENTIFICAÇÃO

2.1 CARACTERIZAÇÃO SUCINTA DO EMPREENDIMENTO

Trata-se da ampliação territorial e de escala do empreendimento minerário da Herculano Mineração Ltda, voltado para a produção de minério de ferro, que compreende operações de lavra a céu aberto e beneficiamento a úmido, passando a priorizar a produção de finos (Projeto Pellet Feed). Essa ampliação demandará a implantação de duas pilhas de estéril/rejeito e a abertura de uma nova frente de lavra, para aproveitamento de reservas em novos direitos minerários.

Dentre as empresas de pequeno / médio porte do setor de minério de ferro, a HERCULANO se destaca como pioneira por sua inovação no processo de tratamento de minério. A empresa foi uma das primeiras a implantar filtros para a desidratação de rejeitos. Essa tecnologia permite que os rejeitos sejam dispostos em pilhas, uma alternativa mais segura e moderna que substitui o uso de barragens para a disposição do material em forma de polpa.

Com a ampliação, o empreendimento terá o seu foco direcionado para a produção de finos (pellet feed), visando o abastecimento de aciarias e a exportação, com maior valor agregado, ajustando-se às novas demandas do mercado, passando, assim, de médio para grande porte, mantendo ainda uma fatia da produção destinada ao mercado de ferro gusa, atendendo aos fornos da região central do Estado de Minas Gerais.

2.2 EMPRESA RESPONSÁVEL PELO EMPREENDIMENTO

- **Razão Social:** HERCULANO MINERAÇÃO LTDA.
- **CNPJ:** 41.785.833/0002-73
- **Endereço comercial:** Av. Getúlio Vargas, nº 1.290, Centro, Itaúna, MG.
- **CEP:** 35.680-037
- **Telefone:** (37) 3242-1240
- **Contato:** Sr. Saulo Marinho
- **Email:** saulo.juridico@grupoherculano.com.br
- **Endereço do empreendimento:** Estrada municipal de ligação BR-040 a BR-356, Tanque Seco, s/nº, área rural, Itabirito - MG, CEP: 35.450-000
- **Telefone:** (37) 3799-6476

2.3 EMPRESA RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO EIA/RIMA

- **Razão social:** GEOMIL - Serviços de Mineração LTDA.
- **CNPJ:** 25.184.466/0001-15
- **Endereço:** Av. Prudente de Moraes, nº 621, s/ 412 -Santo Antônio, Belo Horizonte – MG.
- **CEP:** 30.350-143
- **Telefones:**(31) 3344-0677, 3344-0952
- **Email:** josedomingos@geomil.com.br
- **Contato:** Eng. José Domingos Pereira

3. ESTUDO DE ALTERNATIVAS

3.1 ALTERNATIVAS LOCACIONAIS

3.1.1 *Alternativas Locacionais - Lavra (Cava A)*

Com relação a lavra de minério, não há o que discutir em termos de alternativa locacional. O minério somente pode ser lavrado onde se encontra e dentro dos limites da área do direito minerário.

No que diz respeito à tecnologia, o tipo de ocorrência, caracterizada como camada de minério de ferro aflorante, em local de topografia em encosta, remete o projeto para a lavra a céu aberto, em bancadas regulares descendentes. Também neste caso não há outra alternativa que seja técnica e economicamente mais adequada do que a modalidade proposta.

Para a implementação do projeto objetivo do presente licenciamento, foi projetada uma cava envolvendo os processos minerários contíguos, ANM nº 004.254/1957 e nº 832.197/1986, ressaltando-se, inclusive, a imposição legal de que as reservas minerais desses direitos sejam lavradas, conforme determina a legislação brasileira.

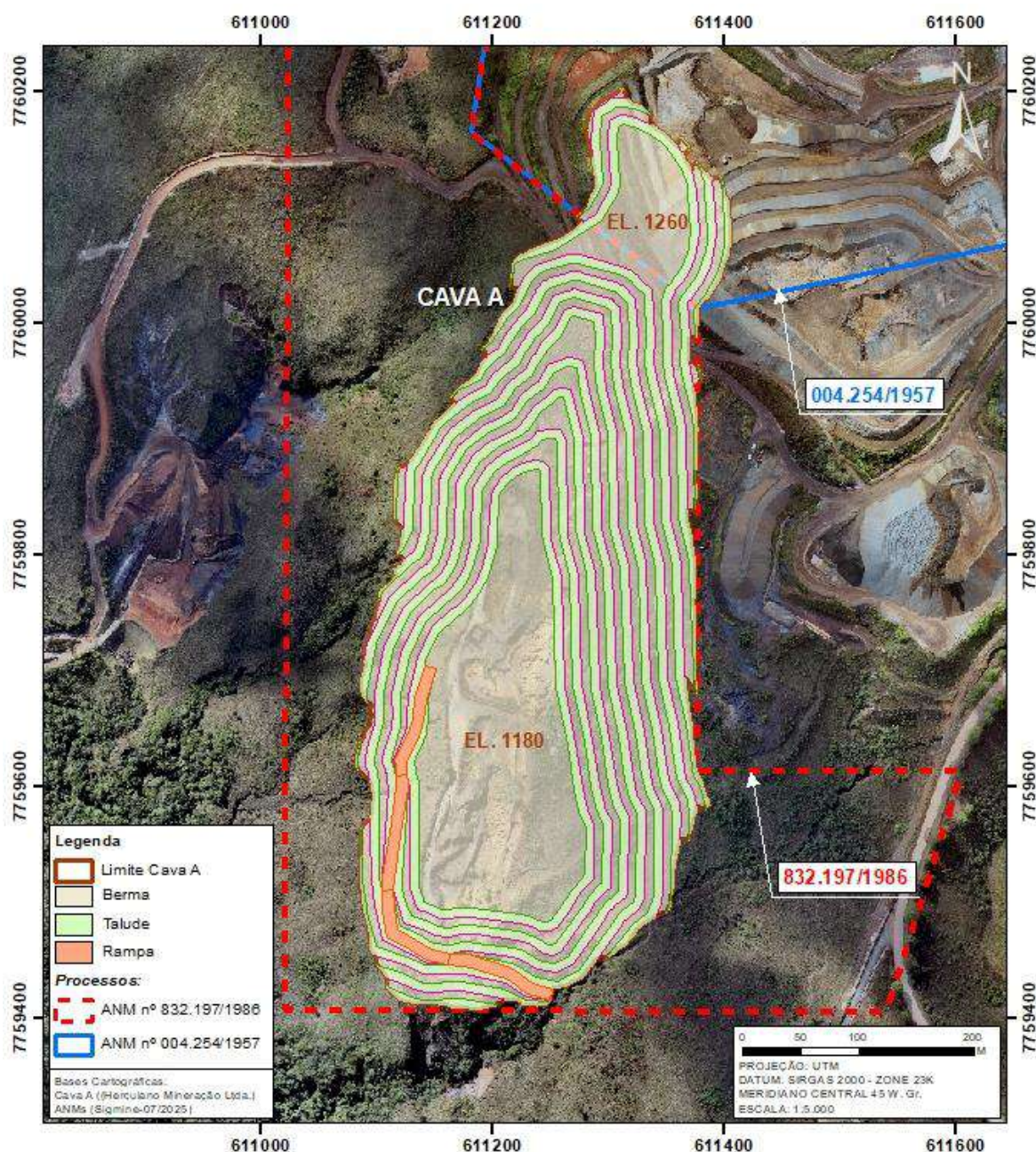


Figura 11 - Localização da área de lavra pleiteada (Cava A).

3.1.2 Alternativas Locacionais - Usina de beneficiamento

No caso da usina de beneficiamento, a estrutura existente no Tanque Seco é de grande porte, resultante de adequações ocorridas ao longo dos anos, tornando extremamente difícil a transferência destas instalações para outro local. Além disso, seria, igualmente difícil encontrar outra área adequada para instalar uma nova usina nas proximidades das jazidas da HERCULANO.

3.1.3 Alternativas Locacionais - Pilhas de Estéril/Rejeito (Pilha Norte e Pilha Sul)

Com a perspectiva de ampliação da escala de produção do empreendimento para 10,2 Mt/ano, sua viabilidade técnica fica fortemente condicionada pela disponibilização de novos espaços para a disposição adequada dos materiais estéreis decorrentes da lavra e dos rejeitos resultantes do beneficiamento. Este é um dos grandes desafios da engenharia do presente projeto, ou seja, a proposição de alternativas locacionais capazes de acomodar estes volumes de materiais de forma tecnicamente segura e ambientalmente viável.

Para atender a essa demanda, cinco alternativas locacionais foram traçadas e avaliadas. Assim, duas delas, as Pilha Norte e Pilha Sul, foram selecionadas no momento e, portanto, são objeto do presente licenciamento.

Deve-se ressaltar a grande dificuldade em se encontrar, nas proximidades do empreendimento da Herculano Mineração, áreas disponíveis e adequadas para este tipo de estrutura. As principais dificuldades são as seguintes:

- Região já se encontra bastante ocupada por outras atividades, em razão de sua localização nas proximidades de uma importante rodovia, a BR-040, e na região Metropolitana de Belo Horizonte;
- Região já bastante ocupada por outras atividades de mineração, especialmente relacionadas ao complexo Mina do Pico, da MBR/VALE;
- Região com presença de importantes mananciais de água, que contribuem para a formação do Córrego do Silva / Ribeirão Mata Porcos;
- Problemas relacionados a propriedades da terra e à dificuldade na obtenção das devidas autorizações ou servidões.
- Demandas semelhantes por outros empreendimentos minerários na região.

Mas, mesmo diante de todas estas dificuldades, foi possível vislumbrar as cinco alternativas caracterizadas a seguir.

Tabela 2 - Características operacionais e ambientais comparativas das pilhas estudadas.

Opção	Denominação	ADA (ha)	Volume (m³)	Uso e Ocupação/Vegetação	Presença de Nascentes ou Curso hídrico	Distância Média de Transporte – DMT (km)			Soma das distâncias (Km)	Propriedade	Geologia
						ITM	Cava A	Sapecado			
1	Pilha Norte	38,3830	11.200.000	FESD-I e FESD-M: 0,9142 ha Savana Parque: 35,6034 ha Antrópico com árvores isoladas: 1,8654 ha	Sim (nascente)	1,14	1,6	5,8	8,54	Herculano	Filitos e solos residuais
2	Pilha Sul	46,6414	10.900.000	FESD-I e FESD-M: 1,4364 ha Savana Parque: 20,3530 ha Antrópico com árvores isoladas: 24,8520 ha	Não	0,76	0,42	5,5	6,63	Herculano	Dolomitos, formações ferríferas, filitos e xistos, com solos residuais
3	Pilha Eucalipto	45,30	4.928.000	Savana Parque: 18,94 ha Antrópico: 26,36 ha (eucalipto)	Sim (nascente)	2,35	2,82	3,0	8,19	Herculano	Quartzitos e filitos ferruginosos com solos residuais
4	Pilha Oeste Vale	39,85	10.700.000	Mata (FESD): 0,32 ha Savana Parque: 39,52 ha	Não	2,67	3,71	2,5	8,83	Vale	Quartzitos e filitos ferruginosos com solos residuais e transportados
5	Pilha Noroeste Vale	34,74	6.700.000	Mata (FESD): 0,58 ha Savana Parque: 34,01 ha Antrópico: 0,14 ha	Não	3,52	4,45	2,6	10,52	Vale	Filitos ferruginosos com solos residuais e transportados

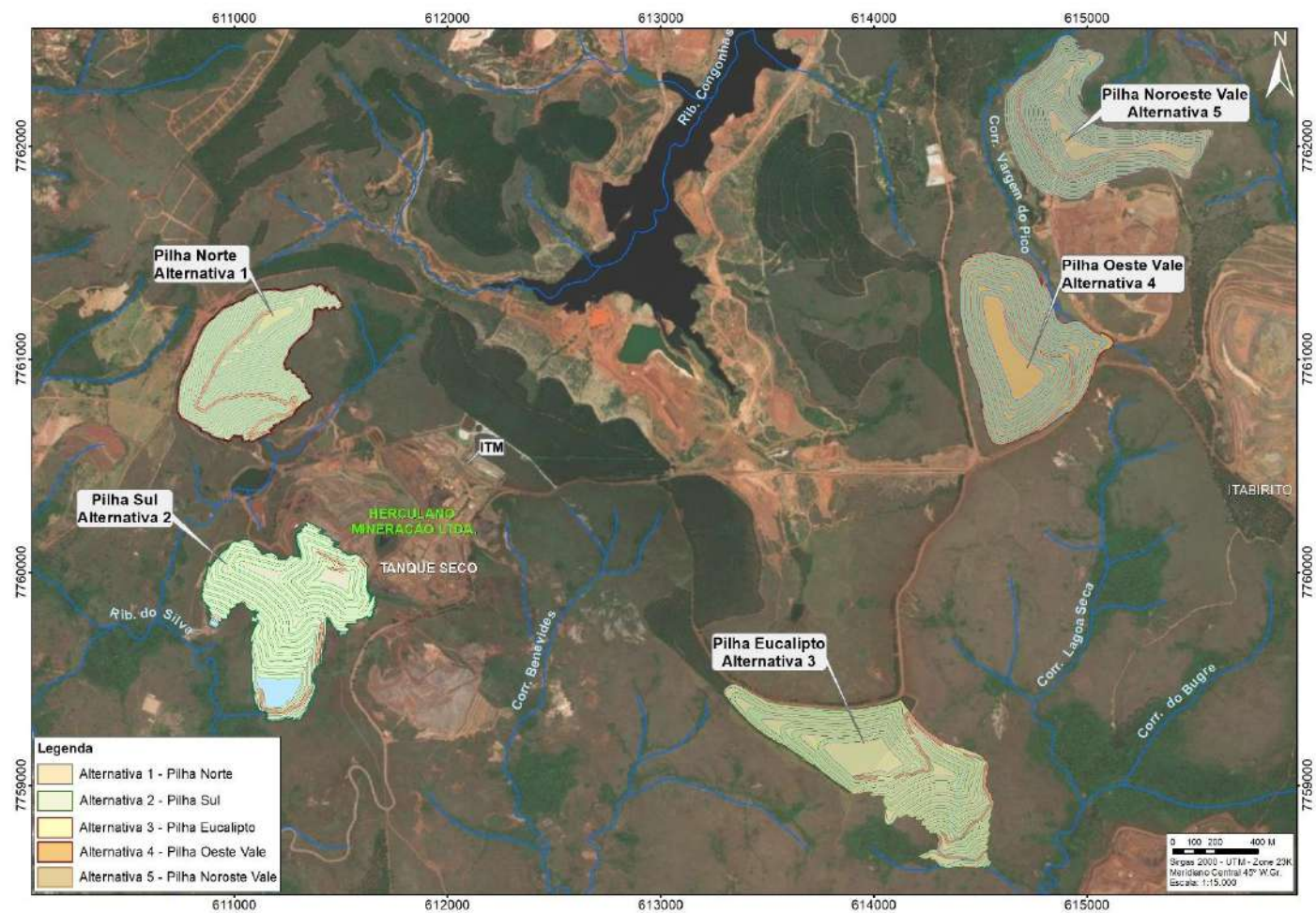


Figura 12 – Localização das alternativas locais das Pilhas de Estéril/Rejeito.

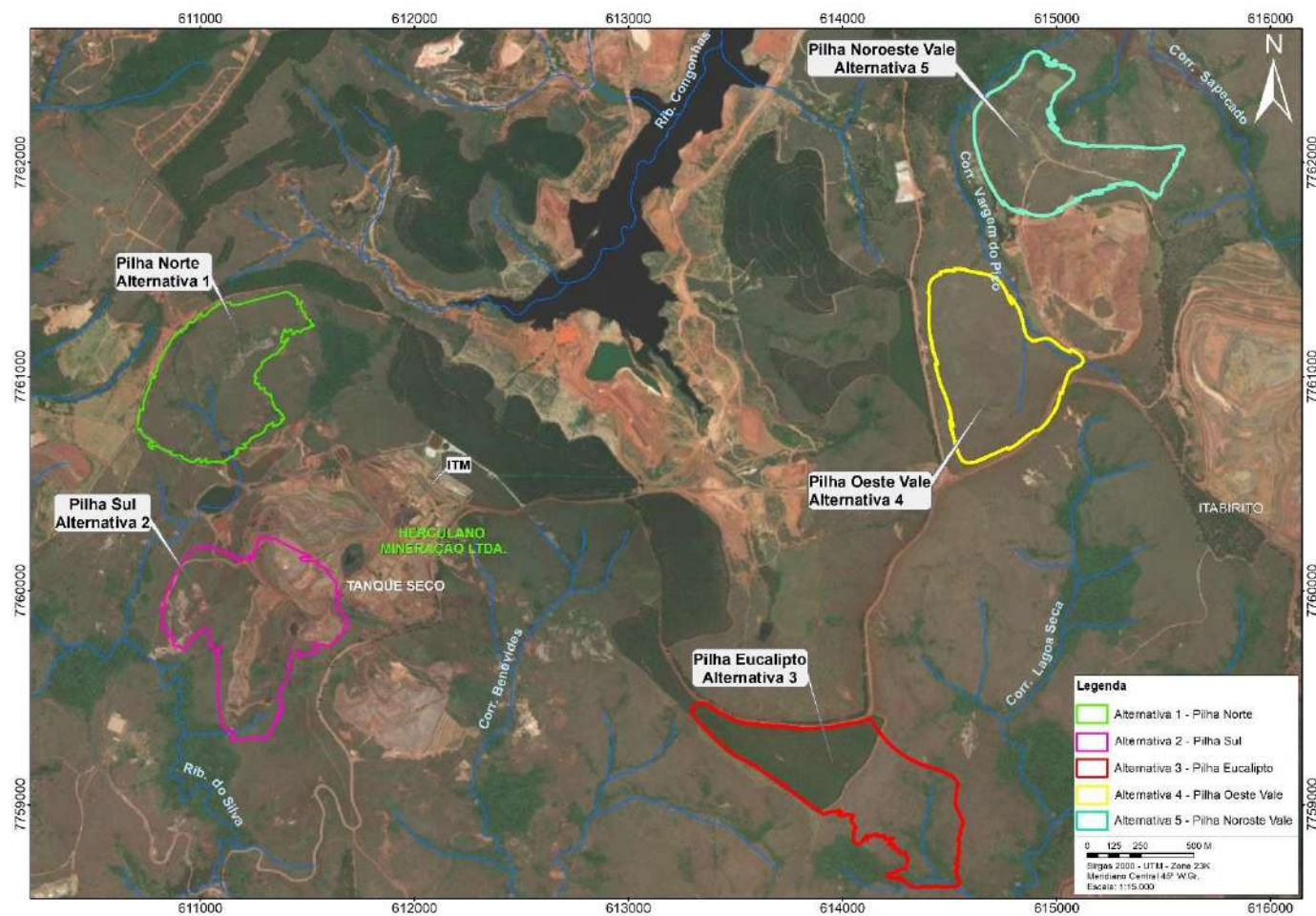


Figura 13 - Localização das alternativas locais das Pilhas de Estéril/Rejeito.

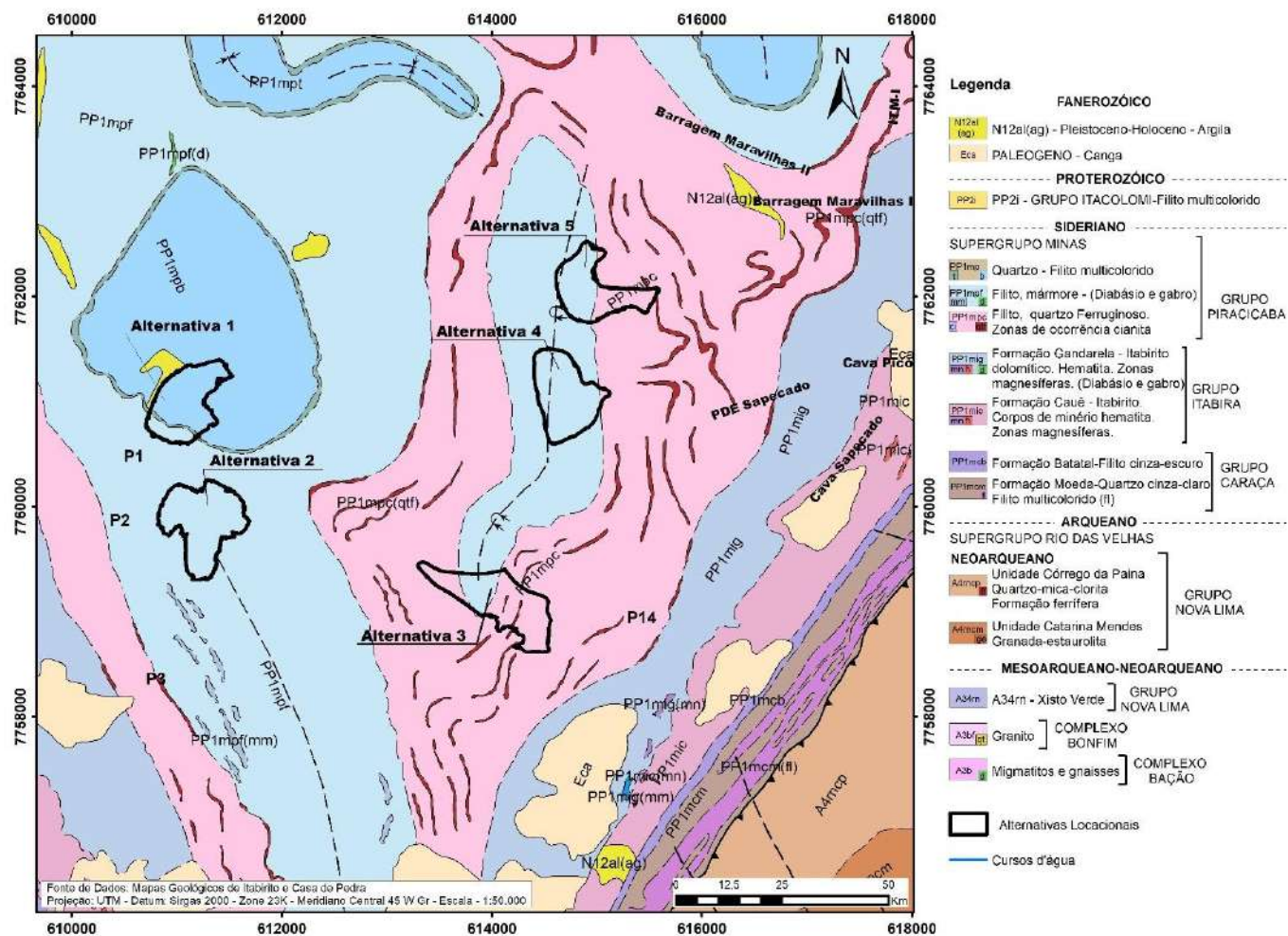


Figura 14 - Localização das alternativas locacionais das Pilhas de Estéril/Rejeito frente ao mapa geológico de Itabirito e Casa de Pedra.

3.3.3.1 Critérios para Análise de Alternativas Locacionais

Os critérios utilizados para realizar a análise das alternativas locacionais para a implantação de pilhas de estéril/rejeito, como no presente caso, envolvem um conjunto diverso de fatores, dentre eles os de natureza operacional e outros de natureza ambiental, destacando-se:

- Características de relevo e capacidade de armazenamento

Um dos principais atributos considerados na escolha de um determinado sítio para a implantação de uma pilha de estéril/rejeito é sua capacidade de acomodar, adequadamente, o volume necessário para atender as demandas do empreendimento.

De um modo geral, essa capacidade de armazenamento está relacionada às características do relevo, sendo mais apropriados os terrenos situados em compartimentos escavados pela drenagem natural, marcados por talvegues secos e com declividade significativa, que possibilitam a acumulação de volumes consideráveis de sólidos, devidamente acomodados e apoiados nessas formas naturais. Terrenos planos, via de regra, não são favoráveis para a formação de pilhas, sobretudo, por que não propiciam fases escoradas nos terrenos naturais.

- Localização geográfica relativa

Outro aspecto de fundamental importância na avaliação locacional de uma pilha de estéril/rejeito é a sua localização geográfica em relação aos pontos de geração dos materiais que serão dispostos. Esta localização relativa influencia em um aspecto de ordem operacional importante que é conhecido como “Distância Média de Transporte – DMT”, parâmetro que tem significativa repercussão na economicidade das operações e, também, pode trazer dificuldades se não existirem conexões entre os locais por meio de estradas já existentes, exigindo a abertura de acessos, representando, assim, significativos impactos ambientais.

- Atributos ambientais - Uso e ocupação do Solo

De suma importância para a escolha do local de uma futura pilha de estéril/rejeito é a presença de atributos ambientais no sítio considerado, tais como presença de vegetação exuberante, que podem abrigar espécimes de fauna e flora, e, eventualmente, espécies ameaçadas de extinção, assim como a presença de nascentes ou cursos d'água, que também constituem elementos de grande relevância ambiental.

- Características geológicas do sítio

Outro parâmetro fundamental para a escolha do sítio destinado à formação de uma pilha de estéril/rejeito relaciona-se às características geológicas do local onde será implantada a estrutura, por vários aspectos.

Inicialmente, ressalta-se que este parâmetro é determinante para a segurança geotécnica da estrutura, em função das características geomecânicas da fundação, que serão determinantes para a sua resistência. A presença de horizontes de baixa resistência pode exigir medidas de engenharia para reforço que podem ser onerosas e por vezes inviáveis.

Estruturas geológicas de natureza físsil, tais como estratificações, clivagens e fraturas, também podem comprometer a resistência das fundações.

As características hidrogeológicas também serão de suma importância, pois a presença de fluxos de águas subterrâneas pode, também, influenciar a redução de resistência mecânica, tanto da fundação quanto da base da própria pilha, em situações que o nível freático tem ascensão acentuada.

- Aspectos fundiários

A questão fundiária é de fundamental importância para a escolha do sítio a ser utilizado para viabilizar o futuro empreendimento, tendo em vista que é imprescindível ter o domínio sobre a escolha da destinação do local selecionado e garantir sua plena regularização jurídica. Pois a utilização de terrenos pertencentes a terceiros quase sempre envolve demorados processos de servidão minerária, o que muitas vezes inviabiliza a utilização de determinados sítios.

3.3.3.2 Análise das Alternativas Locacionais

De posse das características de cada uma das alternativas consideradas, passa-se à análise comparativa das alternativas estudadas com base nos critérios previamente estabelecidos, os quais são apresentados a seguir:

I - Capacidade de armazenamento

A demanda por espaços imprescindíveis para o descarte de um expressivo volume de material, seja estéril ou rejeito, foi um dos fatores primordiais na seleção da alternativa, haja vista que a demanda anual para a ampliação do empreendimento será da ordem de $(5.600.000 \text{ t} / 2,8 \text{ t/m}^3 = 2.000.0000 \text{ m}^3/\text{ano}$, para uma densidade do material empolado de $2,8 \text{ t/m}^3$). Portanto, para um projeto com vida útil de 10 anos, seria necessário dispor de estruturas capazes de armazenar cerca de $20.000.0000 \text{ m}^3$.

II - Localização geográfica

A localização geográfica tem implicação tanto econômica quanto ambiental, ressaltando que os trajetos entre as minas (Tanque Seco e Sapecado) e pilhas, no caso do estéril, assim como a ITM e pilhas, para os rejeitos do beneficiamento, serão percorridos diariamente pela frota de caminhões em trajetos de ida e volta. Isso implica em intensa movimentação, o que onera, sobremaneira, as operações e contribuem negativamente para a qualidade do ar, devido à emissão de particulados nas vias de acesso e de gases provenientes da combustão dos motores.

Pela somatória das distâncias acumuladas dos trajetos possíveis, é possível avaliar quais alternativas se mostram mais favoráveis neste critério.

III - Atributos ambientais

Em cada uma das alternativas estudadas, buscou-se quantificar as áreas ocupadas por segmentos de mata — remanescentes florestais — em comparação aos trechos com vegetação campestre. Essa avaliação visa estimar a interferência potencial de cada alternativa sobre os diferentes tipos de cobertura

vegetal, considerando os impactos ambientais associados à supressão da vegetação nativa.

Áreas com presença de matas mais densas tendem a apresentar maior sensibilidade ambiental, em especial quando associadas a fragmentos florestais conectados a corredores ecológicos ou quando há possibilidade de ocorrência de espécies da fauna e flora ameaçadas de extinção. Por outro lado, áreas dominadas por vegetação campestre, em geral, apresentam menor restrição ambiental, desde que não incluam campos rupestres ou formações de alta relevância ecológica.

IV - Características geológicas

Considerando-se os atributos geológicos identificados por meio da plotagem das pilhas no mapa geológico de detalhe, bem como das informações obtidas em campo, foram analisadas as possíveis fragilidades geológicas do substrato das estruturas, como, por exemplo, a presença de solos moles.

Na Alternativa 1, evidencia-se a presença extensiva de rocha filítica, associada à Formação Barreiro, do Grupo Piracicaba, que se mostra moderadamente intemperizada. No entanto, são exibidos solos argilosos associados, constituindo esse conjunto um substrato crítico para a implantação de uma pilha, exigindo a adoção de medidas de engenharia adequadas para reforço da fundação. Adicionalmente, observa-se a presença de nascentes neste mesmo sítio, exigindo a implantação de estrutura hidráulica projetada para preservar o fluxo de água e proteger a estrutura eventualmente implantada.

V - Aspectos fundiários

Das cinco alternativas estudadas, apenas as duas primeiras (Alternativas 1 e 2) estão localizadas em terrenos de propriedade da Herculano Mineração. As demais estão posicionadas em áreas pertencentes à mineradora VALE, o que implicaria na necessidade de negociação ou estabelecimento de servidão minerária, com potencial para dificultar ou inviabilizar a implantação das estruturas nessas localidades.

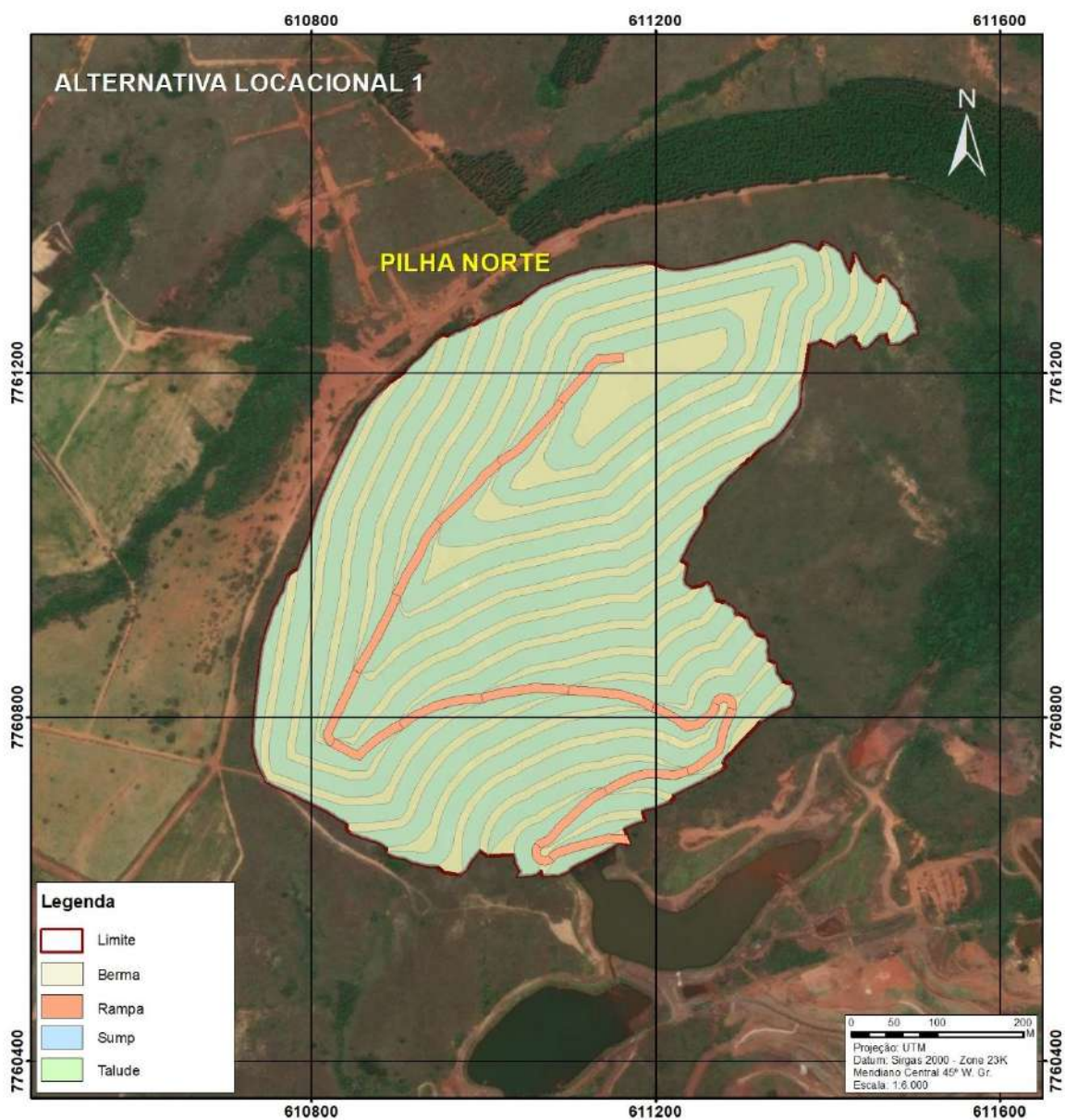


Figura 15 - Localização da Alternativa 1 - Pilha Norte.

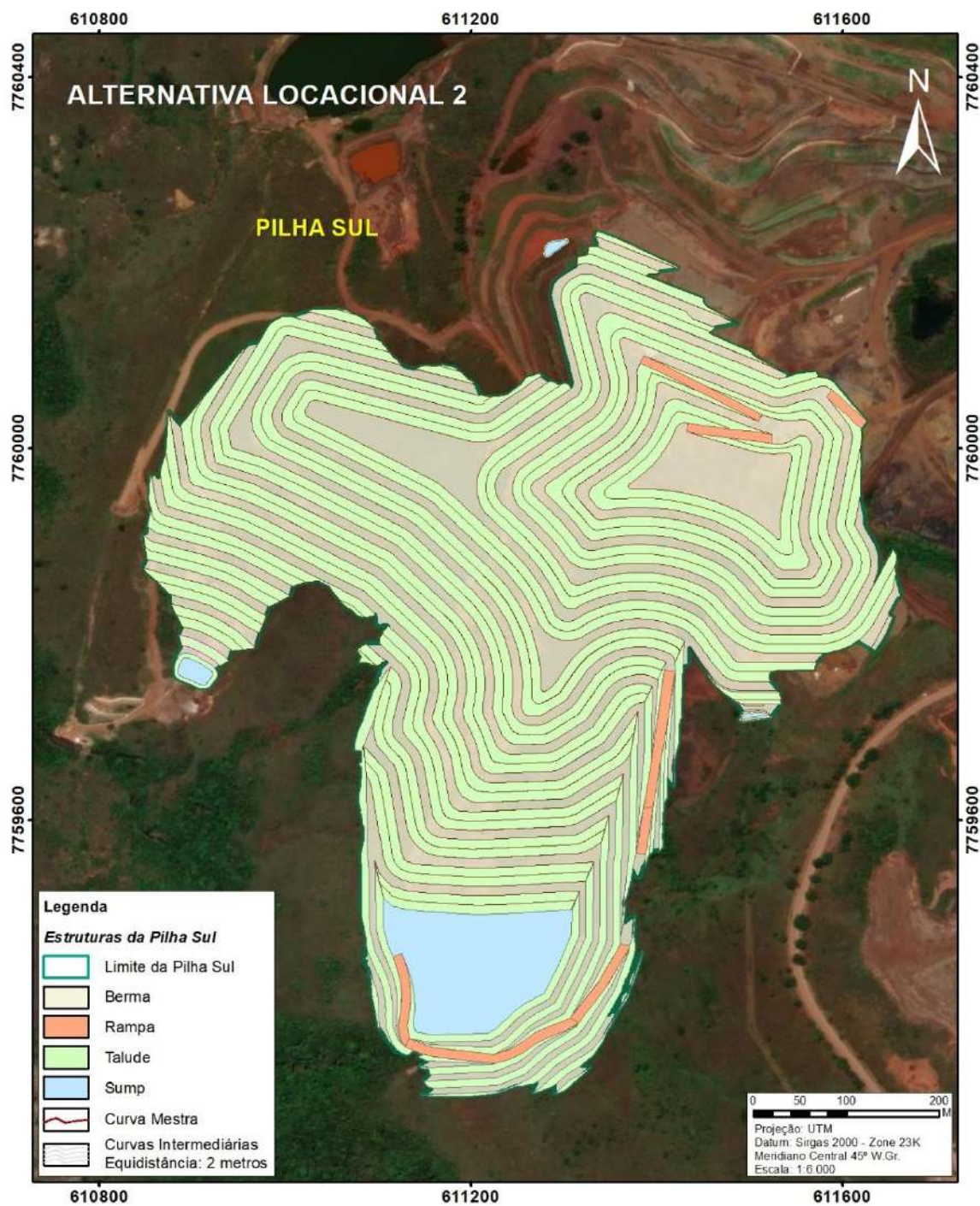


Figura 16 - Localização da Alternativa 2 – Pilha Sul.

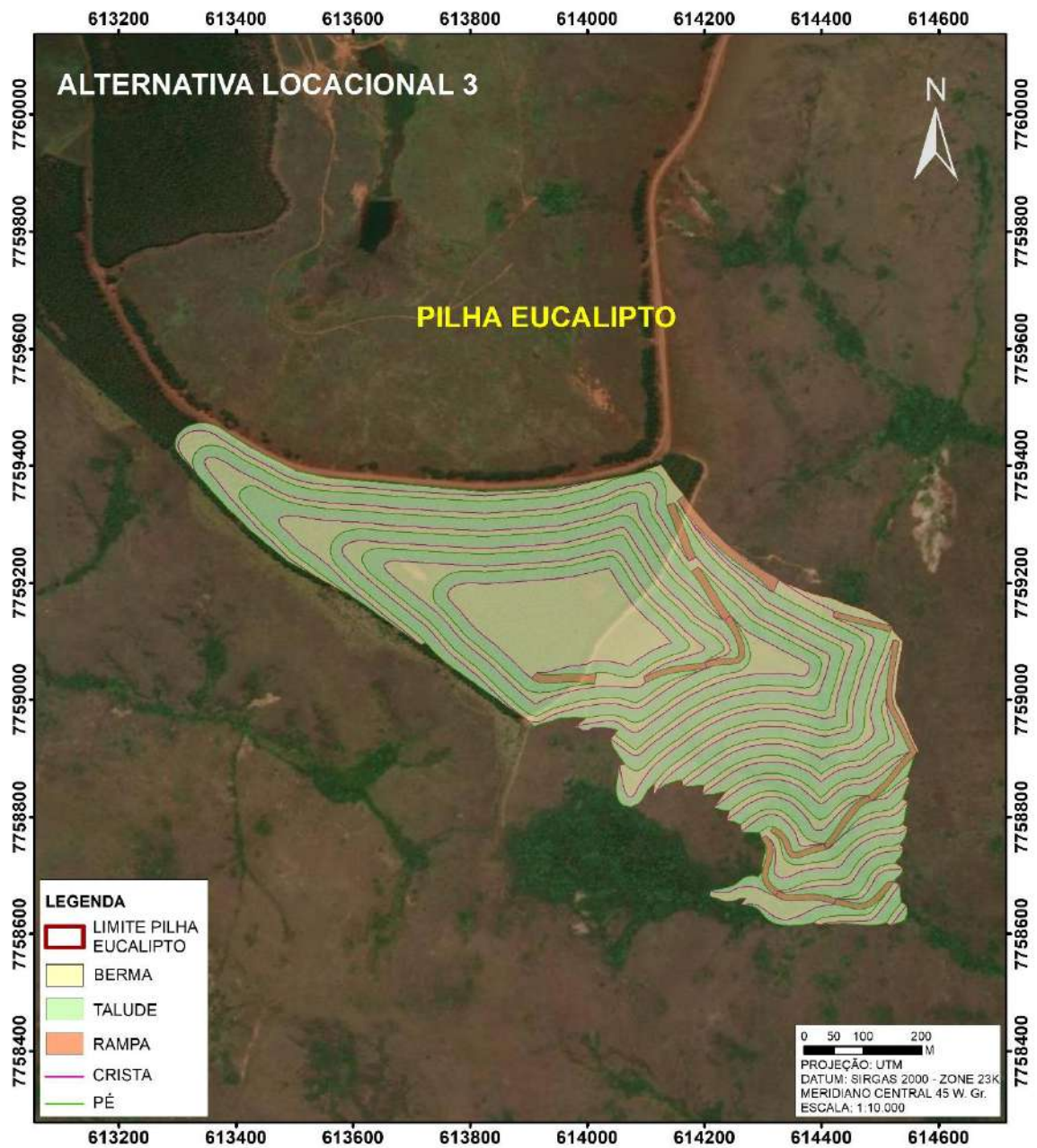


Figura 17 – Localização da Alternativa 3 – Pilha Eucalipto.

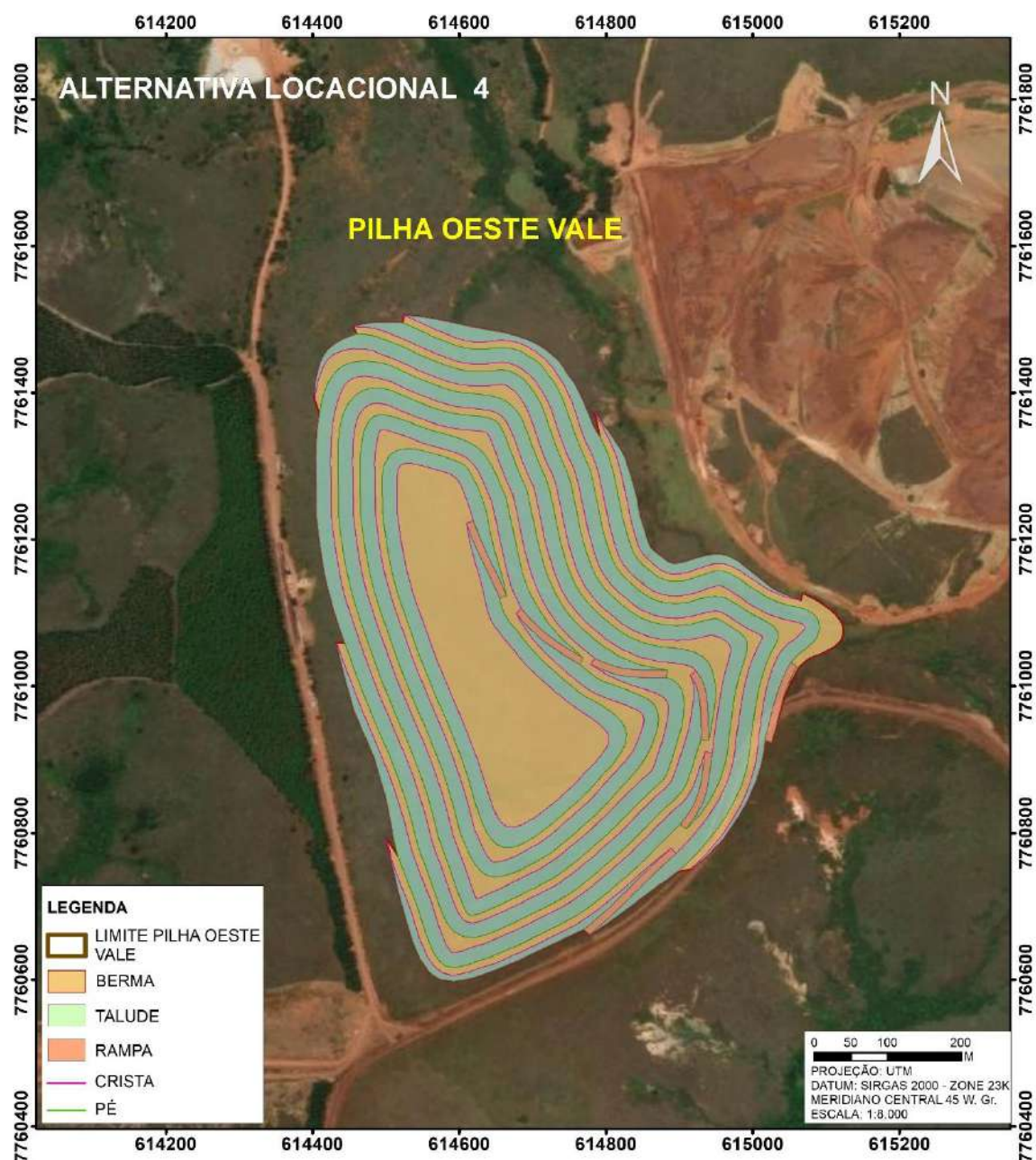


Figura 18 – Localização da Alternativa 4 - Oeste Vale.

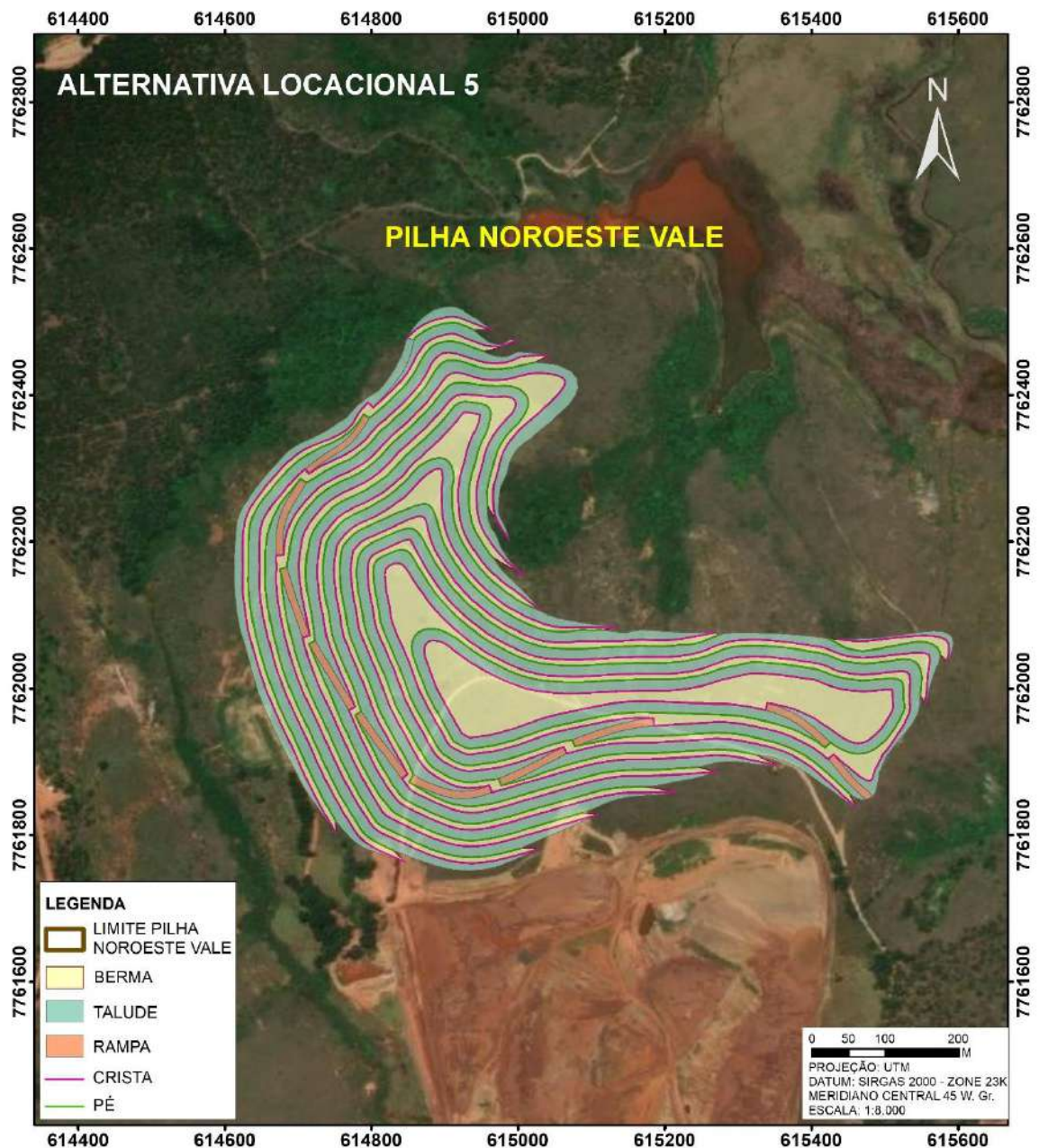


Figura 19 – Localização da Alternativa 5 – Noroeste Vale.

3.1.3.1 CONCLUSÃO E ESCOLHA DAS MELHORAS ALTERNATIVAS

Nos estudos ambientais para este tipo de estrutura realmente é salutar estudar alternativas locais, devido aos grandes impactos ambientais decorrentes de suas efetivas implementações. Porém, na prática, é muito difícil fazer a escolha simplesmente em função dos atributos ambientais, como deveria ser, em princípio.

O empreendimento precisa de estrutura que comporte ao máximo o volume de material inservível (estéril e rejeito) a ser gerado por ele. Percebe-se que nenhuma das estruturas, isoladamente, fica perto de atingir este objetivo. Das 5 alternativas, as duas que mais aproximam de fornecer espaços para disposição de volumes máximos a serem gerados nas cavas e usina de beneficiamento, são as alternativas 1 e 2 somadas, ou seja, a Pilha Norte e Pilha Sul. Sendo, portanto, estas duas alternativas as selecionadas no projeto.

Com relação aos atributos ambientais, a alternativa 1 (Pilha Norte) realmente ocupa uma grande área florestal de savana parque e nascente a ser protegida. A alternativa 2 se localiza, em grande parte, em área antropizada com árvores isoladas, além de prever a prática local de uma lavra (Cava A), a ser futuramente ocupada pela Pilha Sul. Esta alternativa se mostra vantajosa em relação às demais. A alternativa 3 apresenta área de futura utilização composta de mata de eucalipto, ou seja, já antropizada, mas esta estrutura se mostra inviável por estar comprometida de não utilização para este tipo de estrutura pela proprietária do solo, a VALE, em virtude da vizinhança com a Unidade de Conservação Estação Ecológica Estadual de Arêdes. As alternativas 4 e 5 são as que mais detêm vegetação remanescente em suas áreas de ocupação, embora caracterizadas por vegetação de campo.

Em relação às **Distâncias Médias de Transporte (DMT)**, as alternativas 1 e 2 (Pilha Norte e Pilha Sul) apresentam as distâncias médias de transporte mais favoráveis. Isso é especialmente relevante porque elas estão mais próximas da ITM, a fonte de rejeito — que representa a maior parte do material a ser empilhado.

Por último, vem a questão da propriedade das terras. As únicas alternativas onde as terras são da Herculano são as Pilhas Norte e Sul (Alternativas 1 e 2), portanto, as opções indicadas neste estudo como aquelas a serem efetivamente licenciadas. Para viabilizar as alternativas 4 e 5 teria de ser feito acordo com a VALE ou obter servidão das áreas em processo judicial, muito moroso e difícil. Ressalta-se que estes são espaços também vislumbrados pela Vale de serem utilizados pelos seus projetos de lavra na região.

O estudo de alternativas, na realidade, confirmou a ausência de outras alternativas de locais para a construção das pilhas de estéril/rejeito. Assim,

concluiu-se que as únicas alternativas viáveis para a ampliação da Herculano são as Pilhas Norte e Sul.

3.2 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

Com relação à lavra de minério de ferro, como o Brasil é um dos maiores produtores mundiais desta commodity, o mesmo emprega também algumas das melhores tecnologias nas operações das minas, realidade esta que se estende às atividades da Herculano Mineração.

Devido às características geológicas e topográficas de suas jazidas, a lavra é conduzida a céu aberto, por meio de bancadas regulares descendentes, com a disposição de bermas de segurança entre bancos, conforme ilustrado na foto a seguir.



Figura 20 - Foto ilustrativa das bancadas da lavra do Sapecado.

São empregados máquinas e caminhões, sendo estes os mais indicados pelo setor técnico mineral, com uma política de constante renovação de frota (foto a seguir), garantindo maior eficiência operacional e confiabilidade das operações.



Figura 21 - Foto mostrando o conjunto escavadeira / caminhão basculante normalmente empregado na frente de lavra.

No que tange ao beneficiamento de minério, a HERCULANO vem aperfeiçoando constantemente seu processo, por meio de pesquisa e implementação de melhorias indicadas nestes estudos, visando maximizar a recuperação em seu processo produtivo e reduzindo, progressivamente, a geração relativa de rejeitos.

Atualmente, além da empresa contar com equipamentos de alta performance para as etapas de britagem e classificação granulométricas, ela conta com unidades robustas e bem calibradas de concentração por via úmida, com processo de separação das espécies minerais (hematita e sílica,

predominantemente) pelos princípios de diferenças de densidade e de magnetismo.

Ainda no processo de tratamento do minério, dentre as empresas de pequeno / médio porte do setor de minério de ferro, a HERCULANO pode ser considerada pioneira na implantação de filtros para desidratação de rejeitos. Essa inovação viabiliza a disposição de materiais desta natureza em pilha, substituindo o antigo uso de barragem para a disposição do rejeito sob a forma de polpa.

Com relação ao empilhamento de estéril/rejeito, no presente caso, considerou-se como com maior viabilidade a realização de método de disposição de rejeito desaguado, com a utilização de filtro para secagem do rejeito.

Foi realizada a opção de codisposição de materiais, estéreis e rejeito, como a alternativa tecnológica de disposição considerando os seguintes condicionantes:

- O estéril será utilizado para formar um anteparo externo da pilha;
- Existem claras vantagens reológicas na realização da codisposição, resultando em um material com maior resistência ao fluxo. Com efeito, em caso de ruptura, os efeitos são reduzidos.

Sem dúvida, a alternativa de disposição em pilha representa a solução mais segura e mais empregada na mineração e, por isto, está sendo adotada no presente licenciamento.

Conforme já mencionado, a HERCULANO realizou significativos esforços, principalmente de natureza econômica, para modernizar seu processo de beneficiamento, com a implantação de filtros mecânicos de desidratação de rejeitos. Tal medida possibilitou a transição para o empilhamento mecânico, eliminando a dependência de barragens para a disposição final do material.

3.2.1 Alternativas Tecnológicas Avaliadas e Descartadas

As seguintes técnicas de disposição foram avaliadas, mas não consideradas no presente projeto:

- **Barragens de Rejeito:** Considerando as restrições atuais para implantação de Barragem de Rejeitos, tanto em âmbito federal quanto estadual, considerou-se esta alternativa como inadequada para a Herculano;
- **Disposição por superfloculação:** Técnica de desaguamento do rejeito, utilizando uma superdosagem na linha de descarga do rejeito. Este método é apresentado pela Nalco e Ciba sob o nome de Orebind e Rheomax, respectivamente. Este procedimento tem sido usado com sucesso na indústria de areias pesadas, na Austrália. O resultado da adição extra de floculante é a formação de uma mistura não segregada de material com um ângulo de deposição maior quando adicionado a tubulação de rejeitos, além de um desaguamento mais rápido do rejeito. Devido a esta mistura não segregada, as partículas finas ficam retidas nos flocos e empilham junto do material grosseiro.

Apresenta com principal inconveniente a formação de uma espécie de praia, muito similar à praia de rejeitos, mas com inclinação muito superior, da ordem de 10°. Por se tratar de uma técnica pouco experimentada, menor recuperação de água, sem espaços adequados para sua utilização e com riscos regulatórios (pode ser entendido como empilhamento drenado), este procedimento não foi considerado adequado.

- **Pasta mineral:** assim como no processo de desaguamento, a ideia é secar ao máximo o rejeito através de processos de espessamento. Neste caso são utilizados espessadores de alta capacidade, verticais, atingindo teores de sólidos superiores a 85%-90%, em massa. Isto resulta em um fluído homogêneo, no qual não ocorre segregação granulométrica e que, ao ser lançado, não apresenta drenagem significativa.

A pasta é geralmente depositada com rejeito espessado para formar uma pilha cônica, que geralmente resulta em ângulos entre 3 e 10°. À medida que

as camadas de pastas cessam seu fluxo, ocorre seu trincamento, que permite uma melhor aderência entre as camadas lançadas.

Apresenta adequação para locais com fortes restrições de captação de água, com geometria relativamente plana e com baixos índices pluviométricos, o que não se aplica para o presente caso, sendo, portanto, descartada.

3.3 ALTERNATIVA ZERO

A alternativa zero, na presente análise, corresponderia a não efetivação da implantação do projeto em questão, o qual contempla a ampliação das atividades de lavra e beneficiamento de minério de ferro, bem como a implantação das pilhas de estéril/rejeito, conforme previsto no presente licenciamento.

A atividade de mineração é, por sua natureza, muito dinâmica e sujeita a constantes ajustes, aperfeiçoamentos, assim como ampliações.

Estas demandas surgem em decorrência dos seguintes fatores:

- Alterações nas características do minério, à medida do aprofundamento dos cortes de lavra;
- Variação nos valores de mercado do minério, exigindo maior flexibilidade produtiva;
- Variação nos custos unitários das operações de lavra e beneficiamento, ensejando, as vezes, a prática de maiores escalas de produção para fazer frente aos custos;
- Desenvolvimento ou adoção de nova tecnologia empregada no aproveitamento da jazida;
- Necessidade de novas estruturas para disposição adequada de estéril/rejeito do processo.

No caso deste empreendimento da HERCULANO, as demandas consideradas imprescindíveis para a continuidade do projeto a médio/grande prazo são as seguintes:

- Ampliação na escala de produção, em virtude da redução na recuperação dos minérios lavrados ultimamente, na jazida da Mina do Retiro do Sapecado. Tal redução decorre, principalmente, do aprofundamento do pit de lavra, onde as formações ferríferas apresentam-se cada vez mais finas e com maior teor de sílica, resultando em menor rendimento no processo de beneficiamento. Como consequência, há uma redução constante nos quantitativos de produtos finais comercializáveis, com consequente redução no faturamento do empreendimento, comprometendo os compromissos financeiros da empresa. Para manter os níveis históricos de produção e garantir a sustentabilidade econômica do projeto, torna-se imprescindível o aumento da escala de produção do minério bruto (ROM).
- Desenvolvimento da lavra, no alvo denominado Tanque Seco. Essa lavra permaneceu suspensa por vários anos em decorrência de uma sobreposição parcial da área do direito minerário com a área da Unidade de Conservação Estação Ecológica Estadual de Arêdes. No entanto, a situação foi finalmente resolvida no final do ano de 2013, com a retirada da interferência, o que possibilitou a retificação da antiga Portaria de Lavra (Processo ANM 004.254/1957). Agora, para consolidar a situação do direito minerário, a HERCULANO precisa reiniciar a lavra, mas, para isso, precisa requerer a autorização por meio de licenciamento ambiental;
- Demanda de novas estruturas para a disposição de estéril/rejeito, para fazer frente às novas demandas decorrentes da ampliação da mina. Vale ressaltar que a HERCULANO, por força de contrato com a mineradora vizinha, a VALE, vem dispondo estes materiais em pilha da mineradora vizinha na região do Retiro do Sapecado. Entretanto, esta operação possui limitações, exigindo que a Herculano projete e licencie suas próprias estruturas de disposição.

A não efetivação deste projeto de ampliação do empreendimento, com o passar dos anos, certamente, implicará em sua inviabilidade técnica e econômica,

conforme os motivos já apresentados. Não há como desenvolver o empreendimento da Herculano em Itabirito, na região do Tanque Seco/Retiro do Sapecado, sem a existência de estruturas adequadas para disposição do estéril e o rejeito gerados em seu processo produtivo.

Em suma, a HERCULANO considera o Projeto Pellet Feed fundamental para dar continuidade à trajetória de êxito construída ao longo de sua história. O projeto representa o compromisso da empresa com o aprimoramento contínuo de seus métodos, favorecendo a ampliação de mercados e a geração de benefícios socioeconômicos que reforçam a importância de manter suas operações.

4. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E ASPECTOS AMBIENTAIS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento objeto deste estudo de ampliação do empreendimento minerário (minério de ferro), denominado Projeto Pellet Feed, situa-se nos locais denominados “Retiro do Sapecado” e “Tanque Seco”, no Município de Itabirito – MG.

Trata-se de um projeto de aproveitamento de minério de ferro, de porte médio, para o setor, mas de estrutura completa para o bom aproveitamento do bem mineral, contando com operações robustas e racionais de lavra, beneficiamento (britagem, peneiramento e concentração) e disposição de estéril/rejeito.

O empreendimento da HERCULANO na região do Tanque Seco e Retiro do Sapecado, município de Itabirito, conta com toda uma estrutura operacional montada para dar suporte aos trabalhos de lavra na região, incluindo:

- Frente de lavra em operação no local designado como Retiro do Sapecado, nas áreas dos processos ANM 001.995/1963, 004.856/1960 e 831.175/2022;
- Instalação de britagem e classificação granulométrica, com unidades preparadas para produção de granulado, hematitinha, *sinter feed* e *pellet feed*;
- Escritórios administrativos;
- Vestiários;
- Portarias e estacionamentos;
- Almoxarifado;
- Oficina mecânica para equipamentos;
- Tanques de estocagem e abastecimento de combustíveis;
- Paíóis de explosivos e acessórios;
- Estradas internas de acesso.

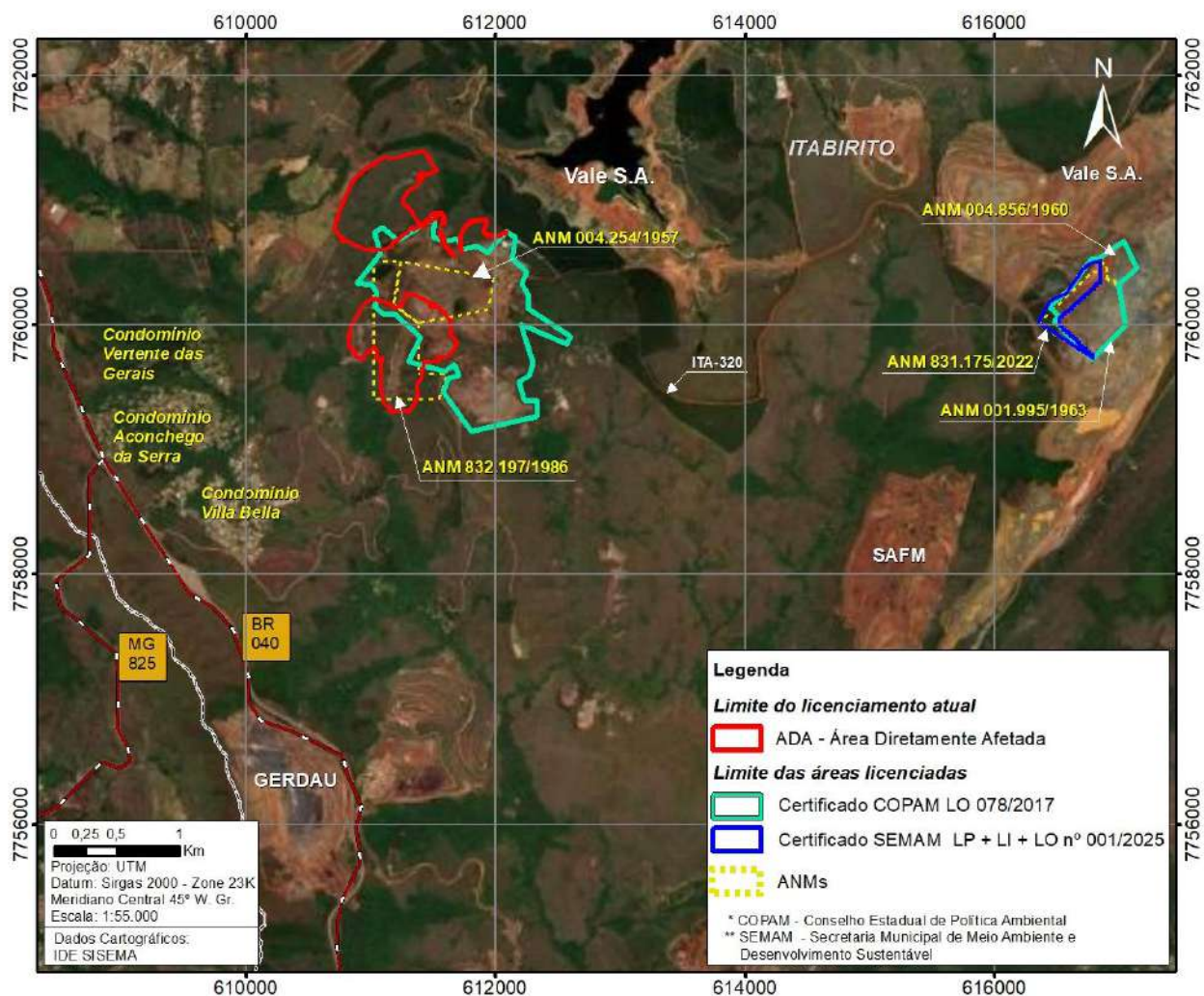


Figura 22 - Estruturas atuais da Unidade Operacional da Herculano Mineração em Itabirito / MG.

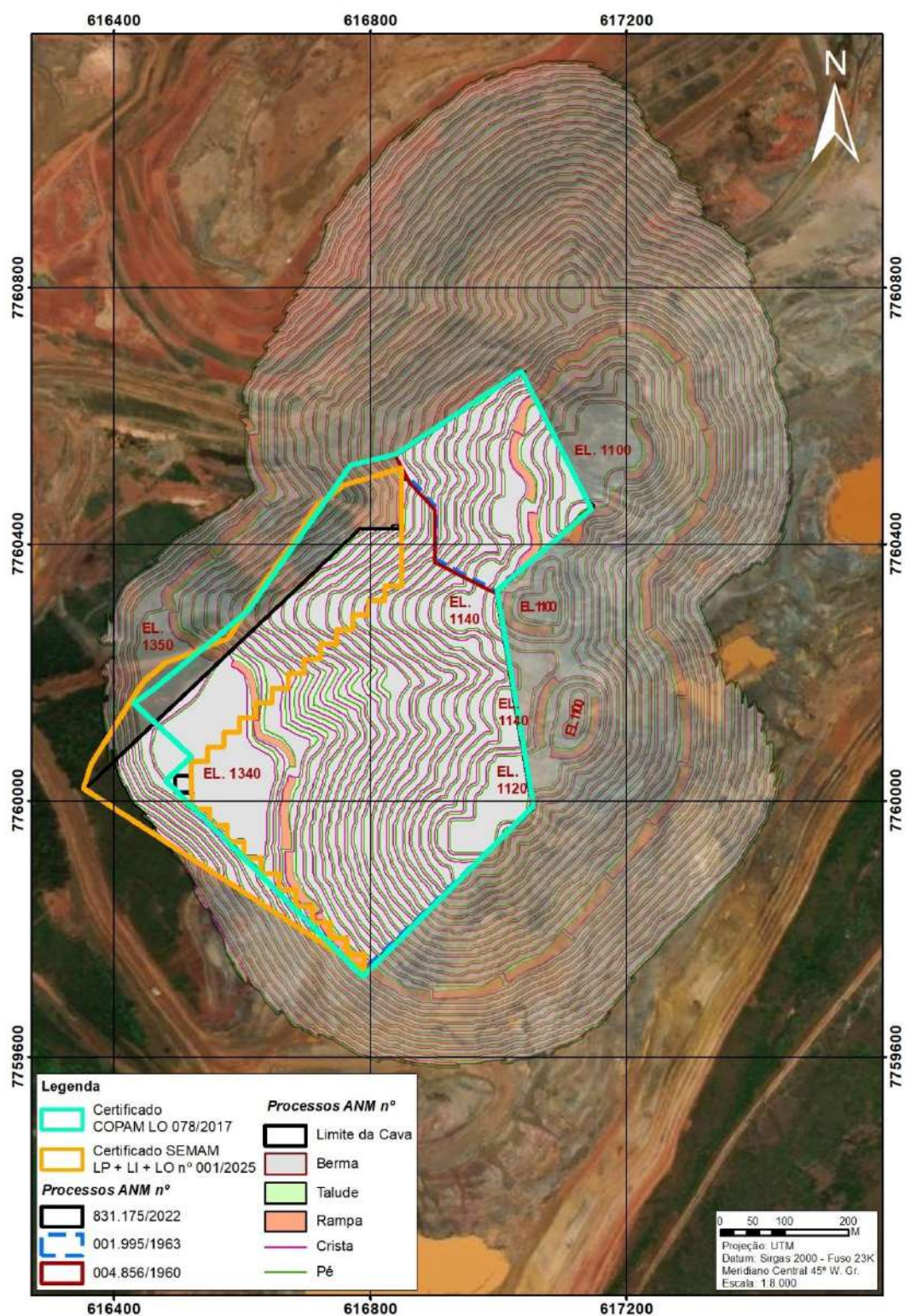


Figura 23 - Vista em detalhe das áreas da lavra praticada atualmente pela Herculano Mineração na mina do Sapecado, Processos ANM 004.856/1960, 001.995/1963 e 831.175/2022.

4.2 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO AO EMPREENDIMENTO

O projeto objeto de licenciamento (lavra, beneficiamento de minério de ferro e implantação das pilhas de estéril/rejeito) está situado no local denominado “Tanque Seco”, no município de Itabirito, estado de Minas Gerais.

As duas pontas do empreendimento, representadas hoje pela lavra (Retiro do Sapecado) e estruturas de processamento do minério, incluindo a ITM (Tanque Seco) situam-se, em média, a 7 km de distância, por estrada cascalhada. Neste projeto de ampliação, projeta-se lavrar minério também na área do Tanque Seco, área onde também se encontra a ITM.

A estrutura central (ITM e Apoio) da HERCULANO, no Tanque Seco, está situada na lateral esquerda da estrada municipal de acesso da mina do Retiro do Sapecado à rodovia BR-040. Portanto, apesar de transportar o minério bruto (ROM) a uma razoável distância, existe a atenuante de que este transporte é favorável a saída de parte dos produtos finais, via BR-040. Inclusive esta mineradora promoveu a pavimentação do trecho desta estrada situada entre a ITM e a mencionada rodovia, trecho de estrada este em recentes serviços de revitalização pela própria HERCULANO.

O acesso à área, a partir de Belo Horizonte, pode ser feito pela BR-040, no sentido do Rio de Janeiro. Após um percurso da ordem de 35 km, poucos metros após o trevo para a cidade de Moeda, atinge-se o trevo com placas indicativas do “Condomínio Villa Bella” e “Herculano Mineração”, onde se toma, a esquerda, a mencionada estrada pavimentada por esta mineradora. Seguindo esta estrada, depois de passar pela ponte sobre o Ribeirão do Silva, atinge-se a estrutura central de produção da empresa (Tanque Seco) num percurso de aproximadamente 6 km.

Em resumo, a estrutura produtiva da HERCULANO está a, aproximadamente, 6 km da rodovia BR-040 e 35 km de Belo Horizonte.

Desta estrutura produtiva, no Tanque Seco, basta prosseguir a mesma estrada, mas aí por via não pavimentada, para atingir as frentes de lavra da Mina do Retiro do Sapecado, num percurso médio adicional de 7 km.

A situação geográfica desta mineração, com relação aos mercados consumidores, pode ser considerada privilegiada, conforme mostrado na relação de distâncias médias da mineração a alguns dos clientes potenciais:

- Gerdaú-Açominas - Ouro Branco - MG: 70 km;
- Forno de gusa de Itabirito - MG: 20 km;
- Fornos de gusa de Contagem / Betim: 40 km;
- Fornos de gusa de Sete Lagoas: 80 km;
- VALE (embarcadouro de Joaquim Murtinho) – Congonhas – MG: 50 km;
- TFB – Terminal Ferroviário do Bação (da Herculano, J. Mendes e Cedro – Itabirito – MG: 20 Km.

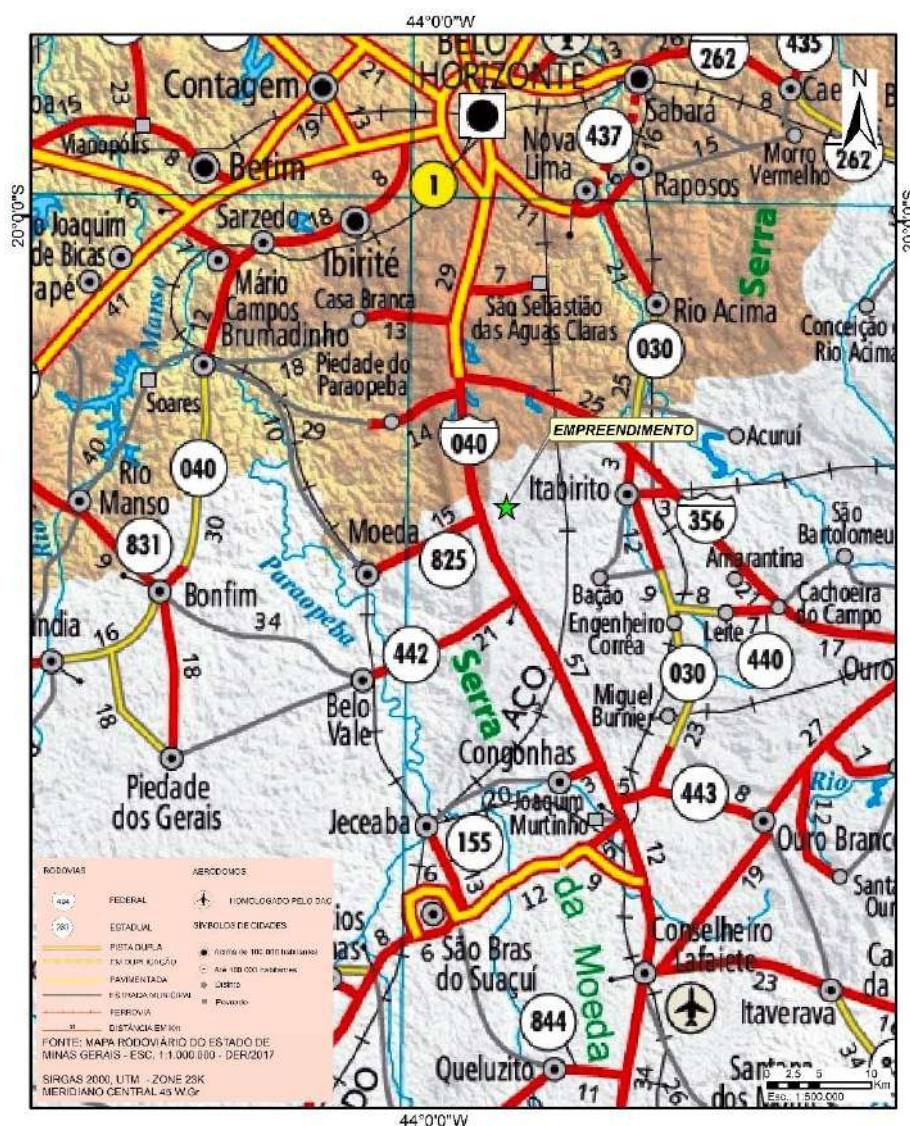


Figura 24 - Localização e vias de acesso ao empreendimento da Herculano Mineração, em Itabirito / MG.

4.3 AMPLIAÇÃO DA LAVRA

O empreendimento minerário da Herculano Mineração em Itabirito, historicamente, se desenvolveu a partir da lavra nas áreas dos Processos ANM nº 004.856/1960 e nº 001.995/1963, de titularidade da Mineração CONEMP e arrendados pela Herculano, na Mina do Retiro do Sapecado. Tais áreas continuarão sendo lavradas com a operação em pit otimizado envolvendo, além dos mencionados, o Processo ANM nº 831.175/2022.

Neste estudo, a empresa projeta a ampliação das atividades de lavra e beneficiamento envolvendo também o aproveitamento das reservas do minério de ferro existente nas áreas dos Processos ANM nº 004.254/1957 e nº 832.197/1986 no local conhecido como antiga “Mina da Tromba”, situada no Tanque Seco, nas imediações das áreas industriais da mina, doravante denominada Cava A.

O projeto de lavra (Cava A), um dos objetos do presente licenciamento, será descrito de forma pormenorizada a seguir.

4.3.1 Cava A – Mina Tanque Seco

Este projeto de lavra refere-se ao desenvolvimento de lavra a ser implantada em uma área onde houve antiga atividade minerária, há muitos décadas atrás, antes do direito minerário pertencer à Herculano Mineração, aqui denominada como “Cava A”.

Os direitos minerários, no Tanque Seco, sobre os quais incidirão os trabalhos, são representados pelos Processos ANM nº 004.254/1957 e nº 832.197/1986.

A Cava A será lavrada conforme o planejamento operacional, com uma sequência otimizada para garantir a eficiência da extração e a segurança das operações. Após a retirada do minério, a cava será preenchida com estéril e rejeito gerados durante o próprio processo de lavra e beneficiamento. Essa estratégia não só otimiza a utilização da área para disposição de materiais, mas também facilita a recuperação ambiental futura, promovendo a reintegração da área à paisagem e minimizando os impactos paisagísticos.

A lavra da Cava A ocorrerá entre as cotas máximas de 1287 metros e mínimas de 1180 metros. Essas cotas foram determinadas com base em estudos

geotécnicos, geológicos e hidrogeológicos detalhados, de forma a garantir a estabilidade dos taludes, a segurança das operações, bem como, de especial importância, que as atividades de exploração serão secas, com distância segura em relação aos níveis freáticos, sem interferência com as águas subterrâneas. Além disso, as cotas foram escolhidas para otimizar o aproveitamento do minério, assegurando a viabilidade econômica e operacional do projeto.

Com base na cubagem realizada, a Cava A apresenta um volume total de 9,37 milhões de toneladas de minério e 9,12 milhões de toneladas de estéril, resultando em uma relação estéril/minério (REM) de 0,97. Esse índice reflete a quantidade de estéril gerado para cada tonelada de minério extraído, sendo um parâmetro crucial para a gestão da disposição de resíduos e a otimização dos custos operacionais.

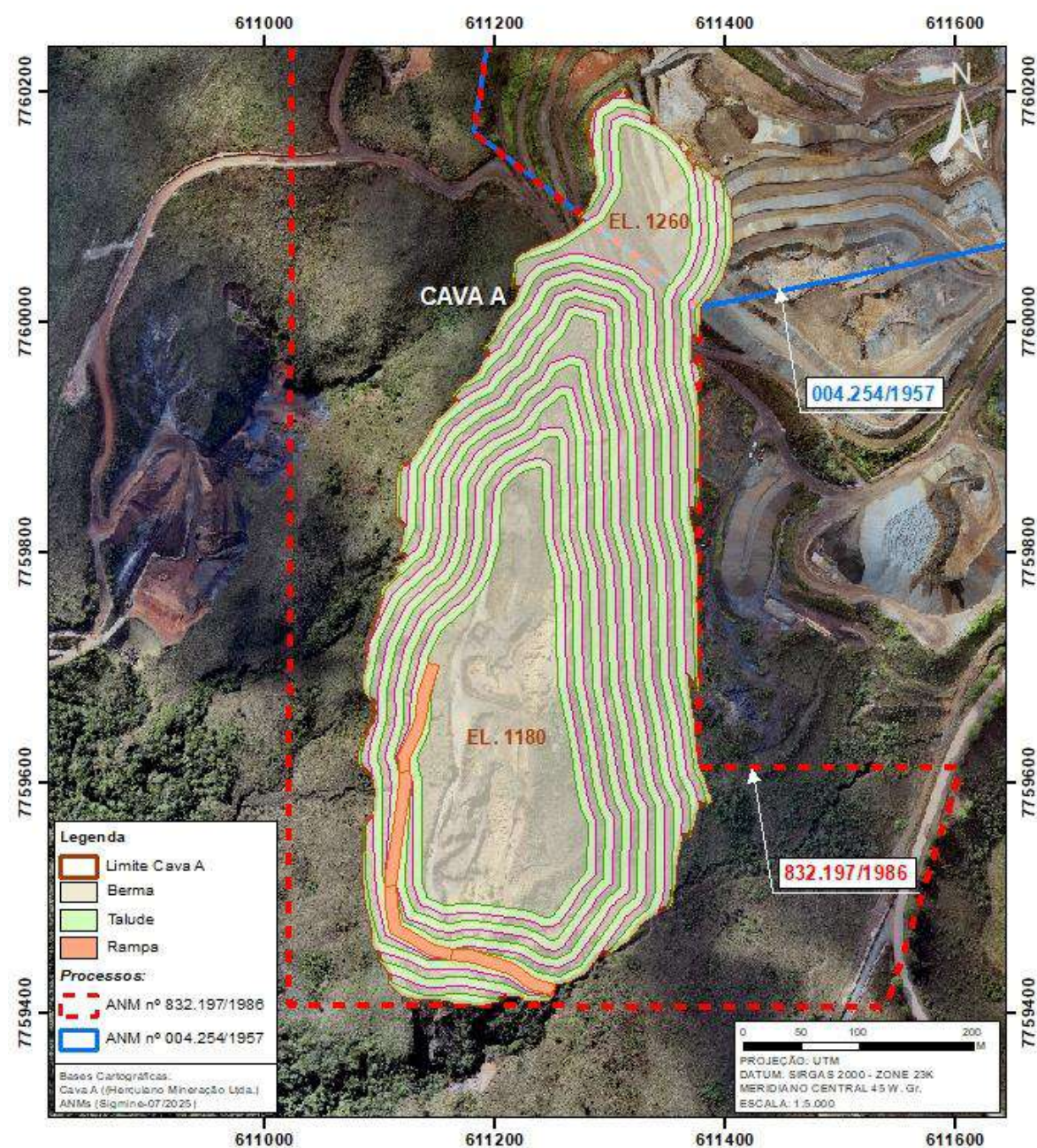


Figura 25 - Cava A da Mina do Tanque Seco em sua configuração planejada.

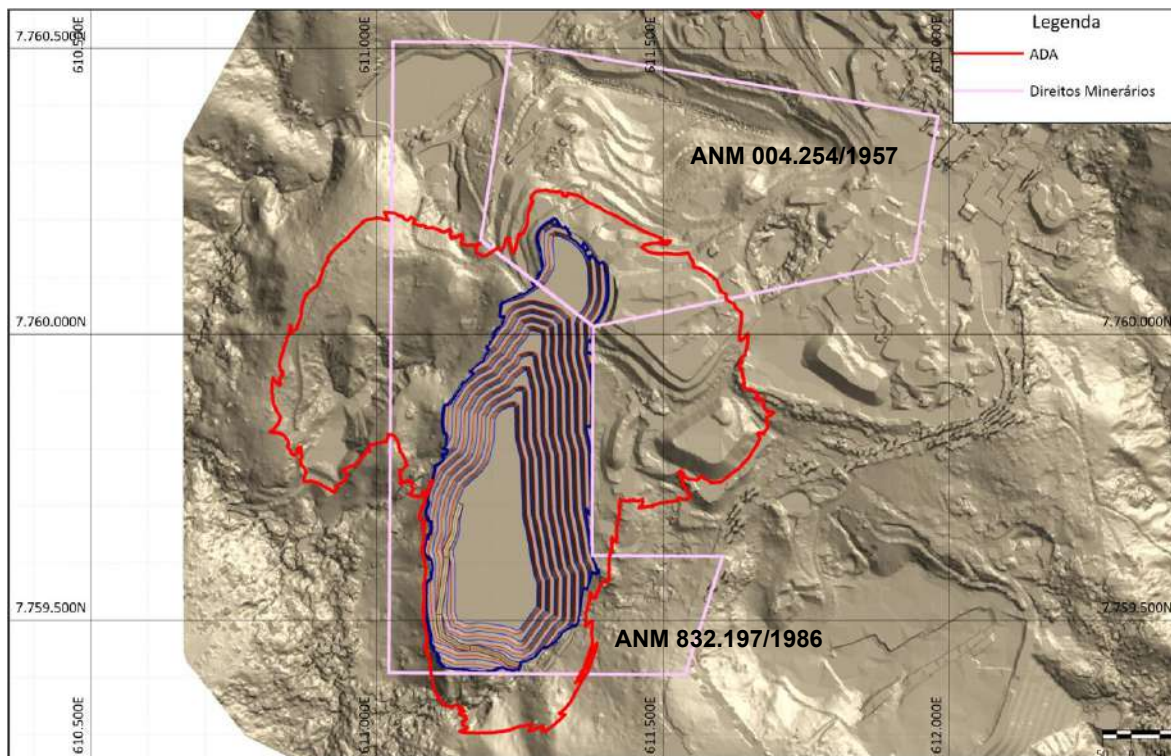


Figura 26 - Visão tridimensional da Cava A, na mina do Tanque Seco, a ser desenvolvida nas áreas dos Processos ANM 4.254/1957 e 832.197/1986.

4.3.2 Continuidade do Desenvolvimento da Cava Sapecado

A Cava Sapecado continuará sendo lavrada em conjunto com a Vale, o que permitirá o melhor aproveitamento do material e a otimização da disposição de estéril. A lavra desta cava ocorrerá entre as cotas máximas de 1463 metros e mínimas de 1100 metros, com base em rigorosos estudos geotécnicos e geológicos. Essas cotas foram escolhidas para garantir a estabilidade dos taludes e a segurança das operações, além de otimizar a extração do minério presente na área.

De acordo com a cubagem realizada, a Cava Sapecado apresenta um volume total de 142,8 milhões de toneladas de minério e 30,90 milhões de toneladas de estéril. A relação estéril/minério (REM) para essa cava é de 0,22, o que é um fator importante para o gerenciamento dos resíduos e para a disposição eficiente de estéril nas áreas de operação.

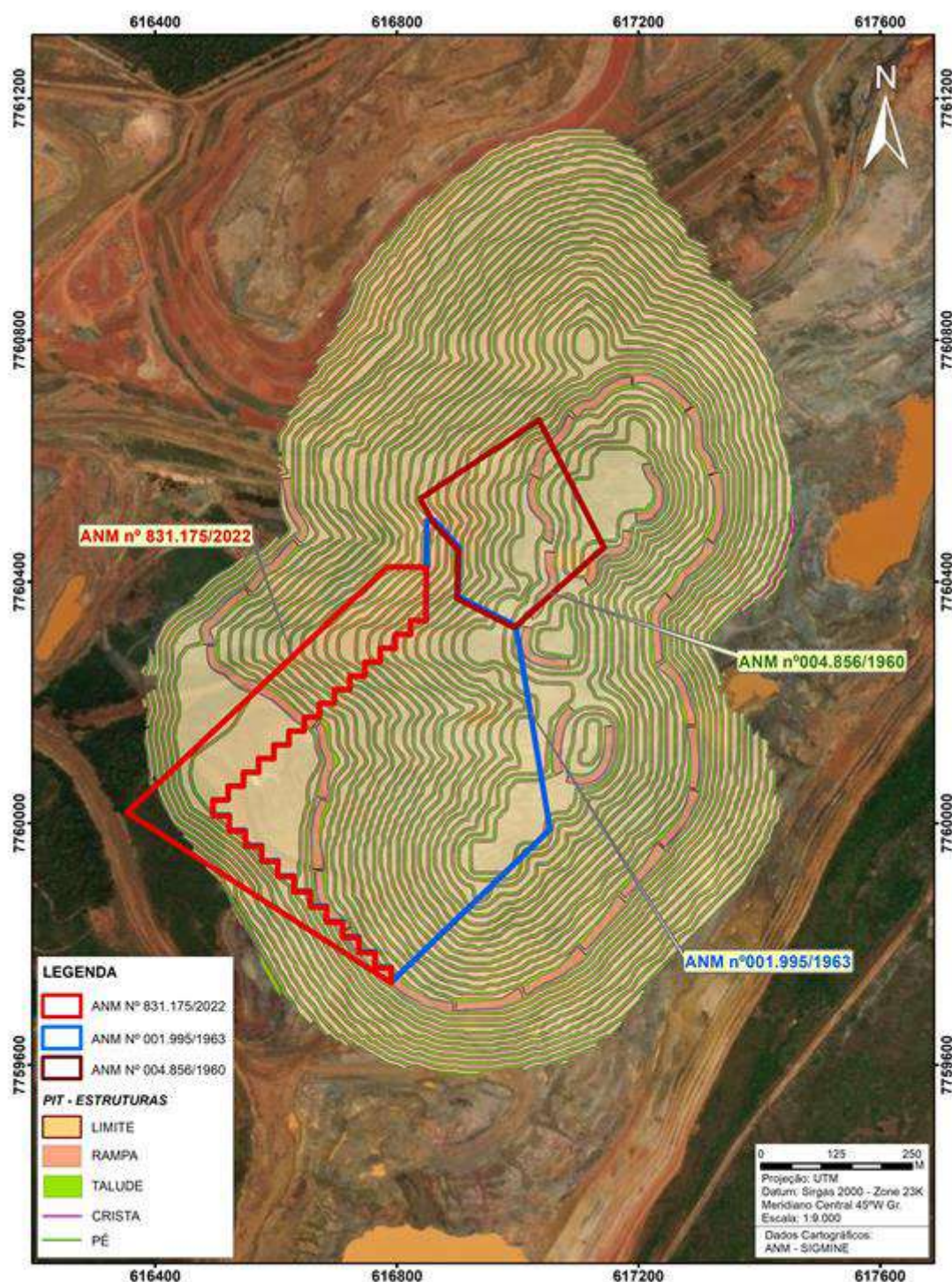


Figura 27 – Vista em detalhe das áreas da lavra praticada atualmente pela Herculano Mineração na Mina do Retiro do Sapecado, Processos ANM 004.856/1960 e 001.995/1963 e 831.175/2022.

4.3.3 *Balanço de Massa e Vida Útil*

Estudos geológicos e mesmo experiência com o avançamento da lavra, mostram que a jazida vem reduzindo o teor de ferro a medida do aprofundamento dos trabalhos de exploração. Em decorrência deste fato, haverá a necessidade de aumentar a massa de alimentação do processo para, no mínimo, manter os níveis de produção, de modo a não comprometer os compromissos de fornecimento dos produtos.

Acrescenta-se a isto a política da empresa de melhorar ainda mais a qualidade de seus produtos, ou seja, de aumentar o teor de ferro, o que contribui para reduzir os quantitativos de massas dos produtos.

Enfim, dadas estas premissas, exige-se um aumento gradual dos quantitativos de alimentação da planta de alimentação, para que a geração de produtos, inicialmente, se mantenham e, progressivamente, se ampliem para atendimento do mercado. A seguir, será apresentada uma perspectiva de previsão de evolução nos parâmetros de alimentação da planta e de geração de produtos finais.

Tabela 3 - Projeção da produção de *run of mine* (ROM) a partir das Cavas do Sapecado e Cava A (Tanque Seco).

ANO	ROM SAPECADO (t)	ROM CAVA A (t)	ROM TOTAL (t)
2026	3.310.000	2.040.000	5.350.000
2027	3.330.000	2.020.000	5.350.000
2028	5.590.000	2.010.000	7.600.000
2029	5.560.000	2.040.000	7.600.000
2030	7.540.000	1.260.000	8.800.000
2031	8.800.000	-	8.800.000
2032	10.200.000	-	10.200.000
2033	10.200.000	-	10.200.000
2034	10.200.000	-	10.200.000
2035	10.200.000	-	10.200.000
2036	10.200.000	-	10.200.000
2037	10.200.000	-	10.200.000

Nos gráficos apresentados a seguir, apresenta-se uma projeção do crescimento gradual da produção de *run of mine* (ROM), visando atingir o quantitativo a ser licenciado, tendo em vista alcançar, basicamente, dois objetivos, quais sejam: manter a geração de produtos e obter um incremento nestes, a partir de minérios cada vez mais pobres, à medida em que a lavra se aprofunda.

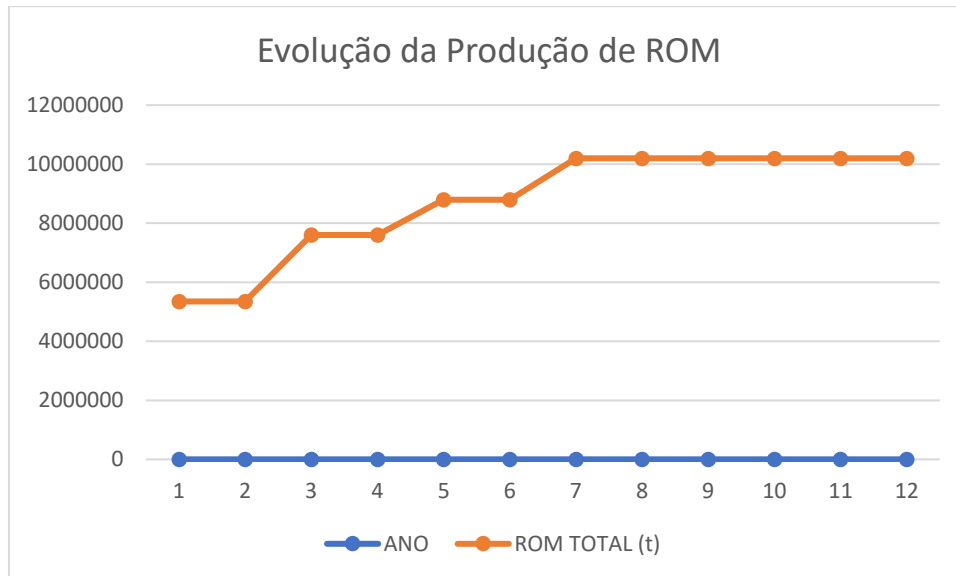


Figura 28 - Evolução da produção de ROM, ampliando-se a escala para compensar os minérios cada vez mais pobres em ferro e obter um acréscimo no volume de produtos.

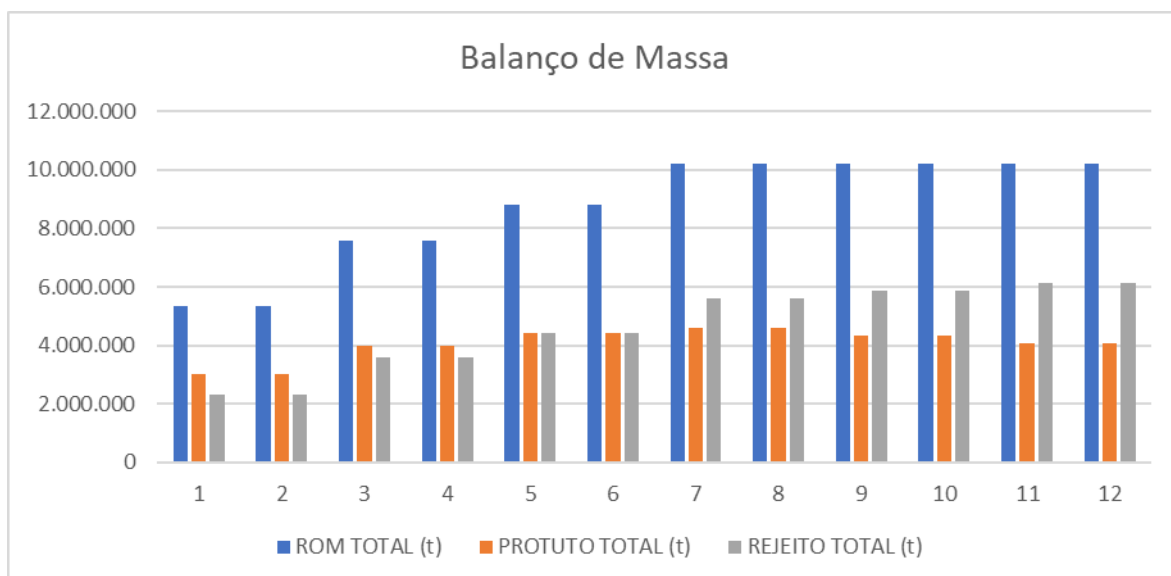


Figura 29 - Evolução da produção anual de ROM, bem como da geração de produtos e rejeitos, observando-se a geração crescente de rejeitos prevista, em razão da existência de minérios mais pobres na medida em que se aprofunda a principal cava (Sapecado).

Tabela 4 - Balanço de Massa para estimativa de massas e volumes.

ANO	ROM SAPECADO (t)	ROM CAVA A (t)	ROM TOTAL (t)	RECUPERAÇÃO (%)	PROTUTO SAPECADO (t)	PROTUTO CAVA A (t)	PROTUTO TOTAL (t)	REJEITO SAPECADO (t)	REJEITO CAVA A (t)	REJEITO TOTAL (t)	ESTÉRIL SAPECADO (t)	ESTÉRIL CAVA A (t)	ESTÉRIL TOTAL (t)	MOVIMENTAÇÃO TOTAL PILHA (t)
2026	3.310.000	2.040.000	5.350.000	56,5	1.870.150	1.152.600	3.022.750	1.439.850	887.400	2.327.250	331.000	1.687.100	2.018.100	4.345.350
2027	3.330.000	2.020.000	5.350.000	56,5	1.881.450	1.141.300	3.022.750	1.448.550	878.700	2.327.250	333.000	1.687.100	2.020.100	4.347.350
2028	5.590.000	2.010.000	7.600.000	52,5	2.934.750	1.055.250	3.990.000	2.655.250	954.750	3.610.000	559.000	1.687.100	2.246.100	5.856.100
2029	5.560.000	2.040.000	7.600.000	52,5	2.919.000	1.071.000	3.990.000	2.641.000	969.000	3.610.000	556.000	1.687.100	2.243.100	5.853.100
2030	7.540.000	1.260.000	8.800.000	50	3.770.000	630.000	4.400.000	3.770.000	630.000	4.400.000	754.000	1.687.100	2.441.100	6.841.100
2031	8.800.000	-	8.800.000	50	4.400.000	-	4.400.000	4.400.000	-	4.400.000	880.000	-	880.000	5.280.000
2032	10.200.000	-	10.200.000	45	4.590.000	-	4.590.000	5.610.000	-	5.610.000	1.020.000	-	1.020.000	6.630.000
2033	10.200.000	-	10.200.000	45	4.590.000	-	4.590.000	5.610.000	-	5.610.000	1.020.000	-	1.020.000	6.630.000
2034	10.200.000	-	10.200.000	42,5	4.335.000	-	4.335.000	5.865.000	-	5.865.000	1.020.000	-	1.020.000	6.885.000
2035	10.200.000	-	10.200.000	42,5	4.335.000	-	4.335.000	5.865.000	-	5.865.000	1.020.000	-	1.020.000	6.885.000
2036	10.200.000	-	10.200.000	40	4.080.000	-	4.080.000	6.120.000	-	6.120.000	1.020.000	-	1.020.000	7.140.000
2037	10.200.000	-	10.200.000	40	4.080.000	-	4.080.000	6.120.000	-	6.120.000	1.020.000	-	1.020.000	7.140.000

4.3.4 Barragens do Empreendimento

O empreendimento minerário da Herculano Mineração em Itabirito atualmente não utiliza barragens para a disposição dos rejeitos do beneficiamento. Entretanto, durante o período anterior à vigência da LO 078/2017, esta era a metodologia utilizada até o acidente ocorrido em 2014 com a assim designada B1. Além de B1, conta também com as barragens B2, B3 e B4, as quais apresentam históricos e funções distintas, como descrito a seguir.

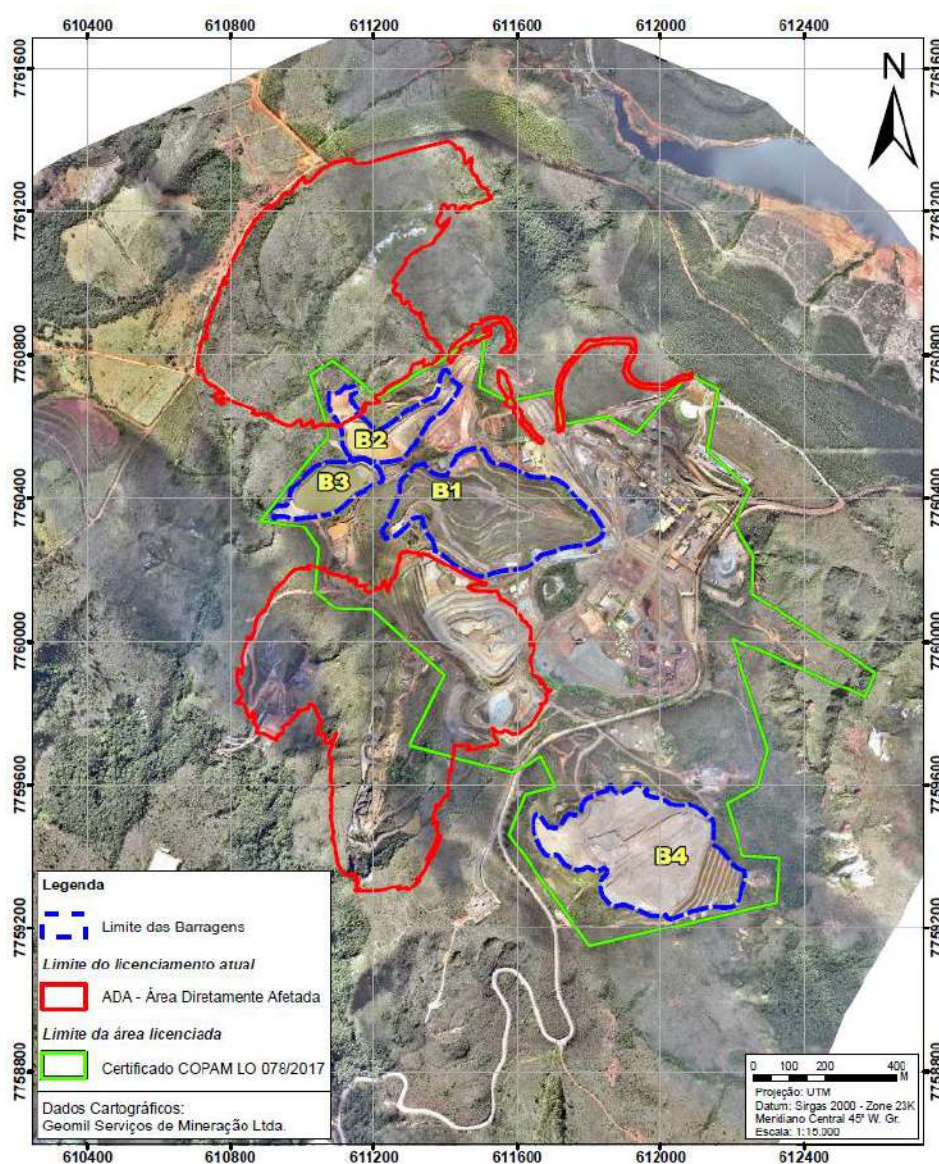


Figura 30 - Localização da ADA do licenciamento atual e a localização das barragens B1, B2, B3 e B4.

4.3.4.1 BARRAGEM B1

A barragem B1 foi inicialmente construída e operada pela CONENP dentro de uma drenagem encaixada, a qual foi utilizada para a disposição de rejeitos oriundos do beneficiamento. A partir de seu início de operação, em 1992 (SIGBM-ANM, 2023), a estrutura passou por sucessivos alteamentos à montante feito com rejeito compactado pelo trânsito de equipamentos.

A Barragem B1 encontra-se oficialmente descaracterizada após uma série de obras de remoção, reconformação e drenagem, como se pode visualizar nas fotografias apresentadas a seguir.

Histórico Barragem B1

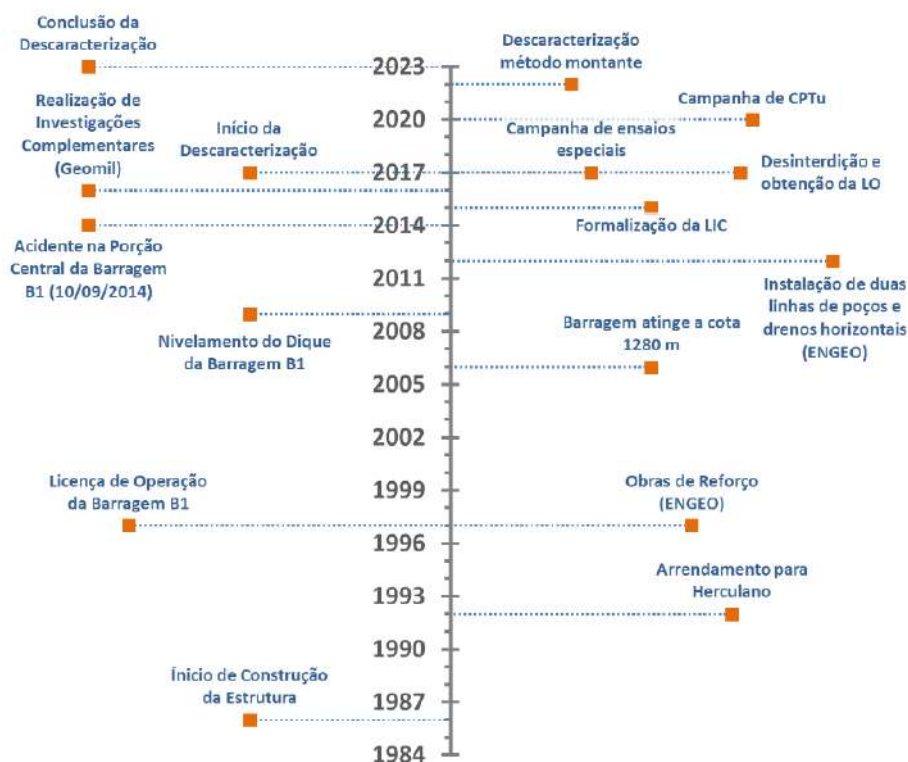


Figura 31 - Histórico da Barragem B1.

Quadro 01 - Síntese dos dados da Descaracterização da Barragem B1.

Característica	Valor
Projeto em Andamento	Descaracterização
Status	Concluído
Início de Construção	+ 1986
Final da utilização	2014
Início da Descaracterização	Dezembro, 2017
Data de Conclusão	Agosto, 2023
Volume Original	3.599.902 m ³
Altura Original	1290 – 1225 = 65 m
Método construtivo	Alteamento para montante
Volume Atual	0 m ³
Altura Atual	0 m
Previsão de novos alteamentos	Não



Figura 32 - Registro fotográfico da remoção dos rejeitos da Barragem B1, em suas fases iniciais.



Figura 33 - Registro fotográfico da remoção dos rejeitos da Barragem B1.



Figura 34 - Vista aérea panorâmica da área do empreendimento da Herculano Mineração no Tanque Seco, em destaque, a área da Barragem B1, já oficialmente descaracterizada, destacando-se sua total reconformação, com a retirada dos rejeitos remanescentes, implantação de sistema de drenagem e revegetação.



Figura 35 - Vista aérea da área da Barragem B1, já oficialmente descaracterizada, destacando-se sua total reconformação.



Figura 36 - Vista aérea panorâmica próxima da área da Barragem B1, já oficialmente descaracterizada, destacando-se sua total reconformação, com a retirada dos rejeitos remanescentes, implantação de sistema de drenagem e revegetação, observando-se ao fundo as barragens B2 e B3.

4.3.4.2 SISTEMA DE BARRAGENS B2 / B3

As Barragens B2 e B3 são compostas por barramentos de terra, com enrocamentos na base, que interceptam um córrego tributário do Ribeirão do Silva e, atualmente, além de atuarem como estrutura de contenção e controle de sedimentos, sua principal função é ser parte do sistema de armazenamento de água utilizada no processo de beneficiamento.

Além de receberem e armazenarem as águas naturais deste curso d'água, que aportam principalmente em B2 (montante), recebem também e armazenam as águas bombeadas do Ribeirão do Silva.

A partir da Barragem B3 (jusante) as águas são bombeadas até a parte mais alta da mina (Cristo), onde são armazenadas em reservatório, que alimenta a planta de beneficiamento.

Todo o sistema é regularizado por meio de outorgas junto ao IGAM/SEMAD.



Figura 37 - Vista da Barragem B2 e B3.



Figura 38 – Localização da B1 que se encontra oficialmente descaracterizada, e a localização da Barragem B2 e B3.

4.3.4.3 BARRAGEM B4

A Barragem B4 foi comissionada em junho de 2009, a partir da obtenção da Licença de Operação nº 159, vinculada ao processo COPAM nº 00020/1988/009/2009. A partir dessa data, todos os rejeitos passaram a ser direcionados para a Barragem B4, com utilização da Barragem B1 como estrutura complementar e acessória no sistema de disposição.



Figura 39 - Vista da área da Barragem B4.

Em 2011, em função do assoreamento da B4, foram realizados trabalhos de limpeza da estrutura, incluindo a remoção de finos acumulados. Esses materiais foram empilhados sobre terreno natural, sobrepondo-se a pilhas de rejeito já existentes. Após essa intervenção, a barragem foi alteada até atingir sua elevação final de projeto, 1.240,00 m, voltando a ser utilizada para a deposição de finos.

Com o acidente de B1 em 2014, todo o empreendimento da Herculano foi paralisado, inclusive a Barragem B4. O empreendimento voltou à operação em 2017, quando a Herculano Mineração Ltda requereu a Licença de Operação (LO) para retorno das atividades do empreendimento, sendo, portanto, concedido ao empreendimento o Certificado LO nº 078/2017.

A Barragem B4 está em fase de descaracterização, um processo que é rigorosamente executado conforme a linha do tempo e o cronograma detalhado apresentado.

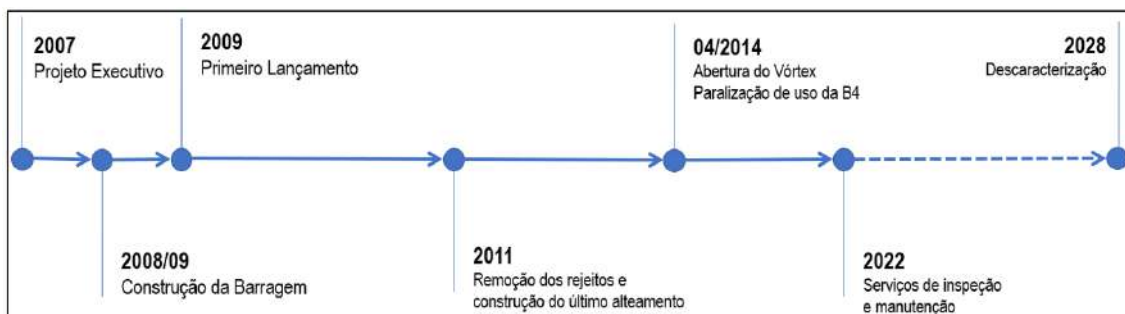


Figura 40 - Linha do tempo da descaracterização de B4.

Tabela 5 - Cronograma das obras de descaracterização da Barragem B4.

Ação	2025	2026	2027	2028
Continuação da remoção dos rejeitos				
Recuperação da drenagem periférica				
Reconformação da área do vertedouro em flauta				
Remoção integral dos rejeitos				
Recomposição topográfica				
Revegetação e controle de erosão				
Descaracterização definitiva				

Em 12/08/2025 foi realizada a inspeção na Barragem B4 para a auditoria técnica de segurança na Barragem B4 pela empresa WN Engenharia Consultoria e Projetos, quando foi atestada a sua estabilidade, conforme Relatório de Inspeção Semestral elaborado em 19/09/2025. A correspondente Declaração de Condição de Estabilidade - FEAM (Ano Base: 2ª semestre de 2025) foi emitida em 23/09/2025.



Figura 41 – Vista da Barragem B4, a partir da sua crista, do sentido montante para jusante. Observando ao fundo o reservatório de água desativado.



Figura 42 – Vista do taludes de jusante da Barragem B4, observando-se a estrutura filtrante em sua base (blocos de enrocamento).



Figura 43 – Vista da bacia de acumulação de rejeitos da Barragem B4, em processo de descaracterização, observando-se os cortes realizados por escavação mecânica para remoção dos materiais e encaminhamento para a planta de beneficiamento.

4.3.4.3.1. RETOMADA DOS FINOS DA BARRAGEM B4

No planejamento atual da empresa, paralelamente à lavra das duas cavas, Retiro do Sapecado e Cava A, será continuada a retomada dos finos da Barragem B4, nos moldes do que ocorreu com os materiais da B1.



Figura 44 – Retomada dos rejeitos da Barragem B4.

A retomada da B1 teve êxito operacional, tendo em vista as boas características dos finos ali depositados no passado (material mais granulado e de melhor teor em ferro). Ao migrar a retomada para a B4, observou-se uma redução no índice de recuperação na planta de tratamento. Tal desempenho é atribuído às características dos rejeitos mais recentes, os quais apresentam menor granulometria e teor médio de ferro inferior.

Em razão destes baixos teores, houve uma desaceleração no ritmo de retomada dos finos da B4, quase uma desativação. A estratégia da empresa é finalizar as modificações propostas para a planta de tratamento, com a priorização na geração de produtos finos ricos (pellet feed). Com essas modificações, projeta-se uma otimização significativa da recuperação dos finos da B4.

A HERCULANO não só tem o interesse na recuperação destes novos finos, mas também em seu compromisso com a execução dos projetos de descomissionamento de barragens, os quais já foram licenciados (LO 078/2017) de modo a proceder a total remoção dos finos da B4.

O programa básico de recuperação total destes finos é o seguinte:

- Reserva remanescente aproximada atual: 845.824 m^3 ou $845.824 \times 2,8 \text{ t/m}^3 = 2.368.307 \text{ t}$
- Escala média de produção desta jazida: 576.000 t/ano , 48.000 t/mês , 2.400 t/dia ou 300 t/h (Neste caso, a retomada será operada somente de segunda a sexta feira, num turno de 8 h/dia).
- Vida útil dos finos da B4: $2.368.307 \text{ t} / 576.000 \text{ t/ano} \approx 4 \text{ anos}$.

Esta previsão de vida útil complementar da B4 é ideal para o início efetivo do projeto de recuperação da área da B4, com o objetivo final de restaurar o sítio e devolvê-lo à Unidade de Conservação do Arêdes.

Os finos alimentarão também a usina central de beneficiamento. Como esta lavra será operada em tempo diferente das outras lavras e da usina, os finos B4 serão estocados na praça de alimentação da UTM, alimentando

durante as 24 h/dia a planta, junto com o minério proveniente das outras lavras (Sapecado e Cava A).

Isto significa que o quantitativo de lavra da B4 não deverá ser acrescido em termos matemáticos ao quantitativo total de ROM do projeto Pellet Feed. A razão é que o quantitativo recuperado da B4 será abatido nos quantitativos das lavras do Sapecado e/ou da Cava A, ou seja, sendo mantido o quantitativo total de alimentação do projeto, de 10.200.000 t/ano.

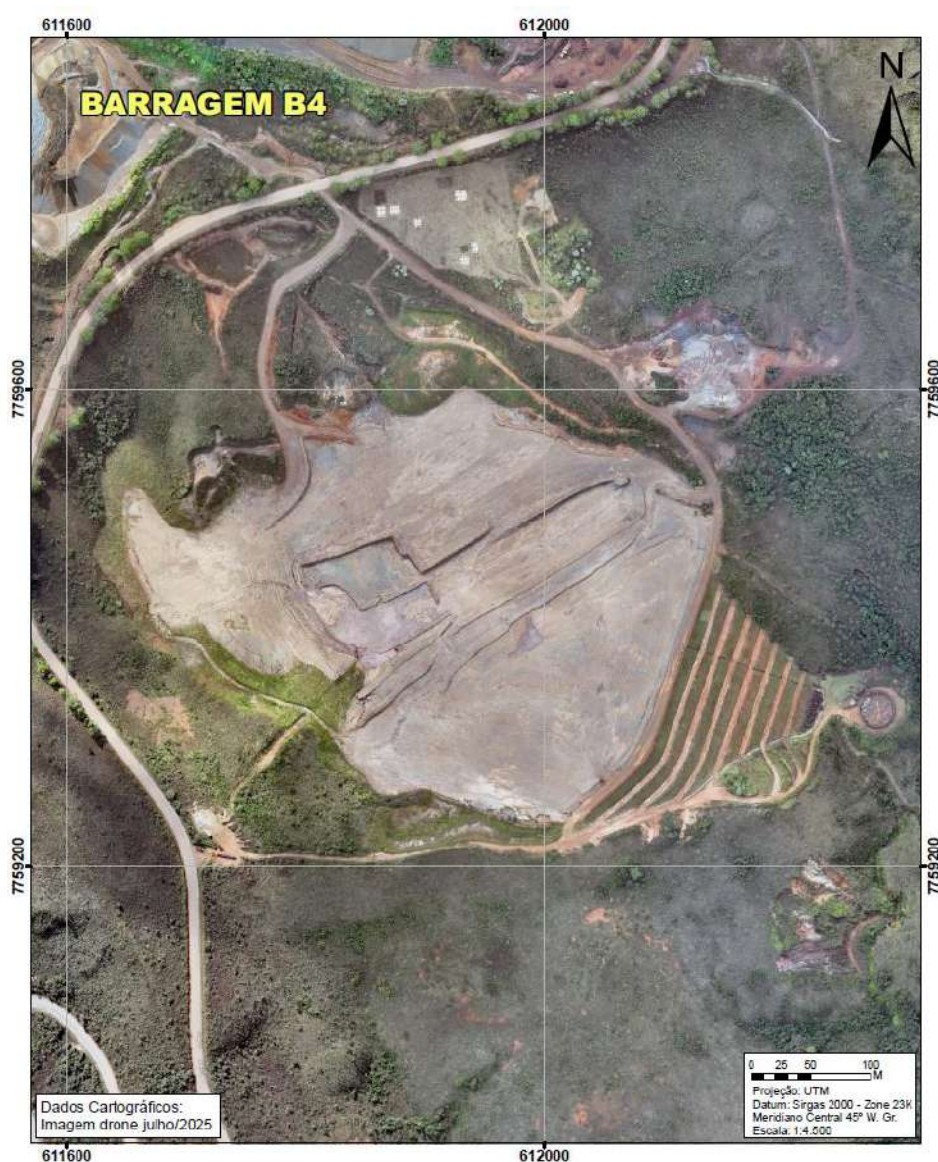


Figura 45 - Vista aérea Barragem B4 e evidenciando os cortes mecânicos em sua bacia de acumulação de rejeitos, operações que fazem parte de seu processo de descaracterização.

4.3.5 Beneficiamento

4.3.5.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Para melhor compreensão, as operações de beneficiamento serão descritas individualmente por etapa, acompanhadas de seus respectivos fluxogramas. Ao final, será apresentado o fluxograma completo integrando todas as fases do processo.

As etapas principais do processo são:

- Britagem;
- Peneiramento: atualmente realizado à úmido, gerando um produto com granulometria abaixo de 3,15 mm, direcionado às etapas de concentração em WDRE (tambores magnéticos de média intensidade), espirais e Separação Magnética de Alta Intensidade. O peneiramento a seco, que será integrado à moagem, gera um produto abaixo de 16 mm;
- Britagem/Peneiramento a Seco (minério alto teor);
- Moagem: etapa a ser implantada conforme cronograma apresentado adiante;
- Concentração Magnética de média intensidade;
- Concentração em espirais;
- Concentração Magnética de Alta Intensidade;
- Flotação: também prevista para implantação conforme cronograma;
- Espessamento;
- Filtragem.



Figura 46 - Vista panorâmica da área da ITM.



Figura 47 - Vista panorâmica da área da ITM.

4.3.5.2 ETAPAS DO PROCESSO

4.3.5.2.1. Britagem Primária e Pátio de Alimentação

O minério lavrado é transportado por caminhões basculantes, sendo descarregado diretamente no silo de alimentação da planta ou em pilhas de estocagem de ROM. A partir dessas pilhas, o minério é retomado por pás carregadeiras, promovendo a blendagem necessária para garantir a homogeneidade na alimentação da usina, evitando variações nos teores e nas características físicas do material. Essa prática contribui para manter a estabilidade operacional e a eficiência do beneficiamento.

As carregadeiras alimentam diretamente a moega de alimentação, de onde o material é conduzido a um alimentador vibratório com grelha de abertura de 90 mm. A taxa de alimentação é controlada remotamente pela sala de controle.

- O material retido na grelha (>90 mm) é direcionado para a britagem primária (BT-301), realizada em britador de mandíbulas;
- O material passante (<90 mm) e o produto da britagem primária seguem pelas correias transportadores (TC-301) e (TC-302) dispostas em sequência, que realizam a formação de pilhas para a próxima etapa do processo.

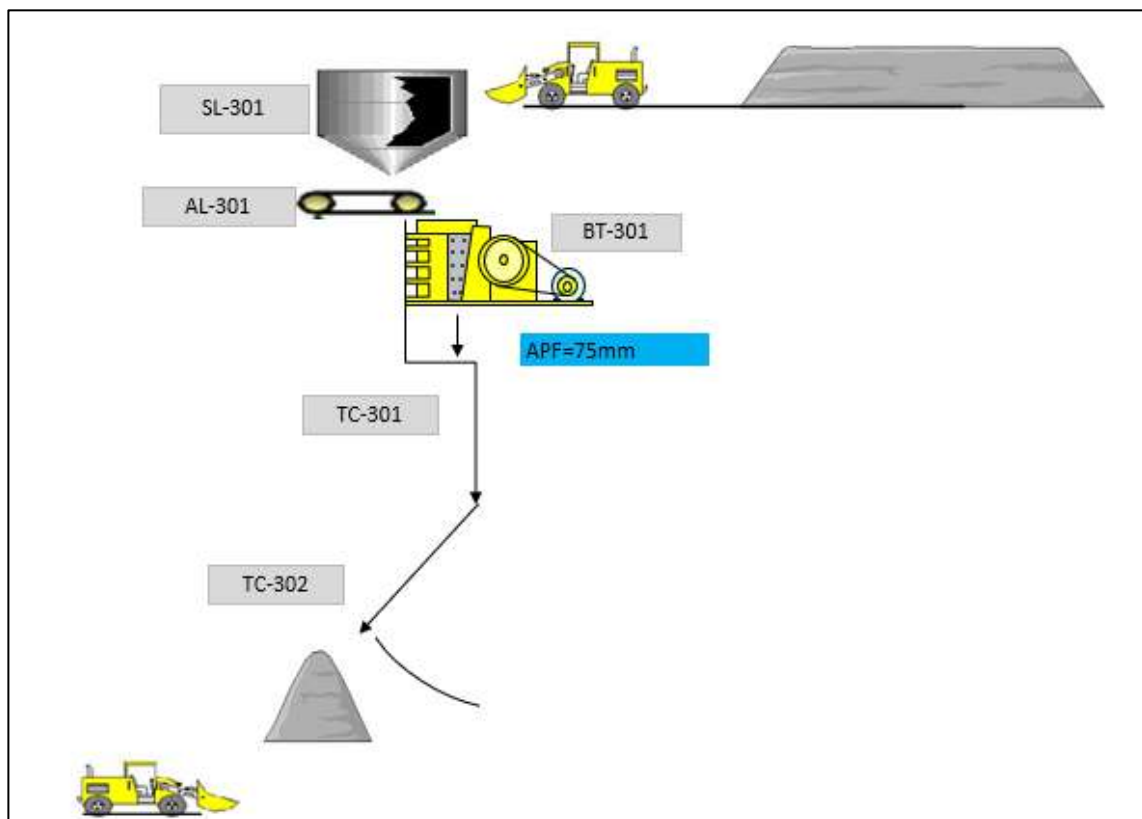


Figura 48 – Pátio de Alimentação e Britagem Primária.

4.3.5.2.2. Peneiramento e Britagem Secundária

Das pilhas formadas pela (TC-302) o minério é retomado por pá carregadeira e alimenta diretamente uma moega de alimentação (alimentador de correia), que descarrega na Peneira Classificatória 201 (PC-201), equipada com 3 decks. As aberturas das telas são: 32 mm no 1º deck, 19 mm no 2º e 9,5 mm no 3º.

O material retido no 1º deck (+32 mm), é descarregado na correia transportadora (TC-202), que alimenta o britador cônico (BT-201). O produto deste britador, que opera com APF de 19 mm, é descarregado na TC-206, retornando à PC-201, operando assim em circuito fechado.

O material retido nos decks 2 (+19 mm) e 3 (+9,50 mm) da PC-201 segue por gravidade até o primeiro deck da PC-202, enquanto o passante na PC-201 (-9,5 mm) é direcionado ao segundo deck da peneira (PC-202).

A peneira (PC-202) possui 3 decks, com telas de 19 mm, 9,5 mm e 3,55 mm. O material retido no primeiro e no segundo deck (+ 9,5 mm) segue

para o primeiro deck da PC-203, enquanto o retido no terceiro deck da PC-202 (+3,55 mm) segue para o segundo deck da PC-203. Já o passante (-3,55 mm), alimenta o terceiro deck da PC-203.

A PC-302 é uma peneira intermediária, utilizada para aumentar a eficiência da lavagem do minério, principalmente na remoção de finos das frações mais grossas.

A peneira PC-203, peneira horizontal de 3 decks, possui telas 19 mm, 9,5 mm e 3,55 mm. O material retido no primeiro deck (+19 mm), é descarregado na correia TC-207, que alimenta o silo de produto granulado. O retido no segundo deck (+9,5 mm), segue para correia TC-208 até o silo de Hematitinha, enquanto o retido no terceiro deck (+3,55mm) segue pela correia TC-209 até o silo de Sinter Natural. O passante na PC-203 é direcionado ao tanque de bombeamento da BP-201.

Os produtos Granulado, Hematitinha e Sinter Natural podem seguir por dois circuitos distintos, ajustáveis, conforme a característica da alimentação e as demandas do mercado. O primeiro circuito, citado anteriormente, destina-se aos silos, cujos conteúdos são transportados para os estoques finais por caminhões basculantes.

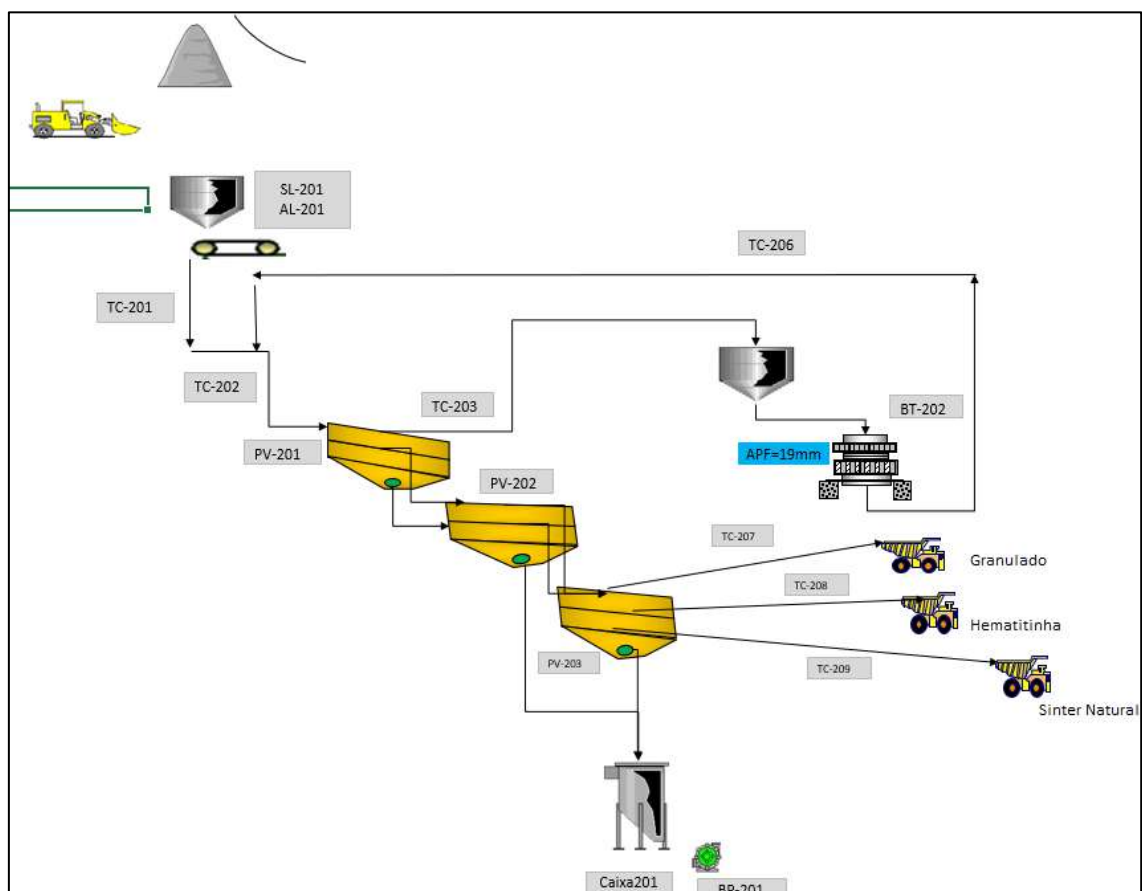


Figura 49 - Peneiramento e Britagem secundária.

4.3.5.2.3. Peneiramento e Britagem Terciária e Quaternária

No outro circuito, os produtos Granulado e Hematitinha são descarregados nos transportadores de correia TC-210 e TC-212, que alimentam o britador cônico (BT-104), fazendo uma britagem terciária. Este britador opera com APF de 18 mm. Seu produto é descarregado na TC-31, que, por sua vez, alimenta a peneira PC-11, equipada com 2 decks: o 1º deck com 9,5 mm e o segundo com 3,55 mm.

O material retido no primeiro deck (+9,5 mm) retorna à alimentação do britador terciário por transportador de correia, configurando um circuito fechado.

O material retido no segundo deck (+3,55 mm) da PC-11 segue por transportador de correia para a britagem quaternária, realizada por um britador de impacto do tipo Barmac. O produto dessa etapa é descarregado na TC-29, que também retorna à PC-11, formando um circuito fechado.

O passante da PC-11 é encaminhado ao tanque de bombeamento da BP-101 que alimenta o circuito de pré-concentração.

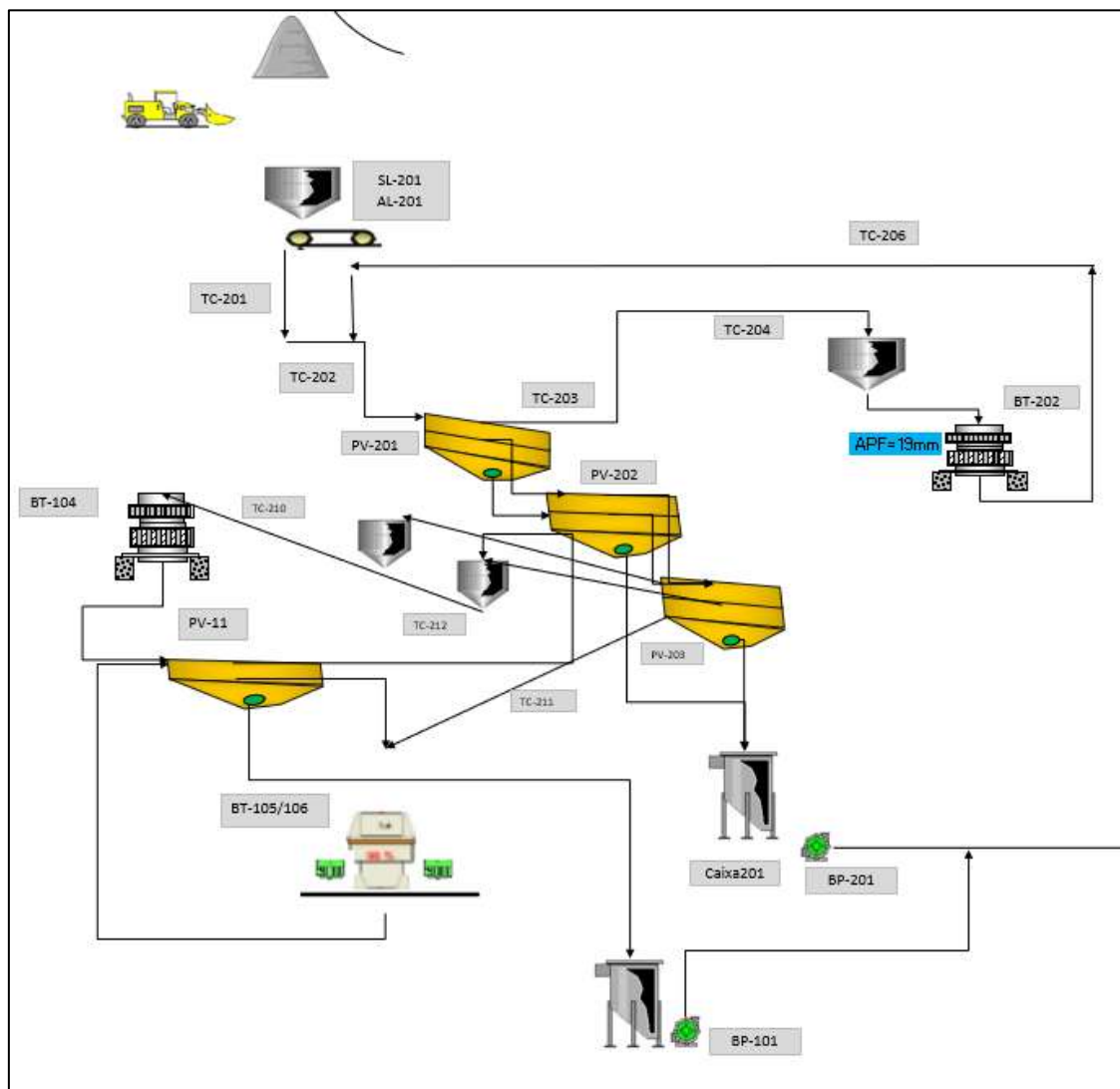


Figura 50 - Peneiramento e Britagens Terciária e Quaternária.

4.3.5.2.4. Circuito Alternativo de Peneiramento e Britagem Secundária

De forma assíncrona ao peneiramento descrito acima encontra-se um circuito de britagem secundária e peneiramento, utilizados em situações de contingência, como falhas operacionais nos equipamentos do circuito principal, evitando a paralisação da planta.

Neste circuito, o minério é retomado por pás carregadeiras, que alimentam diretamente uma moega de alimentação. O material armazenado no

silo é retomado pelo alimentador vibratório com grelha de 100 mm, cuja taxa de alimentação é controlada pela sala de controle.

O material retido na grelha (>100 mm) segue para britagem primária (BT-101), realizada por um britador de mandíbulas.

O material passante na grelha e o produto do britador são descarregados na correia transportadora (TC-01), que alimenta a peneira classificatória (PC-01), com 3 decks de peneiramento: 1º deck com 32 mm, 2º deck com 19 mm e a 3º com 9,5 mm.

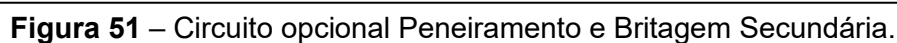
O material retido no 1º deck, (+32 mm), é encaminhado à TC-02, que alimenta o britador cônico (BT-102). Este britador opera com APF de 19 mm, e seu produto é descarregado na TC-03, retornando à PC-01, configurando um circuito fechado.

O material retido nos decks 2 (+19 mm) e 3 (+9,50 mm) da PC-201 segue por gravidade até o primeiro deck da PC-02, enquanto o passante da PC-01 (-9,5 mm) segue para o segundo deck da peneira PC-02.

A peneira PC-02 possui 3 decks com aberturas de 19 mm, 9,5 mm e 3,55 mm. O material retido no primeiro e no segundo deck (+ 9,5 mm) é encaminhado para o primeiro deck da PC-03. O retido no terceiro deck (+3,55 mm) segue para o segundo deck da PC-03, enquanto o passante em -3,55 mm alimenta o terceiro deck da PC-03.

A peneira PC-03 do tipo horizontal e com 3 decks, utiliza telas com aberturas de 19 mm, 9,5 mm e 3,55 mm. O material retido no primeiro deck (+19 mm) é descarregado na correia TC-04 que o conduz ao silo de produto Granulado. Já o retido no segundo deck (+9,5 mm) segue para correia TC-05 até o silo de Hematitinha. O retido no terceiro deck (+3,55 mm) é transportado pelas correias TC-27, TC-06, TC-07 e TC-10 até o silo de Sinter Natural. O passante da PC-03 é direcionado ao tanque de bombeamento da BP-101.

Os produtos Granulado, Hematitinha e Sinter Natural podem seguir por dois circuitos distintos, ajustáveis conforme as características da alimentação e as demandas do mercado. O primeiro já descrito, direciona os materiais para os silos, de onde serão transportados para os estoques por caminhões basculantes.



O circuito de britagem e peneiramento à seco conta com um alimentador vibratório (AL501) responsável pelo controle de alimentação, um britador de mandíbulas (BT-501) responsável por realizar a fragmentação do material, e uma peneira classificadora de três decks (PV501) que fará a classificação dos produtos, sendo granulado o produto acima de 19 mm, hematitinha, acima de 12 mm, e sinter feed, material abaixo de 12 mm.

Essa etapa de peneiramento à seco é utilizada para minérios de alto teor, onde apenas a classificação já é suficiente para atendimento da especificação de mercado.

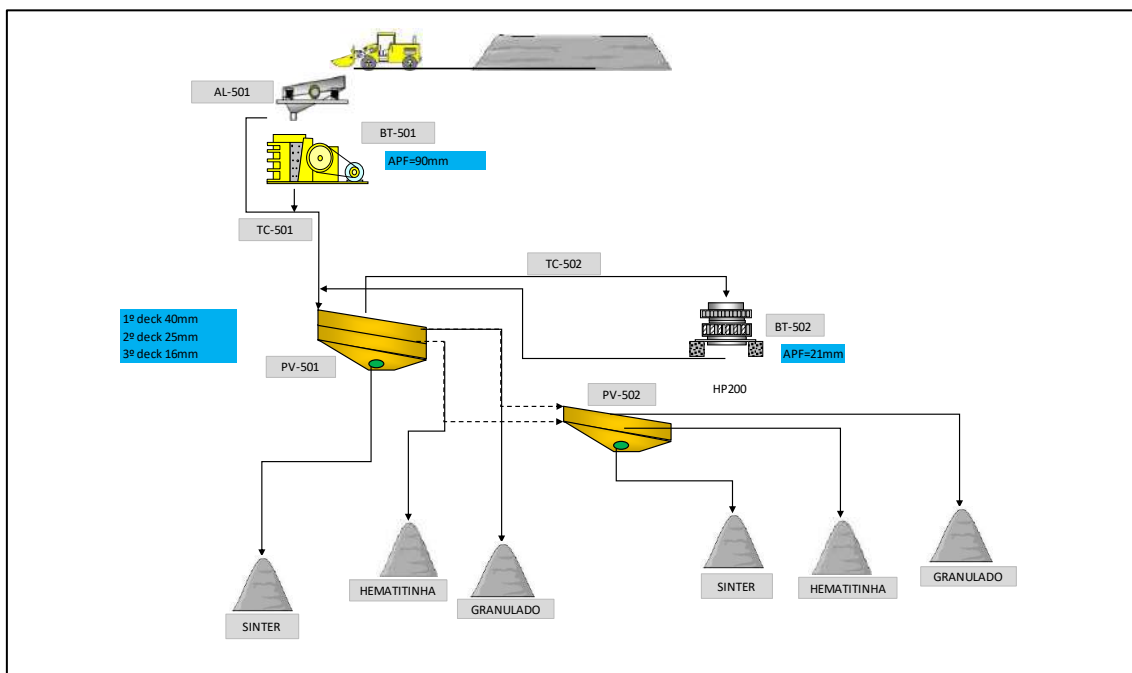


Figura 52 – Britagem/ Peneiramento a Seco.

4.3.5.2.6. Moagem

O circuito de moagem contará com uma etapa de peneiramento à seco, responsável pela formação de uma pilha pulmão que alimentará o moinho.

Essa etapa será composta por três peneiras Haver & Boecker Niagara, modelo 10'x21.

O primeiro deck, com telas de 32 mm, direcionará o material retido à britagem secundária. O material passante no primeiro deck e retido no segundo deck, com telas de 16 mm, será encaminhado à britagem terciária. Todo o material britado, juntamente com o passante dos dois decks, formará a pilha pulmão de alimentação do moinho.

O moinho de bolas será responsável pela cominuição do material até que atinja 100% abaixo de 0,600 mm, garantindo maior liberação e melhor desempenho na qualidade desejada.

Após a moagem, o material seguirá para uma bateria de ciclones de 26", onde será classificado:

- O underflow (fração mais grossa) retornará ao moinho para adequação da granulometria.

- O overflow (fração mais fina e adequada) seguirá para as etapas de concentração.

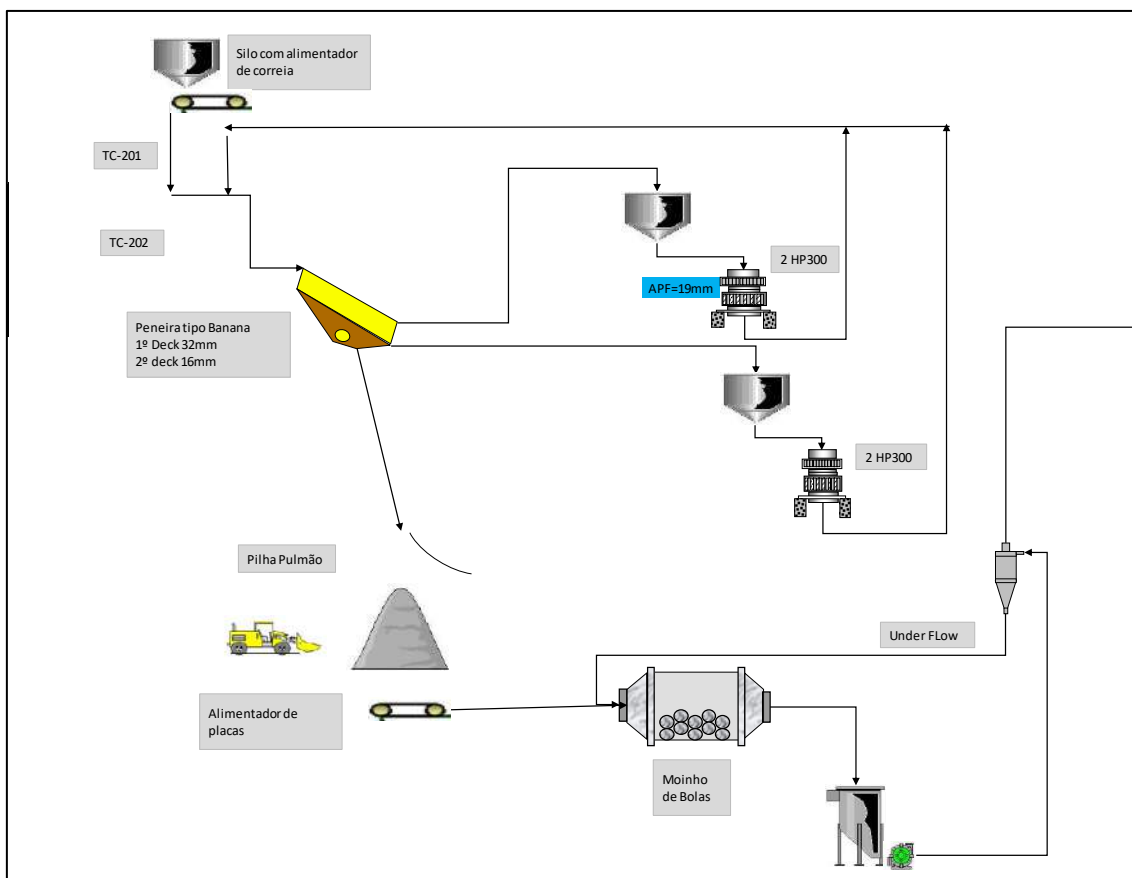


Figura 53 – Circuito Peneiramento a Seco, Moagem e Classificação.

4.3.5.2.7. Concentração Magnética – Média Intensidade

O material passante na etapa de peneiramento ou o overflow da classificação da moagem, é direcionado para a estação de bombeamento (BP201 e/ou BP101), que realiza o bombeamento até o circuito de concentração magnética de média intensidade, composto por 12 separadores magnéticos do tipo WDRE. O concentrado obtido nesta etapa é encaminhado para as peneiras desaguadoras (PD-12 e PD-13), enquanto o rejeito segue para as peneiras PD-08 e PD-09.

O material retido nas peneiras PD-12 e PD-13, com granulometria acima de 0,3 mm, é descarregado na TC-26, formando uma pilha de Sinter Feed. Já o passante dessas peneiras é direcionado para a caixa de bombeamento da

BP-103, que envia o material para uma bateria de hidrociclones de adensamento. O underflow dessa classificação retorna as peneiras, enquanto o overflow segue novamente para a caixa de bombeamento da BP-103.

O material retido nas peneiras PD-08 e PD-09, com granulometria acima de 2 mm, é descarregado na correia TC-22, sendo destinado à etapa de empilhamento de Sinter. Já o passante, com partículas menores que 2 mm, segue para a próxima etapa do processo.

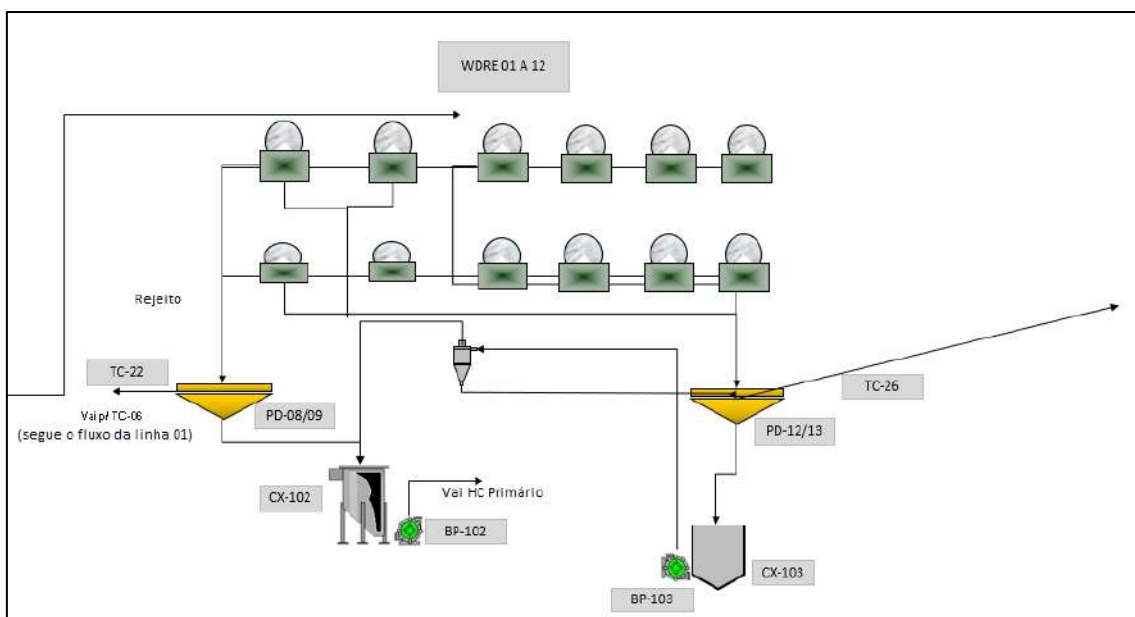


Figura 54 – Separação Magnética Média Intensidade.

4.3.5.2.8. Concentração em Espirais

O rejeito do separador magnético WDRE, com granulometria inferior a 2 mm, é bombeado pela BP-102 até o hidrociclone primário (HC-01) que fará a classificação em 0,150 mm. O underflow, com material superior a 0,150 mm, é descarregado na estação de bombeamento (BP-02), a partir da qual alimenta a etapa Rougher de concentração em espirais.

O concentrado da etapa Rougher segue para as espirais Cleaner, onde o rejeito retorna para o tanque de bombeamento da BP-02 e o concentrado é descarregado nas peneiras desaguadoras PD-05 e PD-06.

O retido nestas peneiras (acima de 0,3 mm), segue para a etapa de empilhamento do Sinter Feed, enquanto o passante é bombeado pela BP-07 até

o hidrociclone de adensamento (HC-07). O underflow deste ciclone retorna para a peneira (PD-05), operando em circuito fechado. O overflow é direcionado novamente para a caixa de polpa da BP-02, também em circuito fechado.

O rejeito da etapa Rougher é descarregado no espessador de coluna intermediário, com o objetivo de recuperar a água e elevar o percentual de sólidos para as etapas seguintes. A polpa espessada é então bombeada pela BP-05 até as peneiras desaguadoras PD-07 e PD-10.

Paralelamente, os fluxos de overflow do hidrociclone (HC-01), são combinados com a polpa espessada do rejeito das espirais Rougher e encaminhados às peneiras classificadoras, PD-06, PD-07 e PD-10. O retido nesse peneiramento (+0,8 mm) é descarregado na correia TC-13, alimentando o silo de Sinter II (alta sílica). Já o passante (-0,8 mm) é direcionado na caixa de polpa da BP-11, que alimenta o circuito de concentração magnética de alto campo.

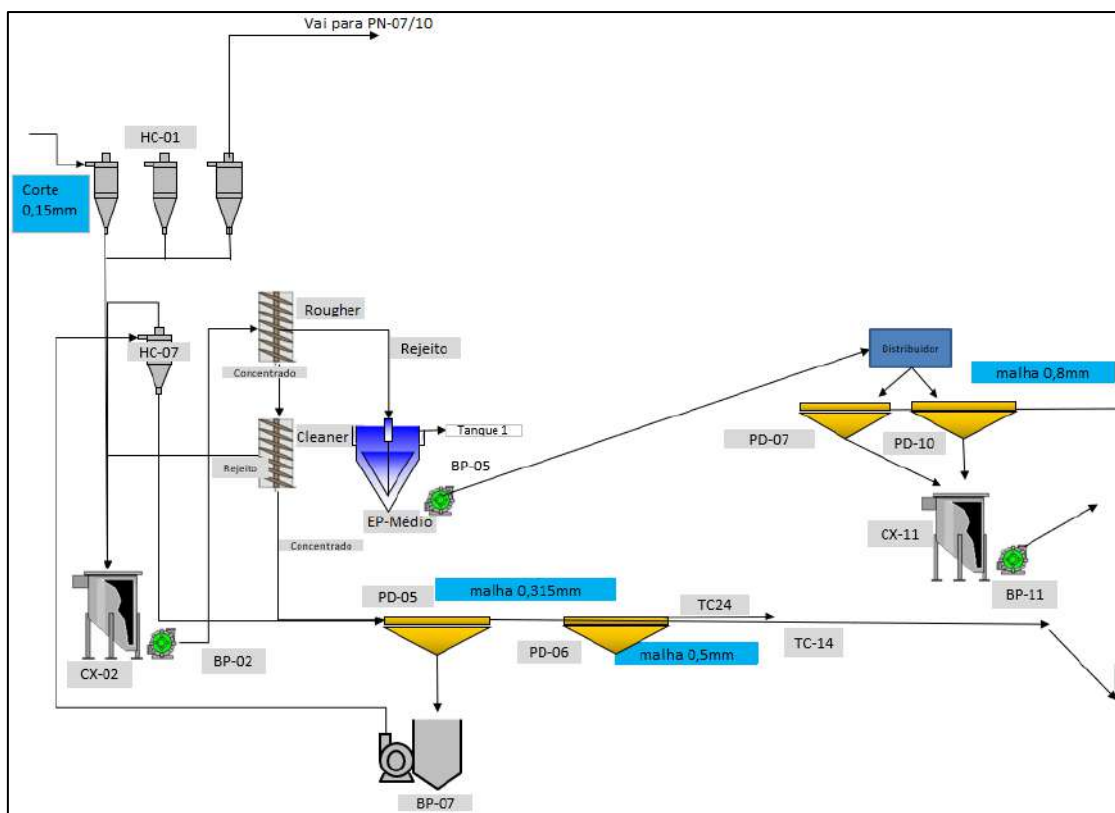


Figura 55 – Concentração por Espirais Concentradoras.

4.3.5.2.9. Concentração Magnética de Alta Intensidade

O circuito de concentração magnética de alto campo é composto por três etapas sequenciais: Rougher, Cleaner e Scavenger.

Atualmente, oito concentradores do tipo WHC realizam essa concentração. Serão adicionadas três novas unidades ao sistema: dois concentradores WHC e um GHX1400.

O material passante das peneiras PD-06, PD-07 e PD-10 é bombeado para a etapa Rougher composta por um WHC150, um WHC200 e um WHC500 (WHCs01, 02 e 08) e, futuramente, serão acrescentados mais dois WHC's200, que corresponde à primeira fase da concentração. O concentrado dessa etapa é encaminhado para a etapa Cleaner, enquanto o rejeito é direcionado para a etapa Scavenger.

A etapa Scavenger tem como objetivo recuperar o ferro eventualmente perdido na etapa Rougher e é composta por três WHC's150 (WHC05, 06 e 07), futuramente duas dessas máquinas serão substituídas pelo GHX1400. O concentrado da Scavenger é então bombeado para a etapa Cleaner, enquanto o rejeito segue para o sistema de ciclonagem de rejeitos.

A etapa Cleaner é composta por um WHC200 e um WHC150 (WHC's03 e 04), futuramente os WHC's05 e 06 serão acrescentados à essa etapa. O concentrado gerado é bombeado à peneira de alta frequência e o rejeito escoar por gravidade até a caixa (BP-11), de onde é recirculado para o circuito.

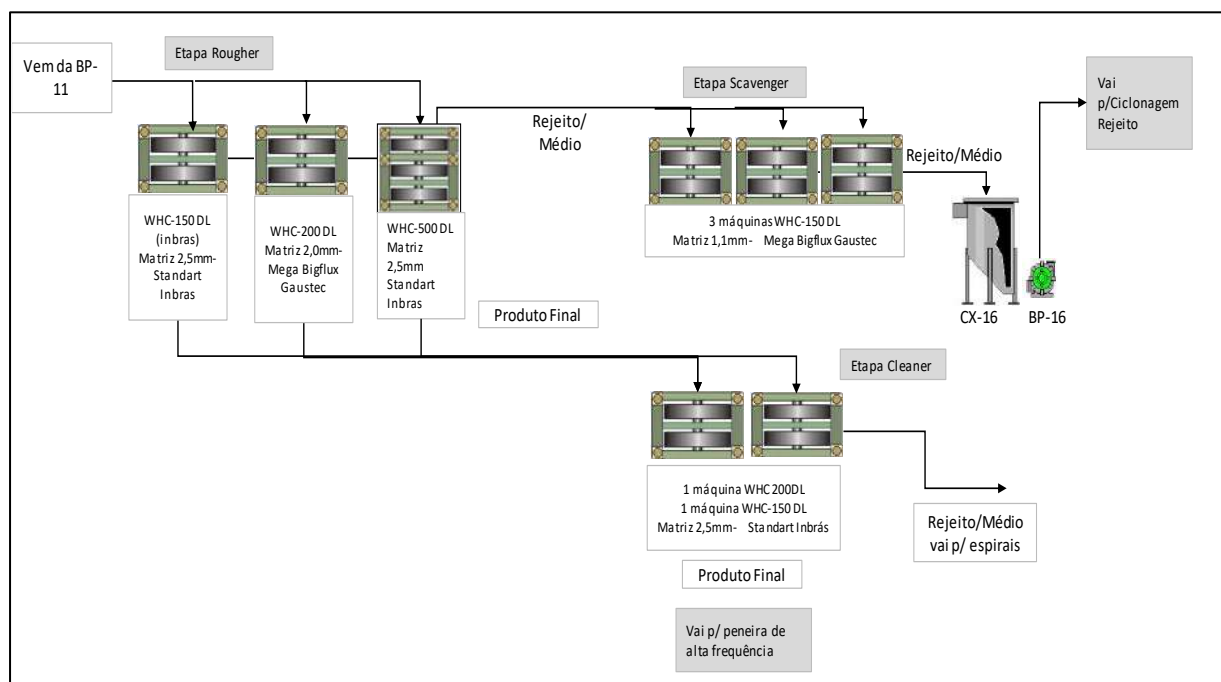


Figura 56 – Concentração Magnética.

4.3.5.2.10. Peneiramento Alta Frequência e Flotação

O produto proveniente da separação magnética é bombeado para um sistema de peneiramento de alta frequência, responsável pela classificação do material abaixo de 0,150 mm. Essa etapa tem como objetivo adequar o material para a concentração via flotação.

O material retido na peneira (oversize) é direcionado para uma peneira desaguadora e, em seguida, incorporado ao concentrado proveniente das espirais. Já o material passante (undersize) segue para um tanque condicionador, onde são adicionados amido, amina e soda cáustica, preparando a polpa para alimentação do circuito de flotação. Essa etapa final visa a obtenção de um produto com qualidade Premium, caracterizado por alto teor de ferro e baixo teor de contaminantes.

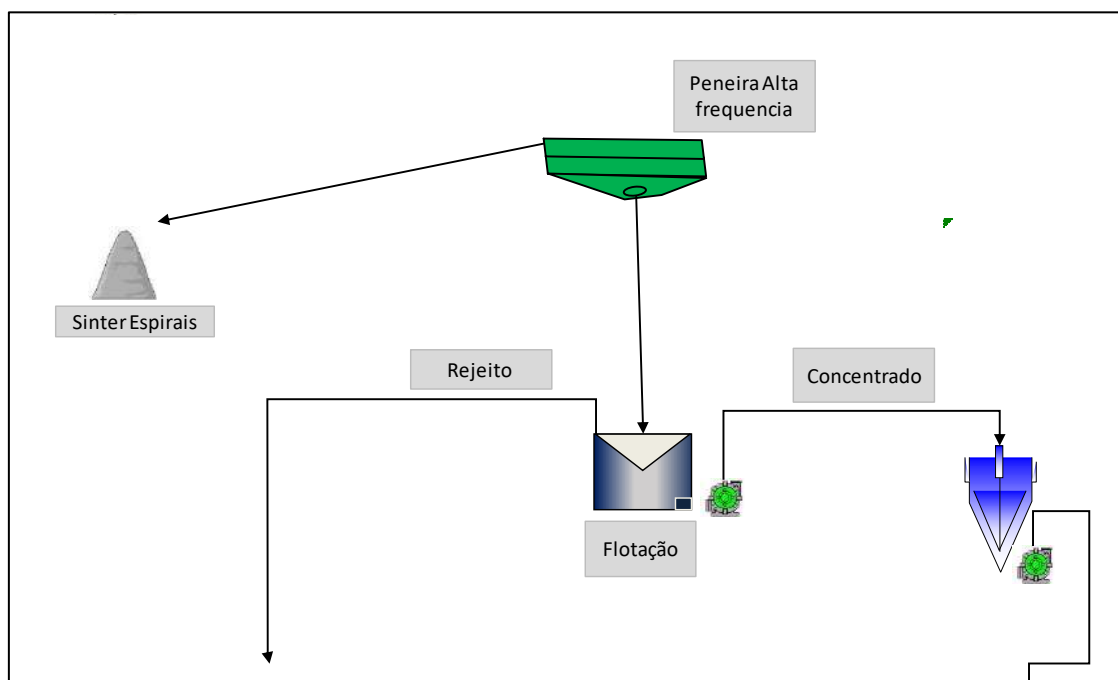


Figura 57 – Peneiramento de Alta Frequência e Flotação.

4.3.5.2.11. Espessamento e Filtragem de Concentrado

O circuito tem início com o bombeamento da polpa pela bomba (BP-17) até o espessador de coluna (EP-02). A polpa espessada é então enviada para os filtros cerâmicos (FT-05, FT-06 e FT-07). O concentrado filtrado é descarregado nas correias transportadoras (TC-19, TC-20 e TC-15), seguindo posteriormente para a etapa de empilhamento do produto final.

A água recuperada durante a filtragem é direcionada para caixas de distribuição, de onde é bombeada de volta para o processo, promovendo o reaproveitamento hídrico.

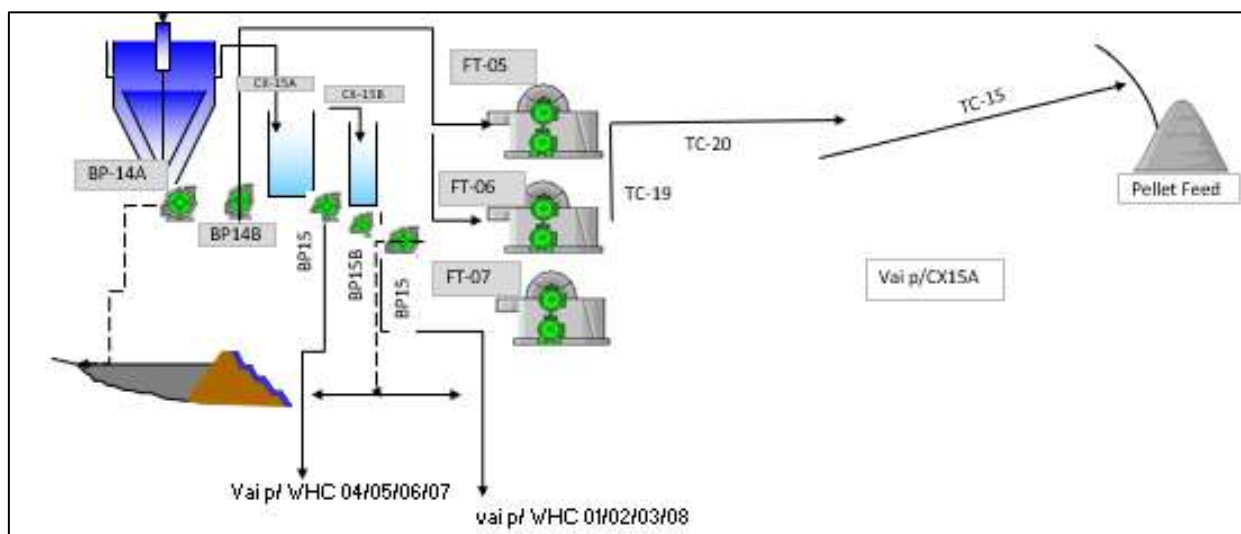


Figura 58 – Espessamento e Filtragem de Concentrado.

4.3.5.2.12. Deslamagem, Espessamento e Filtragem de Rejeito

O espessamento e a filtragem dos rejeitos são realizados por meio de operações combinadas de deslamagem, espessamento e filtragem. Os rejeitos provenientes da etapa Scavenger da concentração de finos são direcionados para uma bateria de 8 hidrociclones deslamadores.

Nos hidrociclones, o underflow (+0,45 mm) é enviado para a caixa de polpa da bomba (BP-21), que alimenta os quatro filtros de disco cerâmicos (FT-01, FT-02, FT-03 e FT-04) e futuramente alimentará também dois filtros de disco à vácuo. Já o overflow é direcionado ao espessador (EP-01).

O produto dos filtros de disco é descarregado na correia (TC-21), que alimenta o silo de rejeitos ou forma uma pilha intermediária de rejeito, a qual é retomada por carregadeiras e transportada por caminhões até o ponto de disposição final. A água recuperada nos filtros de disco e nos filtros prensa é encaminhada para caixas de distribuição e retornada ao processo por bombeamento.

No espessador (EP-01), do tipo convencional, ocorre a recuperação adicional de água para reuso no processo. O underflow espessado é bombeado pela BP-04 para o tanque pulmão (TQ-400), que alimenta os filtros prensa (FP-01 e FP-02) e futuramente alimentará também o terceiro filtro prensa. O produto filtrado é descarregado nas correias TC-32 e TC-33, formando duas pilhas de

rejeito, também retomadas por carregadeiras e transportadas por caminhões até a disposição final.

Em situações excepcionais, a descarga da BP-04 pode ser desviada para baías de contenção, como medida de contingência em casos de falhas nos filtros ou no espessador. Essa operação é utilizada apenas em caráter emergencial, com o objetivo de evitar a paralisação da planta.

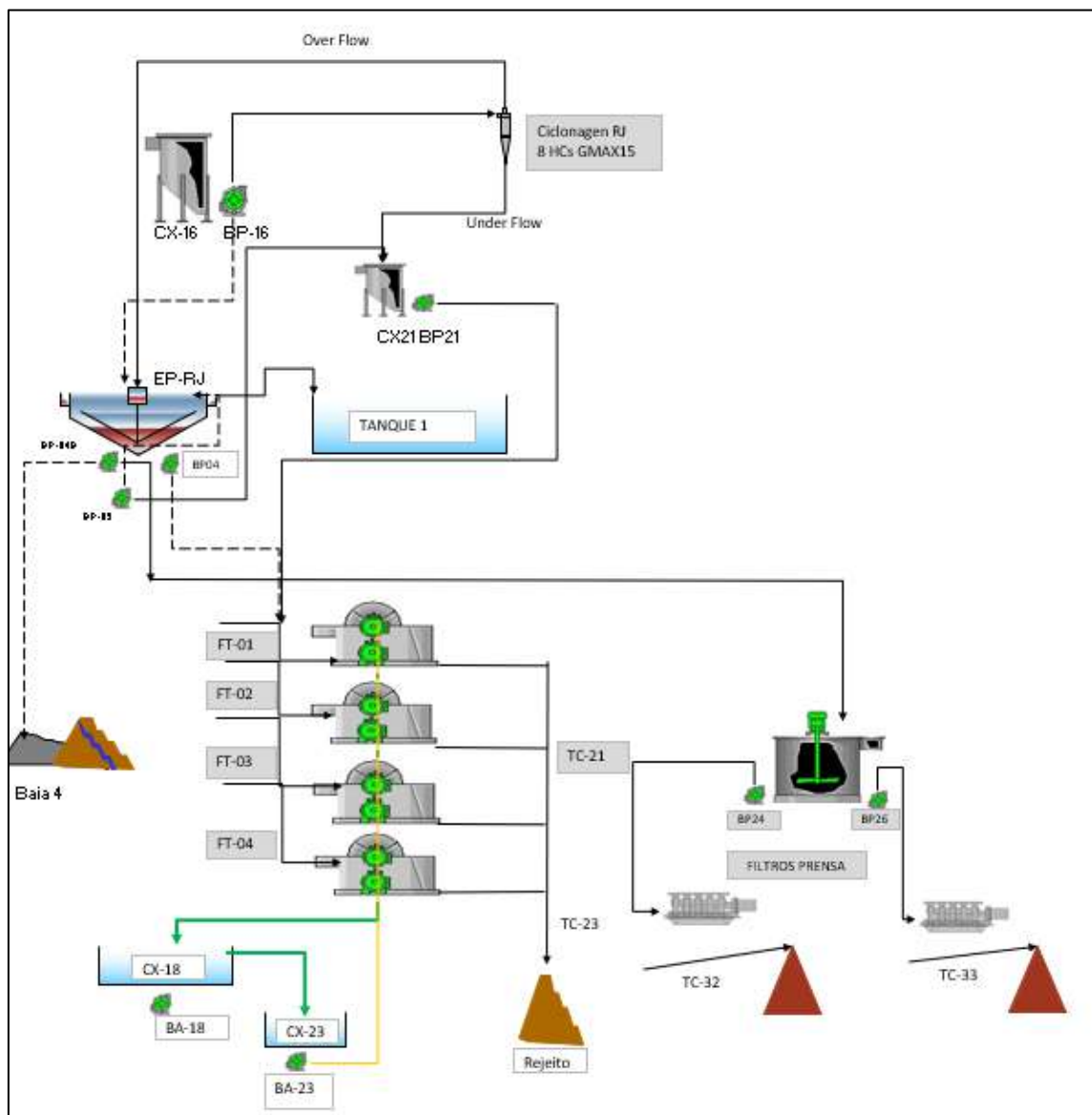


Figura 59 – Deslamagem, Espessamento e Filtragem de Rejeitos.

4.3.5.2.13. Fluxograma Integrado

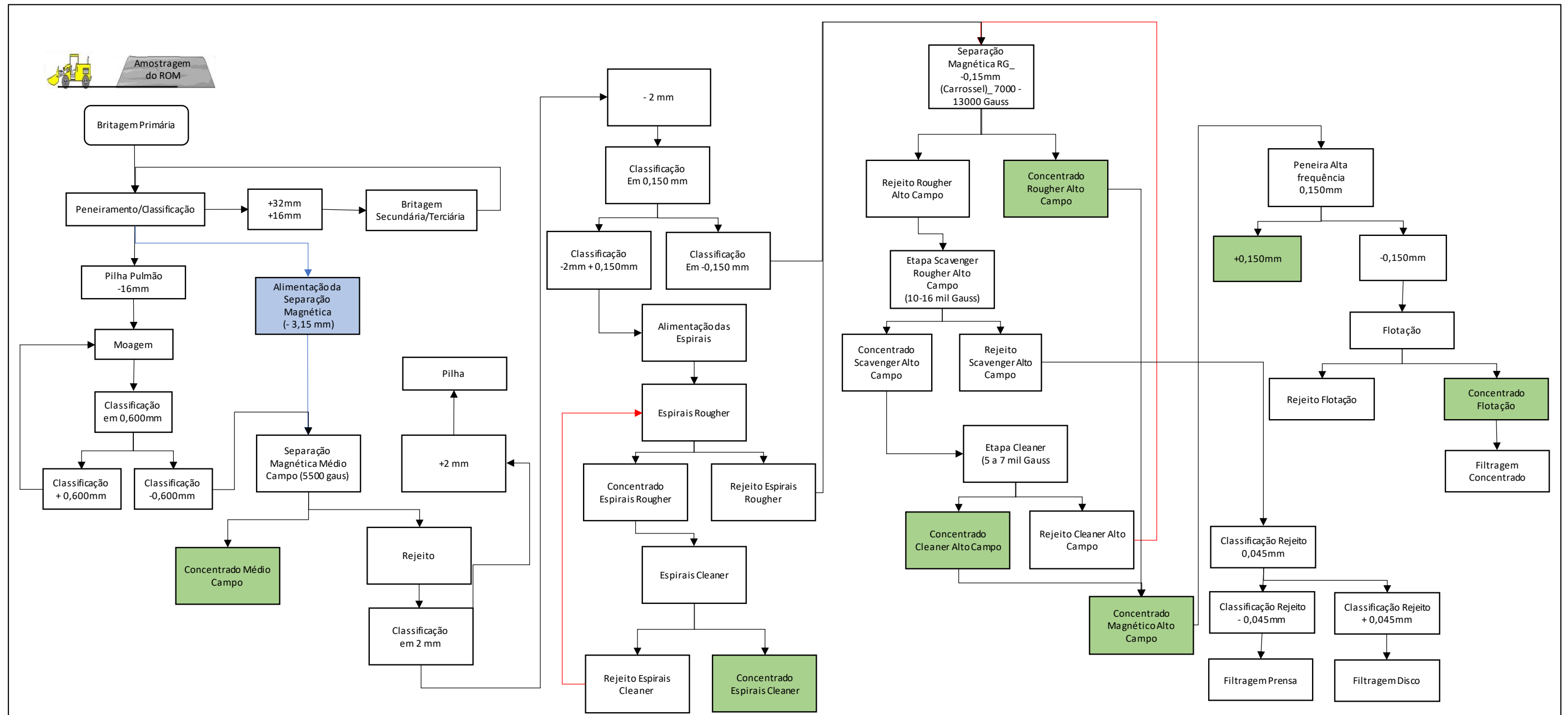


Figura 60 – Fluxograma Simplificado.

4.3.6 *Balanço Hídrico e Perspectivas Futuras do Empreendimento*

Atualmente, o empreendimento apresenta um balanço hídrico total de 2.878,80 m³/dia, distribuído entre os principais usos conforme detalhado a seguir: Tratamento do minério (1.837,40 m³/dia), Aspersão de vias (900 m³/dia), Uso sanitário (86,40 m³/dia), e Hidratação de plantas (55 m³/dia).

Com a previsão de ampliação da produção para 10,2 milhões de toneladas por ano, seria natural esperar um aumento proporcional no consumo hídrico. No entanto, graças às práticas de sustentabilidade hídrica previstos de serem implementadas, esse aumento de produção não implicará, necessariamente, em um acréscimo equivalente no uso de água.

No setor industrial, destaca-se a elevada taxa de reaproveitamento de água, atualmente em 92%, considerada um índice expressivo no setor. Essa taxa reduz, significativamente, a necessidade de captação de água nova para os processos produtivos. Além disso, a expectativa é que esse índice alcance até 94% nos próximos ciclos operacionais, por meio de ajustes operacionais e melhorias contínuas nos sistemas de recirculação. Também é importante ressaltar que a usina de beneficiamento já foi instalada com capacidade para receber a carga adicional de material prevista na ampliação, o que significa que não será necessário ampliar significativamente o consumo de água para absorver esse aumento de produção. Essa condição reforça a eficiência do planejamento estrutural do empreendimento e contribui para a estabilidade do balanço hídrico mesmo com o crescimento das operações.

No que se refere à aspersão de vias, estão em andamento melhorias tecnológicas com a instalação de adutoras eletrônicas, cujo objetivo é otimizar a distribuição e reduzir significativamente o volume de água utilizado nesse fim.

O novo sistema utilizará água proveniente de um tanque com capacidade de 30 m³, sendo projetado para atender 6,4 km de vias, por meio de seções operadas tanto por bombeamento quanto por gravidade.

A automação completa do sistema, com o uso de controladores lógicos programáveis (CLPs) e aspersores do tipo Hunter PGP-ADJ, busca garantir maior precisão no controle da poeira nas vias, refletindo o compromisso do empreendimento com a gestão ambiental responsável. Embora as projeções

específicas de economia de água e de custos operacionais ainda não estejam detalhadas, a iniciativa representa um passo importante na direção da eficiência hídrica e operacional.

Atualmente, o empreendimento possui as portarias de outorga de captação de água devidamente regularizadas, garantindo a conformidade legal do uso dos recursos hídricos. São elas: Certificado 0000368477/2022 para Usos Insignificantes, Portaria nº 01408/2017 (Ribeirão do Silva), Portaria nº 00296/2017 (Barragem B3), Portaria nº 13.01.0002176.2025 (Poço 1) e Portaria nº 13.01.0001708.2025 (Poço 2).

Paralelamente, os estudos hidrológicos seguem em andamento, com foco na avaliação contínua das condições de captação, eficiência no uso da água e identificação de novas técnicas que permitam reduzir ainda mais o consumo hídrico, mantendo o compromisso do empreendimento como um todo com a inovação, a sustentabilidade e a gestão responsável dos recursos naturais.

Considerando cenários futuros, pode-se projetar um aumento de 50% no consumo de água tanto para uso sanitário quanto para o tratamento de minério, decorrente da ampliação das operações. Por outro lado, devido às melhorias tecnológicas e operacionais, espera-se uma redução de 50% no volume de água utilizado para aspersão de vias e paisagismo.

Mesmo diante dessas variações, o balanço hídrico atual do empreendimento permanece adequado para atender a demanda prevista, reforçando a eficácia das medidas de gestão hídrica implementadas e a capacidade do sistema de absorver os impactos da ampliação produtiva.

4.3.6.1 BALANÇO HÍDRICO ATUAL

A seguir, apresentam-se os dados que compõem o balanço hídrico atual do empreendimento, com base nos registros operacionais mais recentes. A Tabela 6 detalha o volume diário de água consumido por tipo de uso, enquanto a Tabela 7 apresenta as fontes de abastecimento hídrico atualmente em operação, com as respectivas vazões médias diárias.

A comparação entre os volumes captados e os consumidos permite verificar o equilíbrio entre oferta e demanda de água na situação atual do projeto, evidenciando a eficiência do sistema de gestão hídrica.

Tabela 6 - Consumo de água (m³/dia) – Situação Atual.

Tipo de consumo	Consumo diário
Tratamento do minério	1.837,40
Aspersão	900
Uso sanitário	86,4
Hidratação de plantas	55
Total	2.878,80

Tabela 7 - Fontes de Abastecimento.

Fonte	Memória de Cálculo	Vazão diária (m ³ /dia)
Ribeirão do Silva / Barragem B3	68,4 m ³ /h x 21 h/dia	1.436,40
Uso insignificante	3,6 m ³ /h x 24 h/dia	86,4
Poço 1 na mina	59 m ³ x 20 h/dia	1.180,00
Poço 2 na mina	11 m ³ x 16 h/dia	176
Total		2.878,80

Como se percebe, a situação atual entre captação e uso está bem ajustada. Complementarmente às fontes de captação listadas acima, o sistema hídrico do empreendimento conta com estruturas de armazenamento que desempenham um papel fundamental no equilíbrio operacional. O principal reservatório é a Caixa do Cristo, com capacidade de 12.000 m³, responsável por garantir autonomia hídrica em períodos de maior demanda ou em situações de interrupção temporária da captação.

Recentemente, esse sistema foi reforçado com a implantação de uma Caixa Australiana, com capacidade adicional de 1.500 m³, elevando o volume total de armazenamento disponível para 13.500 m³. Esses reservatórios funcionam como uma reserva estratégica, permitindo a compensação de eventuais déficits diários e assegurando a estabilidade do abastecimento e a

continuidade das operações, mesmo em condições variáveis de consumo ou de captação.

4.3.6.2 CENÁRIOS FUTUROS

É prevista a ampliação gradual do projeto de lavra ao longo dos próximos anos. Naturalmente, essa ampliação implicará em um aumento na demanda por recursos hídricos, embora não necessariamente de forma proporcional ao incremento do volume de ROM (Run of Mine) processado pela planta.

Em grande parte das etapas dessa ampliação, as fontes de captação de água atualmente em operação deverão continuar sendo utilizadas. No entanto, conforme demonstrado nas projeções a seguir, haverá um momento em que será necessária a inclusão de uma fonte adicional de abastecimento, a fim de garantir a continuidade operacional e manter o equilíbrio do balanço hídrico diante do crescimento da produção.

As tabelas a seguir apresentam os cenários projetados de consumo hídrico para os próximos ciclos operacionais, considerando os diferentes volumes de produção.

➤ **Situação em 2026 (ROM = 5.350.000 t/ano)**

Para o ano de 2026, com produção de ROM de 5.350.000 toneladas por ano, a próxima tabela apresenta o consumo diário de água estimado e o respectivo déficit hídrico em relação à capacidade atual de captação do sistema.

Tabela 8 - Consumo de água (m³/dia) – Produção de ROM 5.350.000 t/ano.

Tipo de consumo	Consumo diário
Tratamento do minério	1.930
Aspersão	900
Uso sanitário	89,40
Hidratação de plantas	55
Total	2.980

Déficit hídrico: $2.980 - 2.878,80 = 101,20 \text{ m}^3/\text{dia}$.

Este déficit hídrico é compensado em bases semanal e, principalmente, mensal, por meio dos reservatórios de água do empreendimento — com destaque para a Caixa do Cristo, que possui capacidade de 12.000 m^3 , agora complementada por uma Caixa Australiana recém-instalada, com capacidade adicional de 1.500 m^3 . Com isso, o volume total de armazenamento disponível atinge 13.500 m^3 .

A reposição dos reservatórios ocorre durante períodos de interrupção na operação da planta para manutenção, bem como em dias de menor consumo, especialmente durante condições climáticas favoráveis, como tempo nublado ou chuvoso, que reduzem a necessidade de hidratação de vias e áreas vegetadas.

Com os reservatórios totalmente abastecidos, o sistema tem capacidade para sustentar até 4,5 dias de operação contínua da planta ($13.500 \text{ m}^3 \div 2.980 \text{ m}^3/\text{dia}$), o que proporciona uma margem de segurança operacional significativa.

A partir do próximo incremento na produção, será necessária uma intervenção no sistema de consumo de água. A primeira frente de economia prevista incidirá sobre a aspersão em vias de acesso e a hidratação de plantas, setores com potencial de redução expressiva de consumo por meio de melhorias tecnológicas e operacionais já em planejamento.

➤ **Situação de 2028 a 2029 (ROM = 7.600.000 t/ano)**

Para o período de 2027 a 2028, com produção de ROM de 7.600.000 toneladas por ano, a tabela a seguir apresenta o consumo diário de água estimado e o déficit hídrico correspondente.

Tabela 9 - Consumo de água (m^3/dia) – Produção de ROM 7.600.000 t/ano

Tipo de consumo	Consumo diário
Tratamento do minério	2.388,00
Aspersão	450
Uso sanitário	119,40

Tipo de consumo	Consumo diário
Hidratação de plantas	27,5
Total	2.985,50

Déficit hídrico: $2.985,50 - 2.878,80 = 106,70 \text{ m}^3/\text{dia}$.

O sistema continuará sendo compensado pelo reservatório do Cristo.

➤ **Situação de 2030 a 2031 (ROM = 8.800.000 t/ano)**

Para o período de 2029 a 2030, com produção de ROM de 8.800.000 toneladas por ano, a próxima tabela apresenta o consumo diário de água estimado e o déficit hídrico correspondente.

Tabela 10 - Consumo de água (m^3/dia) – Produção de ROM 8.800.000 t/ano.

Tipo de consumo	Consumo diário
Tratamento do minério	2.570,00
Aspersão	450
Uso sanitário	127,90
Hidratação de plantas	27,5
Total	3.175,40

Déficit hídrico: $3.175,40 - 2.878,80 = 296,60 \text{ m}^3/\text{dia}$.

Ainda é possível suprir esse déficit com o reservatório do Cristo.
 Capacidade de compensação: $13.500 \div 296,60 \approx 46$ horas.

➤ **Situação de 2032 para frente (ROM = 10.200.000 t/ano)**

A partir de 2031, com produção de ROM de 10.200.000 toneladas por ano, a tabela a seguir apresenta o consumo diário de água estimado e o déficit hídrico correspondente.

Tabela 11 - Consumo de água (m³/dia) – Produção de ROM 10.200.000 t/ano.

Tipo de consumo	Consumo diário
Tratamento do minério	2.756,10
Aspersão	450
Uso sanitário	129,60
Hidratação de plantas	27,50
Total	3.363,20

Déficit hídrico: $3.363,20 - 2.878,80 = 484,40 \text{ m}^3/\text{dia}$.

A partir de 2031, a capacidade dos reservatórios existentes não será suficiente para suprir integralmente o déficit hídrico projetado. Para mitigar essa limitação, está prevista a implantação de um novo poço profundo na região do Sapecado, destinado a complementar o abastecimento e atender às demandas operacionais.

4.3.7 ***Escoamento da Produção***

Seguindo a política das minerações de ferro situadas no eixo da rodovia BR-040, de entidades estatais e associações do setor, a HERCULANO tem tomado providências no sentido de retirar ao máximo o transporte de seus produtos da mencionada rodovia.

A primeira providência concreta está na participação desta empresa no projeto de construção do Terminal Ferroviário do Bação – TFB, hoje com licença ambiental e em fase de construção.

Este terminal está sendo montado para uma capacidade de carga de 8.000.000 t/ano, e a HERCULANO é proprietária da estrutura, juntamente com duas outras mineradoras, a Ferro Puro (do Grupo J. Mendes) e a Cedro Mineração.

Das três empresas, a HERCULANO é que tem sua unidade operacional mais próxima deste terminal, portanto, com condições mais favoráveis a utilização do mesmo.

No mínimo, espera-se uma utilização a base de 1/3 da capacidade deste transbordo, portanto, de 2.667.000 t/ano.

Este quantitativo representará uma redução média de 95.000 carretas ao ano (2.667.000 t/28), 7.900/mês ou 263/dia no trânsito pela rodovia BR-040. Esta é, como antes explicado, uma boa iniciativa no sentido de reduzir o trânsito de caminhões de minério pela mencionada rodovia.

Este menor fluxo de carretas no sentido da rodovia BR-040, além de aliviar o uso do trevo local e desta própria via, representará um alívio nos impactos ambientais negativos para com a população dos bairros vizinhos da via de ligação da Herculano com a BR-040, representados pelos Condomínios Villa Bella, Aconchego da Serra e Vertentes das Gerais.

Nos últimos anos a HERCULANO, em conjunto com outra mineradora vizinha, vem realizando obras de melhorias nesta via, representadas por ações de melhoramento do piso asfáltico, do sistema de drenagem e sinalização, tudo contribuindo para um bom fluxo das carretas, com menores impactos relativos, principalmente, à geração de poeira e ruído.



Figura 61 – Detalhe do muro de alvenaria e do bom aspecto das vias de rolamento e das canaletas laterais de drenagem da via de ligação entre a HERCULANO e a BR-040.

Por último, foi melhor estruturado o muro de proteção que margeia os condomínios à margem desta via, visando a mitigação dos impactos relativos à poeira e, principalmente, ruído.



Figura 62 – Muro recém reestruturado, reforçado e com altura aumentada, em grande extensão na divisa da via com as habitações vizinhas.



Figura 63 – Vista da extensão da via mais próxima à BR-040, mostrando o bom acréscimo na altura do muro, o que pode ser conferido ao fazer um comparativo do mesmo em relação à altura do caminhão que está na via.

A Herculano Mineração motivada pelo planejamento de expansão de sua atividade minerária, contratou estudos visando a análise pormenorizada dos aspectos envolvendo os fluxos de movimentação, sobretudo de carretas utilizadas no processo produtivo e escoamento da produção. Este estudo de macroacessibilidade possibilitou a identificação das capacidades das principais vias que servem ao empreendimento, particularmente a rodovia municipal ITA-320 e a BR-040, possibilitando o planejamento e o uso racional destas vias de acesso, eliminando e mitigando os conflitos de tráfego e incômodos gerados à população da área de influência do empreendimento ampliado.

4.3.8 Disposição de Estéril / Rejeito e preenchimento de cava

Atualmente, a Herculano realiza a disposição de estéril e rejeito em pilha compartilhada com a Vale, em áreas de propriedade dessa última. Com o desenvolvimento da Mina do Sapecado e a abertura da lavra da Cava A, a empresa busca maior autonomia com a implementação das Pilhas Norte e Sul. Essas pilhas, com uma capacidade total de 28,7 milhões de metros cúbicos, foram projetadas para comportar todo o estéril e rejeito gerado pelo processo de lavra e beneficiamento do minério de ferro produzido em sua mina, incluindo Sapecado e Tanque Seco.

A capacidade física das Pilhas Norte e Sul foi dimensionada de forma a acomodar toda a quantidade de estéril e rejeito gerados durante a operação, sem necessidade de recorrer a áreas externas. Com essa estrutura, as pilhas garantirão a disposição eficiente e contínua do material, sem comprometer o andamento da operação de lavra por um bom período. Esse planejamento otimiza o uso da área disponível, assegurando a viabilidade operacional e permitindo maior flexibilidade nas atividades diárias.

Além de sua função operacional, a disposição do estéril e rejeito nas pilhas será realizada de forma controlada, contribuindo também para a reabilitação ambiental da área. Estes materiais serão utilizados de maneira estratégica para auxiliar na recuperação da vegetação e na restauração do ecossistema local, respeitando as normas ambientais e promovendo a sustentabilidade do projeto.

Tabela 12 - Quantitativos de estéril e rejeitos a serem dispostos.

Ano	Rejeito t	Rejeito m³	Estéril t	Estéril m³	Total m³	Acumulado m³
1	2327250	1011847,83	1444500	577800	1589648	1.589.648
2	2327250	1011847,83	1444500	577800	1589648	3.179.296
3	3610000	1569565,22	2052000	820800	2390365	5.569.661
4	3610000	1569565,22	2052000	820800	2390365	7.960.026
5	4400000	1913043,48	2376000	950400	2863443	10.823.470
6	4400000	1913043,48	2376000	950400	2863443	13.686.913
7	5610000	2439130,43	2754000	1101600	3540730	17.227.643
8	5610000	2439130,43	2754000	1101600	3540730	20.768.374
9	5865000	2550000	2754000	1101600	3651600	24.419.974
10	5865000	2550000	2754000	1101600	3651600	28.071.574
11	6120000	2660869,57	2754000	1101600	3762470	31.834.043
12	6120000	2660869,57	2754000	1101600	3762470	35.596.513
13	55864500	24288913	28269000	11307600	35596513	

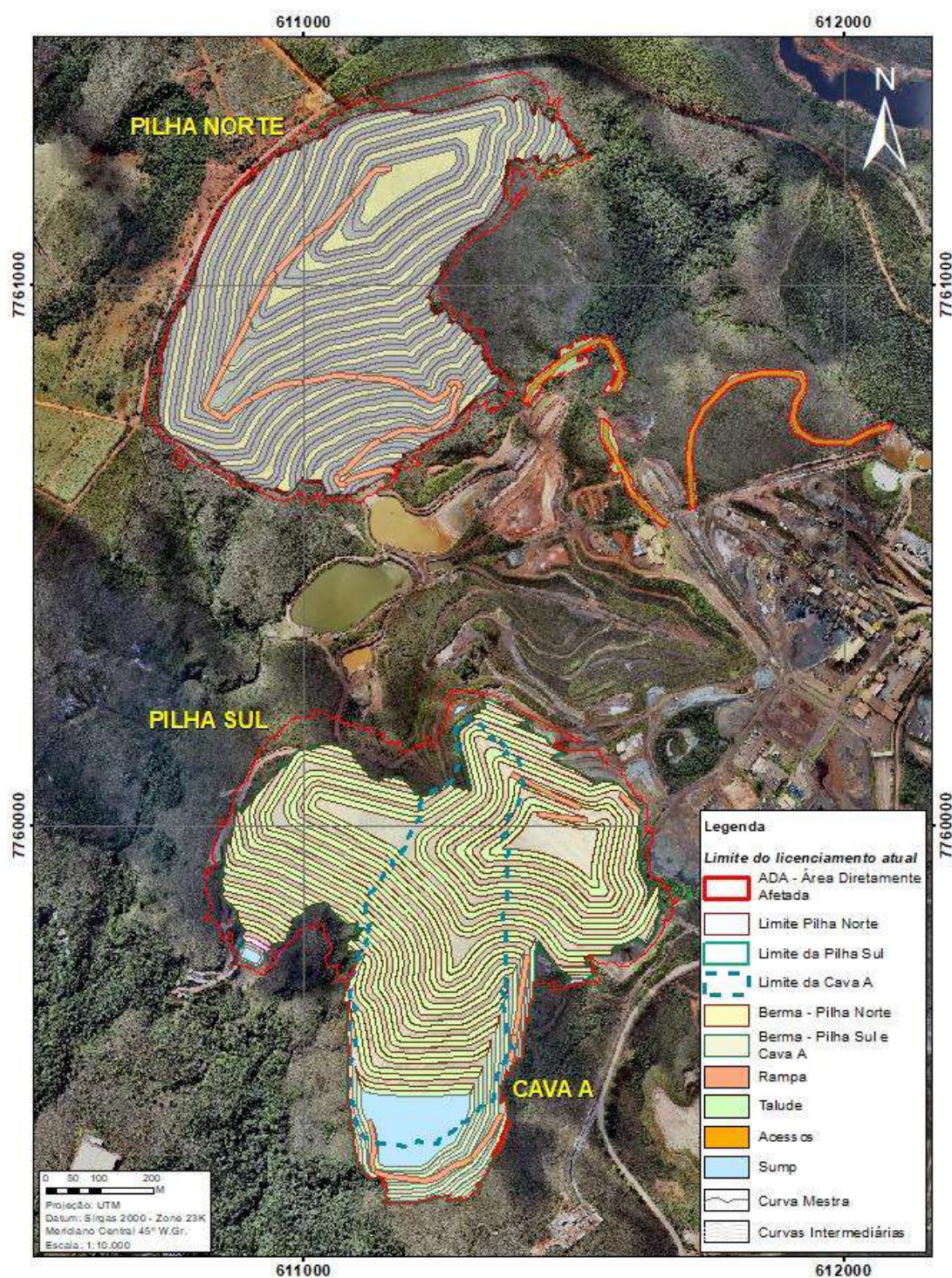


Figura 64 - Estruturas focalizadas no presente processo de ampliação do empreendimento, que inclui duas pilhas de estéril/rejeito, Pilha Norte e Pilha Sul, sendo que esta recobrirá a futura Cava A, também parte do projeto (Preenchimento de Cava).

4.3.8.1 CONCEPÇÃO GERAL DO PROJETO DAS PILHAS DE ESTÉRIL/REJEITO

As Pilhas de Disposição de Estéril e Rejeito (PDER) Sul e Norte foram projetadas com base em análises técnico-ambientais criteriosas, visando a otimização da disposição do material estéril e rejeitos provenientes da Cava A.

A seleção das áreas para as PDER Sul e PDER Norte foi estratégica, considerando a ocorrência de processos erosivos avançados, como ravinas e sulcos profundos, em porções significativas desses locais. A decisão de utilizar áreas já antropizadas e previamente impactadas minimiza o impacto ambiental global do empreendimento, ao evitar a intervenção em áreas de vegetação nativa ou de menor alteração antrópica. Esta abordagem representa a opção mais eficiente sob as perspectivas técnica, operacional e ambiental.

No que tange à PDER Sul, seu sequenciamento construtivo está intrinsecamente ligado ao avanço da Cava A. À medida que a lavra da Cava A progredir para sua conformação final, os volumes de estéril e rejeitos da PDER Sul serão gradualmente realocados para preencher os espaços desocupados. Este sequenciamento otimiza as distâncias de transporte, resultando em ganhos significativos de eficiência operacional. Adicionalmente, esta metodologia contribui para a recomposição geomorfológica e paisagística da área, elevando a segurança geotécnica das encostas escavadas após a exaustão da lavra.

O arranjo geométrico das pilhas foi desenvolvido com rigor, incorporando bancos individuais de 10,0 m de altura, separados por bermas com 10,0 m de largura. Esta configuração resulta em um ângulo geral de talude de aproximadamente 19°, garantindo a estabilidade estrutural do maciço.

A gestão hídrica eficiente constitui um pilar fundamental do projeto, com a implementação de um sistema de drenagem robusto concebido para o controle do escoamento superficial e da percolação interna.

A captação e remoção das águas pluviais ao longo das bermas e taludes serão realizadas por uma rede integrada de valetas, canaletas, canais periféricos e sump de contenção de sedimentos.

A drenagem interna das pilhas será assegurada por drenos principais e secundários, estrategicamente distribuídos na área de fundação.

Os fluxos hídricos coletados serão direcionados para sump de contenção de sedimentos, posicionados nas margens das pilhas. É importante ressaltar que, por serem estruturas escavadas em terreno natural, estes sumps não se enquadram nos critérios de barragens de mineração estabelecidos pelas legislações estadual e federal (PNSB e PESB), o que simplifica o seu processo regulatório.

Em síntese, os aspectos técnicos e de engenharia que nortearam as concepções das PDER Sul e Norte incluem:

- **Zoneamento Estrutural e Não Estrutural:** As PDERs foram projetadas com uma zona estrutural, composta por estéril e rejeito compactados para garantir suporte e estabilidade, e uma zona não estrutural, destinada ao confinamento de materiais que não contribuem para o desempenho mecânico do maciço;
- **Sequenciamento Construtivo Progressivo:** A disposição inicial ocorrerá em áreas externas à Cava A, com a realocação subsequente para o interior da cava após sua exaustão, conforme detalhado nos anexos do projeto (PDER Sul);
- **Disposição Pós-Exaustão da Cava:** A inserção de materiais no interior da Cava A somente ocorrerá após esta atingir sua conformação final de lavra (PDER Sul);
- **Controle de Percolação:** A implementação de sistemas de drenagem superficial e interna é essencial para o controle dos processos de percolação nos maciços formados, visando à manutenção da estabilidade geotécnica;
- **Sump de Contenção de Sedimentos:** Serão construídos sump para contenção de sedimentos, estrategicamente localizados fora dos limites de enquadramento da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e da Política Estadual de Segurança de Barragens (PESB), garantindo o manejo seguro das drenagens;
- **Manejo Hídrico Pós-Exaustão:** O direcionamento dos fluxos de enxurrada será otimizado após a exaustão da Cava A, assegurando um manejo hídrico adequado e eficiente da área de intervenção.

4.3.8.2 SISTEMA DE DRENAGEM INTEGRADO

a) Drenagem Superficial

Para otimizar a rede de drenagem superficial e adequá-la à extensa geometria das bermas das pilhas serão implementadas declividades transversais de 3,0% e longitudinais de 1,0% nas extremidades. Adicionalmente, a crista de cada talude será dotada de uma leira contínua, construída com material terroso não compactado. Esta leira terá a função de conter e prevenir o transbordamento das águas pluviais, direcionando o escoamento de forma controlada e segura.

A coleta e remoção do escoamento superficial ao longo das bermas e taludes será realizada por meio de uma rede integrada de valetas, canaletas, canais periféricos e sumps de contenção de sedimentos.

Os sumps consistem em bacias escavadas em solo natural, cujas paredes serão revestidas por blocos de itabirito dimensionados e assentados de forma imbricada. Essa técnica confere alta resistência aos esforços hidráulicos resultantes das elevadas velocidades de escoamento.

A principal função dos sumps é dissipar a energia dos fluxos, garantindo que o retorno das águas aos cursos hídricos naturais ocorra sob um regime de escoamento fluvial, o que minimiza os impactos erosivos a jusante.

Após a exaustão da Cava A, os fluxos hídricos serão direcionados para o fundo da própria cava exaurida. No caso da PDER Norte, os fluxos serão direcionados para a Barragem B2/B3, existente à jusante da área da pilha.

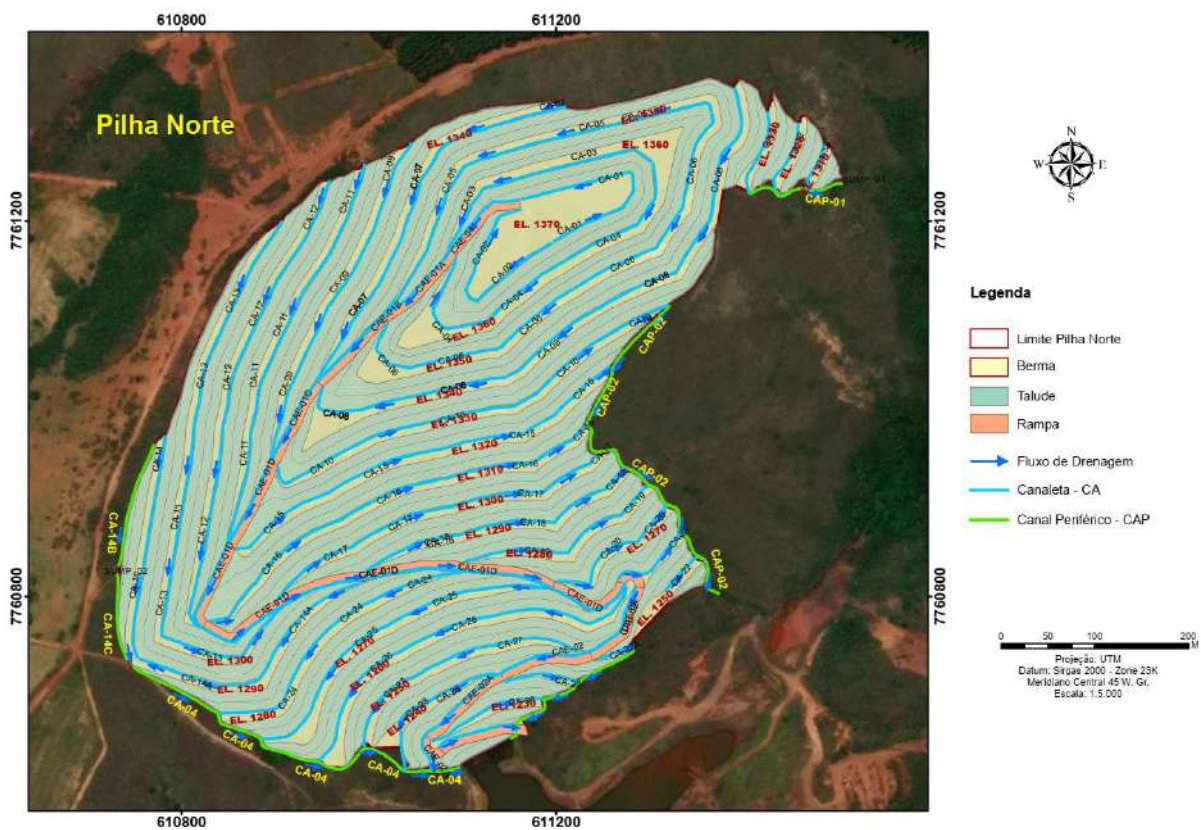


Figura 65 – Drenagem superficial da Pilha Norte.

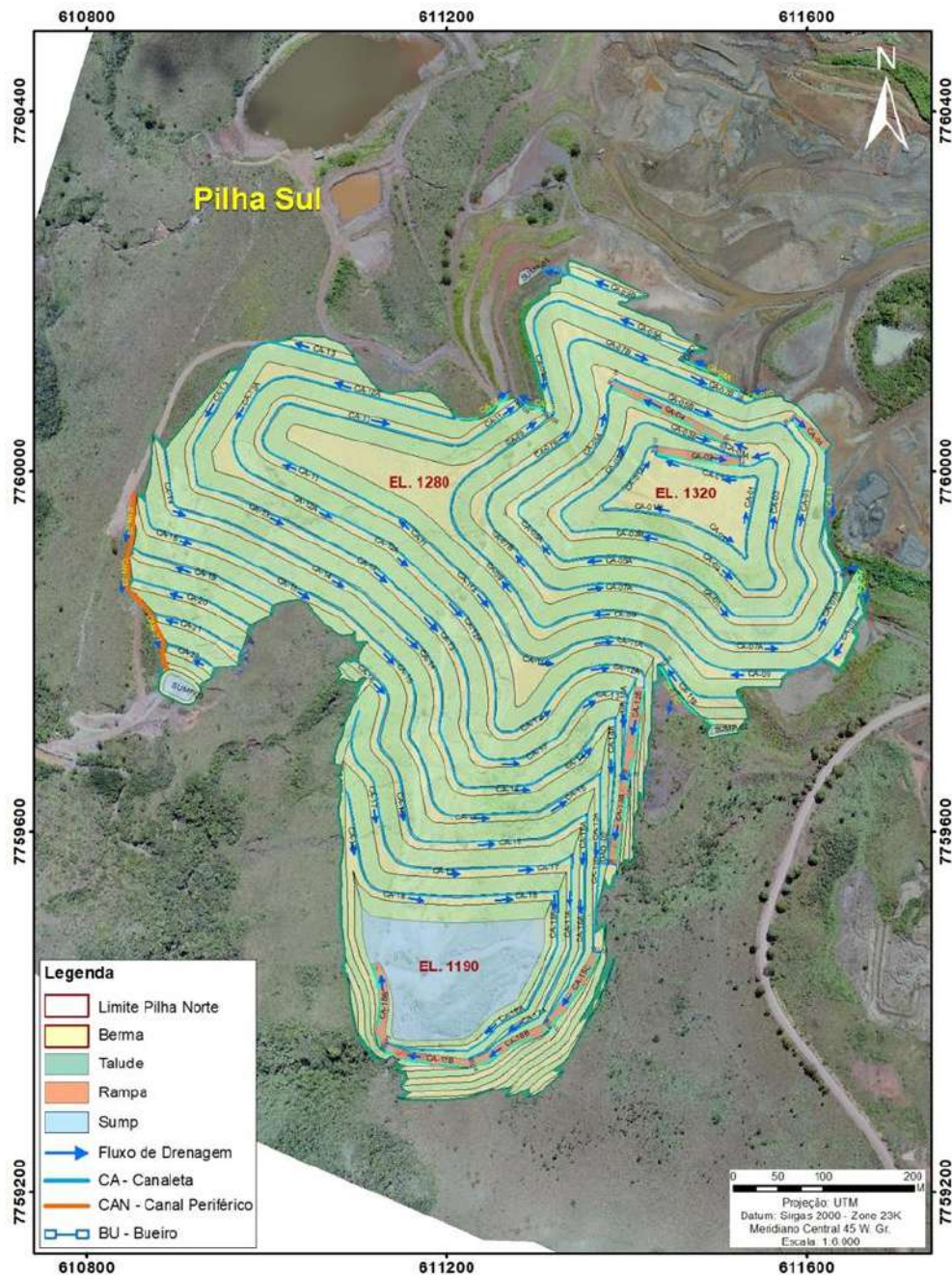


Figura 66 – Drenagem superficial da Pilha Sul.

b) Drenagem Interna

A rede de drenagem interna da pilha será otimizada através da implementação de um sistema composto por drenos principais e secundários. Os drenos principais serão instalados em talwegues secos, os quais passarão por um processo de limpeza e retificação prévia, conforme a necessidade topográfica e geotécnica. Por sua vez, os drenos secundários serão

estrategicamente posicionados em áreas identificadas com maior potencial de concentração e acúmulo de águas, baseando-se em análises detalhadas da topografia natural do terreno para maximizar a eficiência da coleta hídrica subterrânea.

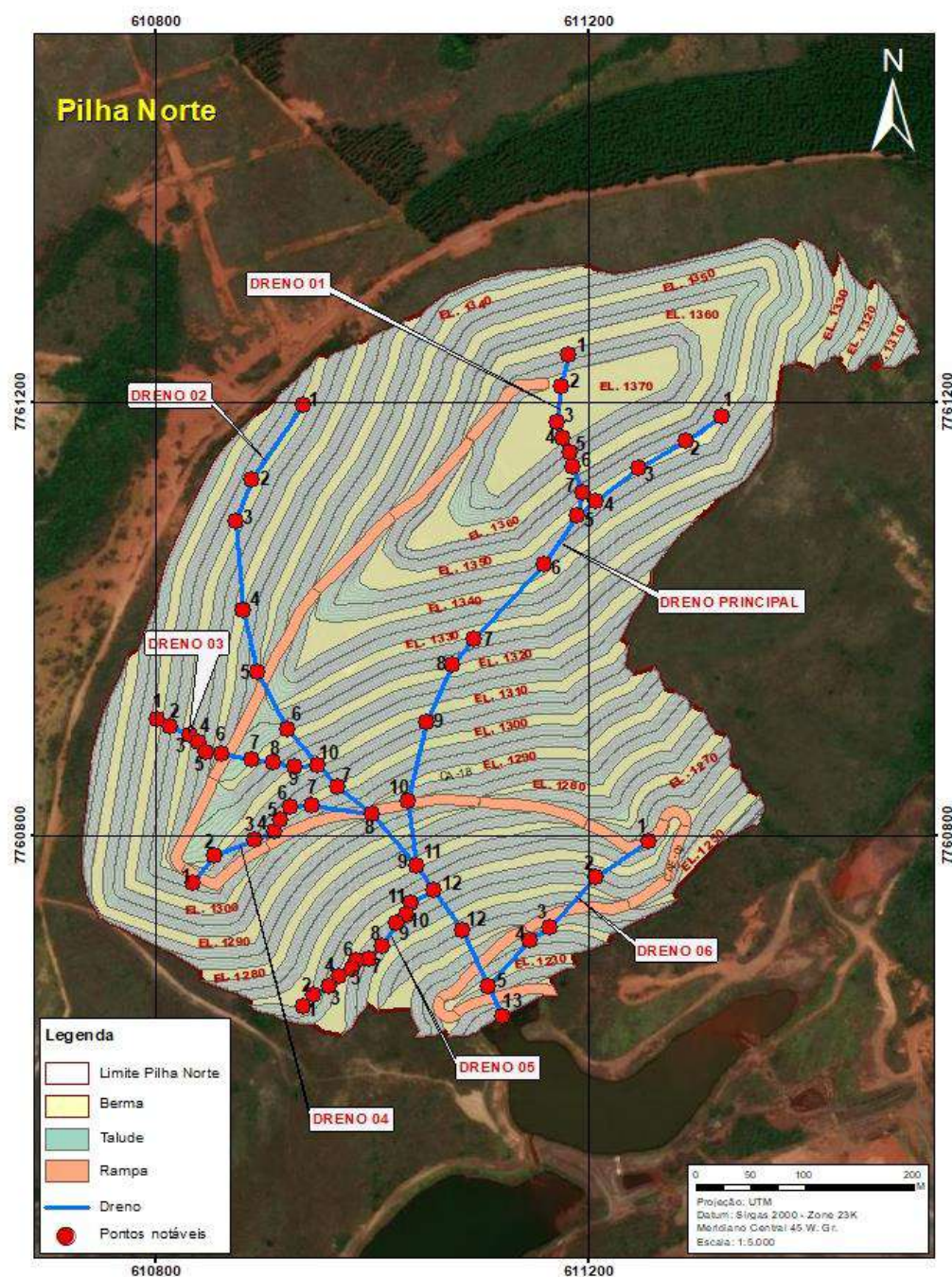


Figura 67 – Drenagem interna da Pilha Norte.

Tabela 13 – Coordenada dos pontos da Pilha Norte (PDER Norte): Pontos Notáveis - Drenos.

Pilha Sul - Pontos Notáveis			
Nome	Coordenada		Z
	X	Y	
Dreno Principal			
1	611323,55100	7761187,15500	1325,00
2	611289,63100	7761164,78400	1310,00
3	611246,06500	7761139,63400	1285,00
4	611206,97100	7761109,58200	1270,00
5	611189,69800	7761095,72906	1265,00
6	611158,36500	7761050,78400	1255,00
7	611093,36415	7760981,37803	1240,00
8	611073,74100	7760957,57600	1235,00
9	611049,63000	7760904,66300	1230,00
10	611033,08500	7760832,12300	1225,00
11	611041,11300	7760772,48300	1223,00
12	611083,11500	7760713,10800	1221,00
13	611120,06400	7760634,18200	1220,00
Dreno 1			
1	611180,99877	7761244,84257	1320,00
2	611175,32053	7761215,71406	1310,00
3	611170,73984	7761182,11838	1300,00
4	611175,53869	7761167,29251	1295,00
5	611182,17089	7761153,72293	1290,00
6	611185,52432	7761141,41393	1285,00
7	611193,98240	7761117,70669	1275,00
8	611189,67456	7761095,66053	1265,00
Dreno 2			
1	610935,69573	7761198,41306	1295,00
2	610888,36415	7761128,95920	1285,00
3	610873,36415	7761090,98923	1280,00
4	610880,45155	7761007,78367	1270,00
5	610894,02199	7760951,18650	1255,00
6	610921,15847	7760898,84057	1240,00
7	610967,36415	7760845,98679	1230,00
8	610999,41411	7760820,49004	1225,00
9	611041,11288	7760772,48291	1223,00
Dreno 3			
1	610801,45792	7760907,95733	1270,00
2	610812,36415	7760901,22837	1265,00
3	610831,26182	7760892,78367	1261,00
4	610839,50415	7760887,08093	1259,00

5	610846,04156	7760877,04997	1255,00
6	610860,19882	7760876,51670	1252,00
7	610888,22241	7760870,60262	1245,00
8	610907,89183	7760868,50270	1240,00
9	610928,68299	7760863,77942	1235,00
10	610949,90512	7760865,94306	1232,00
Dreno 4			
1	610834,69929	7760756,66663	1270,00
2	610853,99475	7760781,63057	1260,00
3	610891,04022	7760796,28621	1250,00
4	610909,17697	7760804,16193	1248,00
5	610914,95524	7760814,78367	1245,00
6	610924,26202	7760827,18373	1240,00
7	610944,25984	7760828,89264	1235,00
8	610999,41411	7760820,49004	1225,00
Dreno 5			
1	610936,60500	7760643,08000	1258
2	610946,08627	7760653,68967	1254
3	610960,30912	7760661,55138	1246
4	610969,96898	7760671,10301	1242
5	610980,80465	7760676,78676	1240
6	610985,39396	7760684,95975	1238
7	610996,99275	7760686,72617	1235
8	611009,66282	7760698,49441	1233
9	611022,53830	7760719,92976	1230
10	611031,22505	7760727,78367	1226
11	611036,23074	7760738,65276	1223
12	611057,31292	7760749,58043	1222
Dreno 6			
1	611255,36415	7760794,86558	1250,00
2	611205,95464	7760762,02143	1235,00
3	611163,87726	7760715,78299	1222,00
4	611145,36415	7760703,52988	1221,00
5	611107,26038	7760661,51640	1220,35

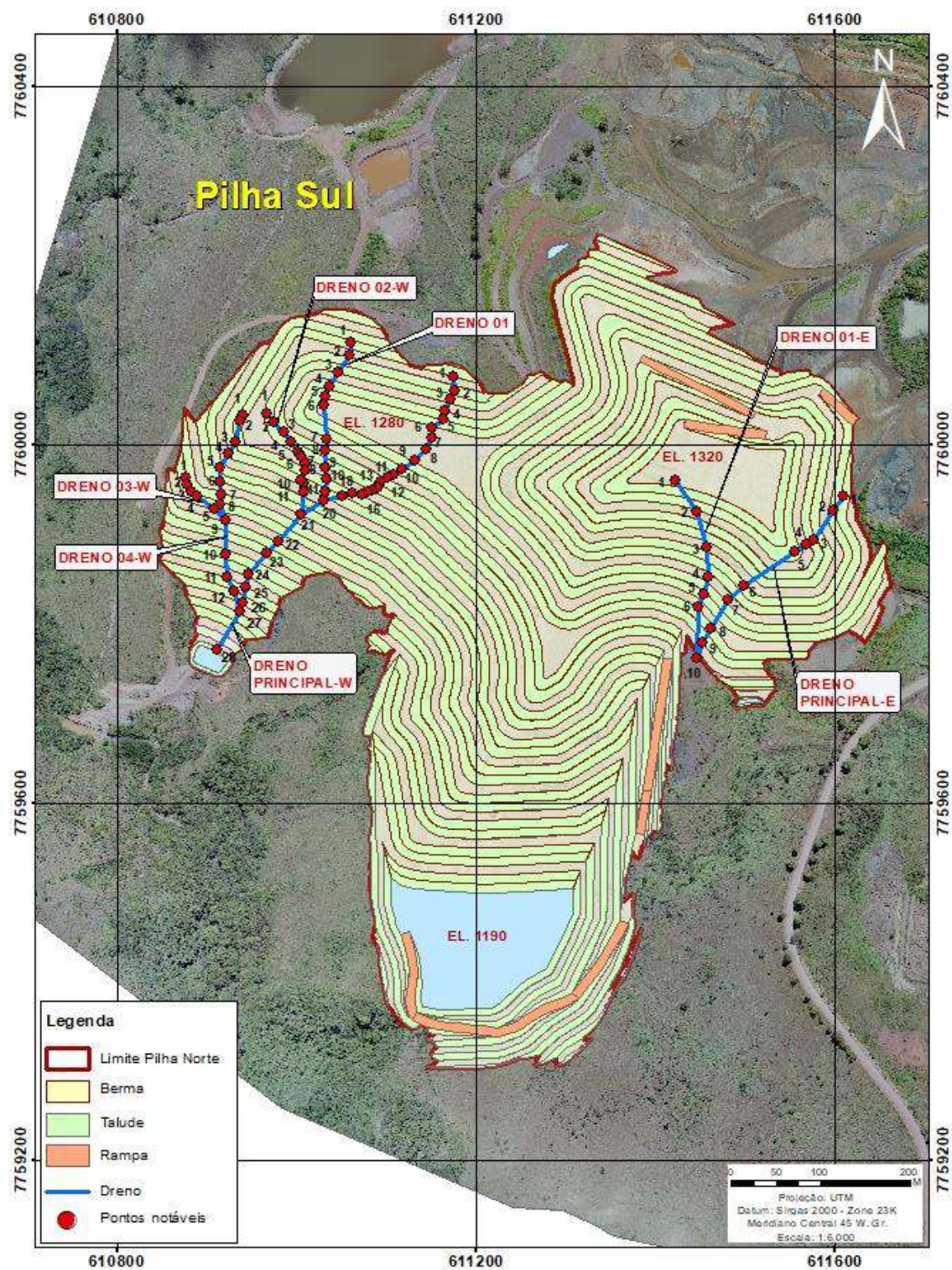


Figura 68 – Drenagem interna da Pilha Sul.

Tabela 14 – Coordenada dos pontos da Pilha Sul (PDER Sul): Pontos Notáveis - Drenos.

Pilha Sul - Pontos Notáveis			
Nome	Coordenada		Z
	X	Y	
Dreno Principal - E			
1	611610,466	7759941,784	1288,00
2	611599,185	7759926,784	1287,00
3	611576,911	7759893,784	1283,00
4	611569,859	7759888,784	1282,00
5	611556,386	7759880,732	1281,00
6	611498,688	7759842,784	1279,00
7	611481,137	7759825,784	1278,00
8	611462,386	7759794,825	1277,00
9	611452,750	7759778,784	1270,00
10	611446,386	7759761,827	1269,00
Dreno 1 - E			
1	611423,386	7759959,120	1285,00
2	611446,868	7759924,784	1279,00
3	611458,314	7759885,784	1278,00
4	611459,699	7759851,233	1274,00
5	611454,386	7759832,485	1271,00
6	611448,069	7759817,784	1270,00
Dreno Principal - W			
1	611175,165	7760075,784	1250,00
2	611176,364	7760060,553	1247,00
3	611172,364	7760051,139	1245,00
4	611165,364	7760037,042	1241,00
5	611163,485	7760028,784	1238,00
6	611151,364	7760018,736	1237,00
7	611150,487	7760007,784	1234,00
8	611145,352	7759994,784	1230,00
9	611131,364	7759982,806	1226,00
10	611117,364	7759973,148	1223,00
11	611108 ,020	7759965,784	1220,00
12	611102 ,364	7759962,311	1215,00
13	611094 ,364	7759957,546	1210,00
14	611090 ,111	7759951,784	1208,00
15	611084 ,288	7759948,784	1207,00
16	611078 ,971	7759947,784	1206,00
17	611073 ,469	7759943,784	1205,00
18	611062 ,364	7759946,005	1204,00

19	611050 ,364	7759943,149	1200,00
20	611030 ,838	7759937,784	1198,00
21	611005 ,638	7759921,784	1198,00
22	610979 ,960	7759891,784	1193,00
23	610967 ,364	7759879,590	1189,00
24	610946 ,364	7759854,767	1189,00
25	610943 ,364	7759840,524	1187,00
26	610940 ,364	7759823,409	1185,00
27	610936 ,364	7759813,283	1184,00
28	610911 ,038	7759770,870	1180,23
Dreno 1 - W			
1	611061,364	7760113,906	1240,00
2	611058,364	7760099,959	1238,00
3	611046,364	7760080,799	1235,00
4	611037,364	7760064,637	1232,00
5	611032,364	7760054,211	1231,00
6	611030,364	7760043,529	1230,00
7	611034,364	7760006,189	1225,00
8	611032,364	7759992,505	1222,00
9	611031,364	7759974,954	1218,00
10	611034,364	7759961,668	1210,00
11	611032,364	7759947,144	1205,00
Dreno 2 - W			
1	610967,364	7760033,919	1241,00
2	610975,364	7760025,878	1234,00
3	610986,364	7760013,906	1225,00
4	610993,543	7760002,784	1219,00
5	611001,255	7759991,784	1216,00
6	611005,364	7759986,363	1210,00
7	611009,364	7759979,710	1209,00
8	611009,372	7759971,784	1205,00
9	611005,364	7759960,347	1200,00
10	611007,364	7759957,048	1199,00
11	611007,364	7759946,423	1198,00
Dreno 3 - W			
1	610876,653	7759962,784	1225,00
2	610878,364	7759955,387	1223,00
3	610881,778	7759947,784	1220,00
4	610889,364	7759941,726	1214,00
5	610908,410	7759928,784	1200,00
Dreno 4 - W			
1	610938,992	7760033,784	1241,00
2	610936,396	7760026,784	1239,00

3	610932,428	7760002,784	1235,00
4	610924,422	7759990,784	1230,00
5	610914,535	7759973,784	1220,00
6	610914,364	7759958,385	1210,00
7	610915,364	7759944,309	1203,00
8	610914,364	7759933,485	1197,00
9	610920,364	7759915,978	1195,00
10	610920,364	7759877,630	1190,00
11	610922,364	7759852,340	1186,00
12	610930,364	7759835,195	1183,00

4.3.8.3 TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO

O sucesso e a segurança da pilha de codisposição dependem criticamente do adequado tratamento da sua fundação. A fundação é a interface essencial entre a massa de materiais dispostos e o terreno natural, sendo responsável por suportar as elevadas cargas da estrutura e garantir a estabilidade global.

O próximo item apresenta e detalha as etapas executivas de implantação da PDER, incluindo a etapa de Tratamento de Fundação.

4.3.8.4 ETAPAS EXECUTIVAS

As etapas executivas para a construção da PDER são apresentadas abaixo:

a) Tratamento da Fundação

▪ **Preparação e Limpeza da Área**

A fase de preparação da área de fundação terá início com a remoção da camada superficial de solo orgânico e vegetação (topsoil). Essa etapa é crucial para eliminar materiais de baixa resistência e alta compressibilidade que poderiam comprometer a estabilidade da pilha. A espessura da remoção foi determinada com base nos resultados das investigações geotécnicas, garantindo a exposição de um substrato de maior capacidade de suporte.

Após a remoção do topsoil, a área será cuidadosamente limpa de detritos, blocos rochosos soltos e quaisquer outros materiais indesejáveis. Em

seguida, será realizada a regularização do terreno, com nivelamento e conformação da superfície para as próximas etapas.

▪ ***Escavação e Retirada de Materiais de Baixa Competência***

Com base nos resultados das investigações geotécnicas, foram identificadas as áreas com a presença de solos de baixa competência. Nessas áreas específicas, proceder-se-á a escavação e retirada controlada desses materiais inadequados. A profundidade e extensão da escavação foram definidas em projeto para atingir uma camada de solo ou rocha com capacidade de suporte adequada.

O material escavado será segregado e transportado para bota-fora ou áreas de disposição designadas, conforme as diretrizes ambientais. Após a remoção, o fundo da escavação será inspecionado e, se necessário, regularizado e compactado para receber o material de preenchimento.

▪ ***Preenchimento e Compactação de Camadas Superficiais***

Após a remoção dos materiais de baixa competência, as áreas escavadas serão preenchidas com solo compactado. O preenchimento será realizado em camadas controladas, com espessuras de 30,0 cm, e cada camada será submetida a rigorosas operações de compactação. Ensaios de controle de compactação serão realizados a cada camada para garantir o atingimento do grau de compactação, acima de 95% do Proctor Normal, assegurando a densidade e resistência necessárias para a fundação.

▪ ***Controle de Qualidade e Monitoramento***

Durante toda a fase de tratamento de fundação, um rigoroso programa de controle de qualidade e monitoramento será implementado para garantir a conformidade com o projeto e a eficácia das intervenções:

- Ensaios de Campo e Laboratório: Realização contínua de ensaios para verificar a densidade, resistência e permeabilidade dos solos tratados e dos materiais de preenchimento.

- Topografia: Levantamentos topográficos detalhados para garantir a conformação da superfície, as cotas de escavação e o posicionamento correto de quaisquer elementos de tratamento.
- Instrumentação Geotécnica: Instalação e leitura de instrumentos como piezômetros e inclinômetros para monitorar as pressões neutras e os deslocamentos do terreno durante e após o tratamento.
- Inspeção Visual: Verificação constante da qualidade dos materiais e da execução dos procedimentos por equipe técnica especializada.

b) Implantação do Sistema de Drenagem Interna

▪ *Preparação da Base de Drenagem*

Após a conclusão da terraplenagem de base, será realizada a compactação da área para atingir os parâmetros geotécnicos especificados em projeto. Sobre essa superfície compactada, será iniciada a conformação da camada de base drenante. A base drenante construída com material granular, brita graduada, de alta permeabilidade.

▪ *Instalação do Sistema de Drenagem Interna*

As trincheiras para os drenos principais e secundários escavadas com geometria e declividade controladas, conforme o projeto. A profundidade e largura das trincheiras será verificada constantemente para garantir o envelope adequado para o material granular envolvido. O fundo das trincheiras, será cuidadosamente preparado e nivelado, utilizando uma camada de areia ou material granular fino para garantir uma base uniforme.

Sobre a camada filtrante, será aplicada uma camada de proteção geotêxtil não tecido, envolvendo completamente o material filtrante. O geotêxtil atua como uma barreira adicional contra a migração de finos, enquanto permite a livre passagem da água para o sistema de drenagem.

▪ *Deságue Final*

Os drenos internos direcionarão as águas para um sistema de deságue final, representado por um relativamente grande sump.

c) Implantação do Paramento de Estéril

Esta é a estrutura inicial da PDER e sua execução exige o máximo rigor. A construção do paramento de estéril envolve a disposição controlada de material rochoso proveniente das operações de lavra da mina.

▪ Seleção de Material

O estéril utilizado para o paramento será selecionado para garantir a presença de material de boa granulometria e resistência, minimizando a proporção de finos que poderiam comprometer a permeabilidade e a drenagem interna da estrutura.

▪ Métodos de Disposição e Conformação

A disposição do estéril executada por meio de caminhões que descarregam o material em frentes controladas. Tratores de esteira e carregadeiras empregados em espalhar e conformar o material em camadas horizontais ou suavemente inclinadas. A espessura das camadas será controlada para garantir a homogeneidade e o travamento adequado das partículas rochosas. A conformação progressiva dos taludes externos e internos do paramento seguirão rigorosamente as inclinações e larguras de berma especificadas.

▪ Adensamento e Compactação (Auto-compactação)

Embora não se aplique uma compactação mecânica convencional como em solos finos, o tráfego repetido dos equipamentos pesados sobre as camadas de estéril contribuiu significativamente para o adensamento e o encaixe das partículas rochosas (auto-compactação). Este processo aumenta a densidade aparente da massa, resultando em maior resistência ao cisalhamento e menor deformabilidade do paramento, essenciais para sua função de suporte.

▪ Controle de Contaminação por Finos

Medidas foram tomadas para minimizar a contaminação do paramento por finos de rejeito, que poderiam reduzir sua permeabilidade. Isso

incluiu a disposição controlada do rejeito em camadas distantes da face interna do paramento e, em alguns casos, a utilização de camadas de transição e/ou geotêxteis nas zonas de interface.

▪ ***Controle de Qualidade e Monitoramento Durante a Implantação***

Durante toda a fase de implantação do paramento de estéril, serão implementadas rigorosas medidas de controle de qualidade e monitoramento para garantir a conformidade com o projeto e a eficácia da estrutura:

- Topografia: Levantamentos topográficos contínuos para verificar as cotas, declividades dos taludes, larguras das bermas e volumes dispostos, assegurando a aderência ao projeto geométrico.
- Qualidade do Material: Inspeção visual constante do estéril para garantir que o material utilizado apresentava as características granulométricas e de resistência adequadas, com mínima presença de finos.
- Inspeções Visuais: Equipes de engenharia e topografia realizarão inspeções diárias da frente de serviço, observando a qualidade da disposição, o comportamento dos taludes e a presença de qualquer anomalia.

d) Disposição e Compactação do Rejeito Filtrado

Esta será a operação mais sensível do projeto. A técnica de rejeito compactado é fundamental para a estabilidade geotécnica da estrutura, permitindo a consolidação eficiente do material, a minimização de pressões hidrostáticas excessivas e o aproveitamento otimizado do espaço, ao mesmo tempo em que reduz o potencial de liquefação e outras falhas.

▪ ***Caracterização e Preparação do Rejeito***

Antes da disposição em campo, o rejeito destinado à compactação deverá passar por um rigoroso processo de caracterização. Essa etapa incluiu:

- Ensaios de Granulometria: Confirmação da distribuição granulométrica do rejeito para assegurar que se enquadrava nas especificações de projeto para compactação.
- Determinação da Umidade Ótima e Densidade Máxima: Realização de ensaios Proctor Normal para identificar a umidade ótima e a densidade máxima de campo do rejeito, parâmetros cruciais para o controle da compactação.
- Teor de Sólidos: Monitoramento contínuo do teor de sólidos do rejeito para garantir a consistência do material a ser transportado e compactado.

Rejeito transportado por caminhões basculantes até a área de disposição, sendo submetido a um processo de condicionamento prévio, se necessário, para atingir a umidade adequada para compactação.

▪ ***Espalhamento em Camadas Finas***

Rejeito espalhado por tratores de esteira em camadas horizontais de espessura controlada. O controle da espessura é fundamental para garantir a eficácia da compactação e o adensamento uniforme do material.

A definição da espessura máxima será realizada após a execução do Aterro Experimental.

▪ ***Controle da Umidade***

Durante o espalhamento, a umidade do rejeito será continuamente monitorada. Quando necessário, serão realizadas operações de umedecimento (com caminhões pipa) ou aeração (com grades ou escarificadores) para ajustar a umidade ao valor ótimo determinado em laboratório, garantindo as condições ideais para a compactação.

Técnica complementar de secagem de rejeitos é apresentada no próximo item.

▪ ***Compactação Mecânica***

A compactação realizada imediatamente após o espalhamento e o ajuste de umidade, utilizando rolos compactadores.

A definição do equipamento de compactação e a quantidade de passadas será realizada após a execução do Aterro Experimental.

▪ ***Critério de Aceitação***

A densidade atingida deve estar entre 88% e 92% do Proctor Padrão. A umidade deve estar na faixa especificada (ramo seco da curva).

▪ ***Controle de Qualidade e Monitoramento Durante a Implantação***

Um rigoroso programa de controle de qualidade e monitoramento será implementado durante toda a fase de disposição do rejeito compactado, incluindo:

- Ensaios de Densidade e Umidade em Campo: Realização contínua de ensaios de cone de areia em cada camada compactada para verificar o grau de compactação e a umidade do material.
- Topografia: Levantamentos topográficos diários para verificar as elevações das camadas, as declividades e a conformação geométrica da PDER, assegurando a aderência ao projeto.
- Monitoramento de Instrumentação Geotécnica: Acompanhamento constante das leituras de piezômetros e inclinômetros instalados no maciço do rejeito. Esses dados são cruciais para avaliar o comportamento do maciço durante o adensamento.
- Inspeções Visuais: Equipes de engenharia e topografia realizarão inspeções rotineiras para identificar e corrigir potenciais não conformidades ou anomalias durante a disposição e compactação.

4.3.8.5 TÉCNICA COMPLEMENTAR: SECAGEM DE REJEITOS POR INSOLAÇÃO

A premissa fundamental da operação da PDER é receber o rejeito filtrado dentro de uma faixa de umidade ótima e restrita, fundamental para garantir o comportamento geotécnico previsto. Contudo, é reconhecido que variações no processo mineral ou na performance da planta de filtragem podem, esporadicamente, gerar um material com umidade ligeiramente acima do limite superior de aceitação ($w > w(\text{ótima})$). A disposição direta deste material "off-spec" na pilha é terminantemente proibida, pois comprometeria a trafegabilidade dos equipamentos, a obtenção do grau de compactação especificado e, em última instância, a segurança da estrutura.

Para gerenciar essa contingência operacional e evitar a interrupção da produção da mina, projeta-se uma área adjacente à pilha, denominada Pátio de Secagem por Insolação. Esta técnica consiste em espalhar o rejeito "off-spec" em camadas finas para promover a secagem evaporativa através da energia solar e do vento, até que o material atinja a umidade de projeto para então ser transportado e incorporado à pilha. Esta é uma medida de contingência, a ser utilizada preferencialmente durante os meses de menor precipitação e maior insolação (estação seca).

a) Metodologia de Execução

▪ ***Pátio de Secagem***

O Pátio de Secagem será uma área terraplenada com uma leve inclinação de 1% para garantir a drenagem superficial e evitar empoçamentos. Um sistema de valetas perimetrais deve garantir que toda a água de escoamento seja captada e direcionada para o sistema de tratamento de águas do complexo.

▪ ***Espalhamento***

O rejeito com umidade excedente será transportado ao pátio e espalhado por um trator de esteira de baixa pressão em camadas finas, com espessura máxima de 20 cm. Camadas mais espessas criam um "selo"

superficial úmido que impede a evaporação da água das porções inferiores, tornando o processo ineficiente.

- ***Revolvimento (Opcional)***

Para acelerar o processo em dias de alta evaporação e baixa umidade relativa, a camada de rejeito pode ser revolvida com uma grade de discos agrícolas leves, acoplada a um trator. Esta operação deve ser realizada após a formação de uma crosta superficial seca (tipicamente após 1 a 2 dias de exposição), quebrando-a e expondo o material mais úmido de baixo.

- ***Tempo de Residência e Remoção***

O tempo necessário para a secagem é uma função direta das condições climáticas. A equipe de CQC deve monitorar a umidade diariamente. Uma vez que os ensaios indiquem que a umidade média da camada atingiu a faixa de aceitação, a camada é considerada "liberada".

b) Fatores que influenciam a Eficiência da Secagem

- ***Insolação (Radiação Solar)***

Fator principal. A taxa de evaporação é diretamente proporcional à energia solar incidente.

- ***Temperatura do Ar e do Rejeito***

Aumenta a pressão de vapor da água, acelerando a evaporação. A cor escura do rejeito de minério de ferro auxilia na absorção de calor.

- ***Umidade Relativa do Ar***

Quanto menor a umidade relativa, maior o gradiente de pressão de vapor entre o rejeito e o ar, e mais rápida a secagem.

- **Velocidade do Vento**

O vento remove a camada de ar saturado de vapor que se forma junto à superfície do rejeito, mantendo o gradiente e acelerando a evaporação.

c) Controle de Qualidade (CQC) no Pátio de Secagem

- **Monitoramento**

A umidade das camadas no pátio deve ser monitorada duas vezes ao dia (início e fim do turno) através de ensaios expeditos (Speedy Test ou balança de umidade por micro-ondas).

- **Critério de Liberação**

Uma camada de rejeito no pátio de secagem é considerada "aprovada" e pronta para ser removida quando a média de pelo menos 5 amostras coletadas em pontos distintos da camada indicar uma umidade dentro da faixa de aceitação do projeto ($w_{(ótima)} - 3\% \leq w \leq w_{(ótima)}$).

d) Riscos e Medidas de Mitigação

- **Geração de Poeira**

À medida que o material seca, pode se tornar suscetível à erosão eólica. O pátio deve ser equipado com um sistema de aspersão de água (neblina) para umedecer levemente a superfície e controlar a poeira, sem comprometer o processo de secagem. O uso de polímeros supressores de poeira misturados à água de aspersão é recomendado.

- **Reumedecimento por Chuva**

O pátio deve possuir um sistema de drenagem eficiente. Em caso de previsão de chuva, o material já seco deve ser removido prioritariamente e disposto na pilha, ou coberto com lonas plásticas, se viável. O material que for reumedecido pela chuva reinicia seu ciclo de secagem, e a água coletada é direcionada ao sistema de tratamento.

4.3.8.6 FICHA TÉCNICA DA PILHA DE ESTÉRIL/REJEITO

4.3.8.6.1. FICHA TÉCNICA DA PILHA DE ESTÉRIL E REJEITO SUL – PDER SUL

A seguir apresenta-se, em sumário, a Ficha Técnica da PDER Sul:

Tabela 15 - Ficha Técnica da Pilha de Estéril e Rejeito Sul – PDER Sul.

Parâmetro	Unidade	Valor
Coordenadas Centrais		
Datum	SIRGAS 2000, Zona 23S	
Coordenadas E	m	611.282
Coordenadas N	m	7.807.6310
Material Disposto		
Material	Estéril e rejeito	
Geometria		
Elevação máxima	m	1.320
Elevação mínima	m	1.130
Altura	m	190
Volume	Mm³	10,9
Área	ha	39
Capacidade específica	Mm³/ha	0,28
Ângulo geral	°	19
Altura típica dos bancos	m	10
Ângulo individual típico	°	27
Berma típica	m	10
Largura típica de rampa	m	10
Inclinação rampas	%	12
Drenagem superficial		
Concepção	Direcionamento por controle topográfico por canaletas até canais periféricos nas ombreiras direita e esquerda.	
Gestão de sedimentos	Sump de contenção de sedimentos à jusante e em fases avançadas, direcionada à cava.	
Drenagem interna		
Concepção	Coleta em drenos internos construídos em brita e areia.	
Descarga	E: 610.920,115 m N: 7.759.755,213 m Elev.: 1.184,00 m E: 611.454,975 m N: 7.759.749,738 m Elev.: 1.267,00 m	
Estabilidade		
Padrão	ABNT NBR 13.029/2024	
Ruptura global	1.819 > 1.50 OK	

Parâmetro	Unidade	Valor
Ruptura entre bermas	1.763 > 1.30 OK	
Investigações Geotécnicas		
Campanha	Domus Engenharia	
	Julho a Novembro de 2022	
	7 sondagens mistas 247,25 m DMGEO	
	Maio a Julho de 2025	
	4 Sondagens mistas 170,00 m	
Monitoramento da Fundação		
Piezômetros	13	
Medidores de Nível d'Água	1	
Instrumentação Programada		
Piezômetros	19	
Medidores de Nível d'Água	9	
Inclinômetros	6	
Medidores de Vazão	2	

4.3.8.6.2. FICHA TÉCNICA DA PILHA DE ESTÉRIL E REJEITO NORTE – PDER NORTE

A seguir apresenta-se, em sumário, a Ficha Técnica da PDER Norte:

Tabela 16 - Ficha Técnica da Pilha de Estéril e Rejeito Norte – PDER Norte.

Parâmetro	Unidade	Valor
Coordenadas Centrais		
Datum	SIRGAS 2000, Zona 23S	
Coordenadas E	m	611.000,00
Coordenadas N	m	7.761.000,00
Material Disposto		
Material	Estéril e rejeito	
Geometria		
Elevação máxima	m	1.370,00
Elevação mínima	m	1.220,00
Altura	m	150,00
Volume	Mm³	11,2
Área	ha	34,0
Capacidade específica	Mm³/ha	0,33
Ângulo geral	°	19
Altura típica dos bancos	m	10
Ângulo individual típico	°	27
Berma típica	m	10

Parâmetro	Unidade	Valor
Largura típica de rampa	m	10
Inclinação rampas	%	12
Drenagem superficial		
Concepção	Direcionamento por controle topográfico por canaletas até canais periféricos nas ombreiras direita e esquerda.	
Gestão de sedimentos	Sump de contenção de sedimentos à jusante e em fases avançadas, direcionada à cava.	
Drenagem interna		
Concepção	Coleta em drenos internos construídos em brita e areia.	
Descarga	E: 611.127,98 m N: 7.760.626,37 m Elev.: 1.220,00 m	
Estabilidade		
Padrão	ABNT NBR 13.029/2024	
Ruptura global	1,786 > 1.50 OK	
Ruptura entre bermas	1,710 > 1.30 OK	
Investigações Geotécnicas		
Campanha	Domus Engenharia	
	7 sondagens mistas 247,25 m	
	DMGEO	
	Julho de 2025	
	10 Sondagens a percussão 118,91 m	
Monitoramento da Fundação		
Piezômetros	18	
Instrumentação Programada		
Piezômetros	16	
Medidores de Nível d'Água	8	
Inclinômetros	6	
Medidores de Vazão	1	

4.3.8.7 ESTUDOS

4.3.8.7.1. ESTUDOS LOCACIONAIS

No contexto do empreendimento em questão, as opções locais das pilhas foram submetidas a um extenso e rigoroso processo de avaliação pela empresa responsável. Durante esses estudos, foram exaustivamente analisadas diversas alternativas disponíveis para a disposição adequada do material estéril e dos rejeitos gerados ao longo do processo de lavra da Cava A.

A principal conclusão desses estudos demonstrou que as áreas designadas para as pilhas já se encontram impactadas por processos de erosão

do solo, caracterizada pela presença de grandes ravinas e sulcos profundos. Essa condição, que já reflete uma área antropizada, é um fator determinante.

Essa escolha não só minimiza a necessidade de intervenção em novas áreas virgens, resultando em menor impacto ambiental geral, mas também se mostra a mais eficiente do ponto de vista técnico e operacional.

Além dos benefícios fundamentais, a seleção das áreas das pilhas apresenta uma série de vantagens complementares que reforçam sua escolha:

- **Infraestrutura de Acessos Existente:** As áreas já dispõem de acessos previamente estabelecidos, o que reduz substancialmente a necessidade de construção de novas vias extensas. Haverá apenas a necessidade de estender os acessos existentes para as pilhas, otimizando o planejamento e os custos de infraestrutura.
- **Propriedade das Áreas:** Os terrenos destinados à implantação das pilhas já são de propriedade da empresa titular do empreendimento. Isso elimina custos e demora associados à aquisição de novas terras, simplificando o processo de licenciamento e implantação.
- **Proximidade com a Cava A:** A localização estratégica das pilhas, próximas à Cava A, a fonte geradora do estéril, resulta em uma significativa diminuição das distâncias de transporte do material, o que se traduz em menor consumo de combustível, menor desgaste de equipamentos, redução de emissões e otimização do tempo operacional.

Diante do exposto, e considerando a análise de alternativas realizada e as vantagens intrínsecas das áreas escolhidas, fica evidente que a análise de alternativas locacionais, neste caso específico, encontra-se superada. A opção pelas áreas das pilhas representa a solução mais robusta, técnica e ambientalmente responsável para a disposição dos materiais.

4.3.8.7.2. ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

a) CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

I. Contexto Geológico e Geomorfológico

A Herculano situa-se na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero, região constituída essencialmente por rochas inseridas nos Supergrupos Rio das Velhas (arqueano), sobreposto a granitos arqueanos, e sotoposto ao Supergrupo Minas (paleoproterozoico). Este último é composto pelos grupos Caraça, Itabira e Piracicaba, sendo o termo intermediário aquele que encerra as formações ferríferas bandadas (itabiritos) e hematitas que conferem grande potencial econômico à região e sustentam as principais minas desse bem mineral no Estado.

Situa-se em um compartimento estrutural denominado Sinclinal Gandarela, que conforma as sequências metassedimentares clásticas e químicas do Supergrupo Minas em uma grande estrutura dobrada, com flanco oeste normal e flanco leste invertido, com eixo submeridiano, em decorrência da tectônica brasileira, que produziu, além das dobras, em diferentes escalas, falhamentos inversos e cavalgamentos vergentes para oeste, também responsáveis por processos de enriquecimento hipogênico dos minérios de ferros deste setor do Quadrilátero Ferrífero.

Mais especificamente, a Herculano situa-se na unidade geomorfológica designada como Platô do Sinclinal Moeda (APA SUL- 2005), descrito a seguir.

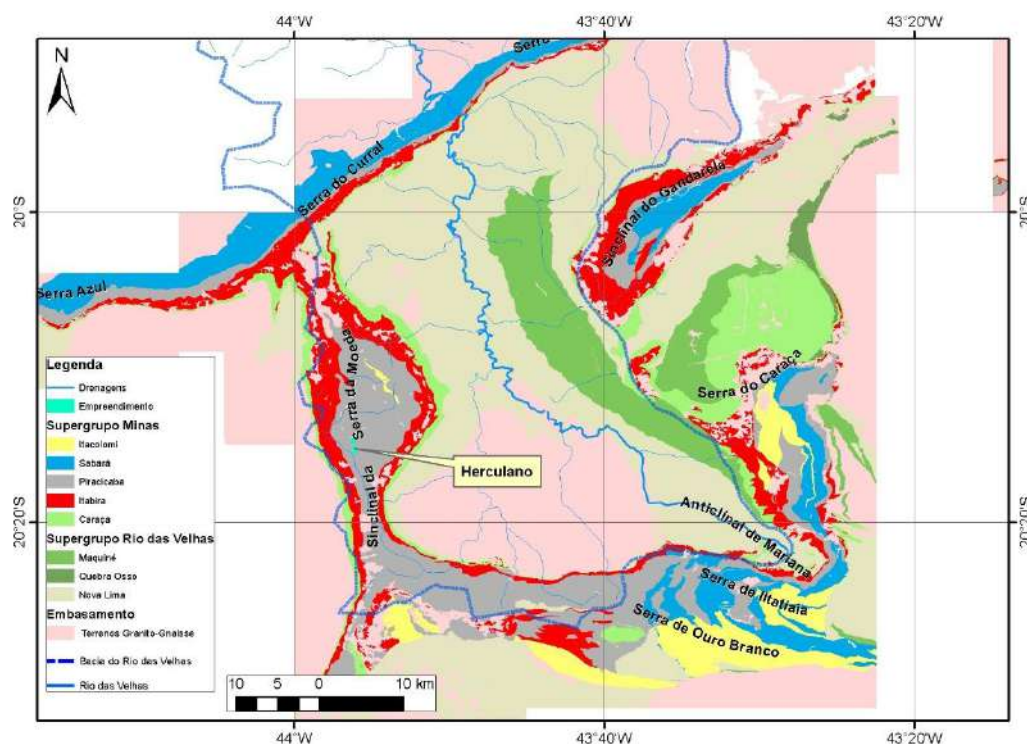


Figura 69 – Contexto geográfico, na bacia do Alto Rio das Velhas e geológico do empreendimento da Herculano Mineração, na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero.



Figura 70 – Vista do Quadrilátero Ferrífero em imagem do satélite Landsat 7, destacando-se a localização do empreendimento da Herculano no Platô do Sinclinal Moeda.

O Platô da sinclinal Moeda consiste em uma extensa superfície suspensa, disposta na direção norte-sul e exibe uma configuração morfológica que pode ser subdividida em duas unidades: as abas externas e o platô do interior da sinclinal.

Essas abas da sinclinal estão alçadas a altitudes que variam entre 1.500 e 1.600 m e são sustentadas por quartzitos da Formação Moeda (Grupo Caraça) e itabiritos da Formação Cauê (Grupo Itabira).

No topo das abas, notam-se cristas ou platôs, estes muitas vezes capeados por canga, atingindo larguras entre 500 e 1.300 m. As abas da sinclinal ressaltam topograficamente por erosão diferencial e estão delimitadas por escarpamentos abruptos que apresentam amplitudes de relevo muito elevadas, invariavelmente, superiores a 400 m, com vertentes muito íngremes e paredões rochosos.

Essas feições de relevo recebem denominação local de serra da Moeda (borda Oeste) e serra de Itabirito (borda Leste), representando os relevos mais elevados da unidade.

Entre o topo das abas da sinclinal, capeadas por canga, e o interior colinoso do platô, observa-se um degrau de 100 a 150 m de desnivelamento e 30 a 50° de declividade, sendo que na base foram depositadas extensas rampas de colúvio em ambos os flancos internos da sinclinal.

O relevo colinoso do platô caracteriza-se por colinas amplas e suaves de geometria convexa e topos arredondados a aplainados, com pouca sedimentação aluvial, apresentando altitudes entre 1200 e 1300 m. O intervalo de desnivelamento varia de 40 a 80 m, com declividades entre 5 e 15°. Este relevo apresenta uma densidade de drenagem média, com padrão dendrítico.

O interior da sinclinal é ocupado por xistos e filitos do Grupo Piracicaba, onde o pediplano pliocênico apresenta sua área de melhor conservação devido à proteção dada pelos “hogbacks” quartzíticos e itabiríticos.

A rede de drenagem, anteriormente fechada (padrão endorreico) pode ter sido recentemente aberta ao exorreísmo (Fechos, Capitão da Mata, Mata-Porcos). Talvez por isso, as rampas de colúvio puderam se desenvolver de forma

extensa, constituindo áreas de relevo suave, às vezes quase planas, em área de relevo movimentado.

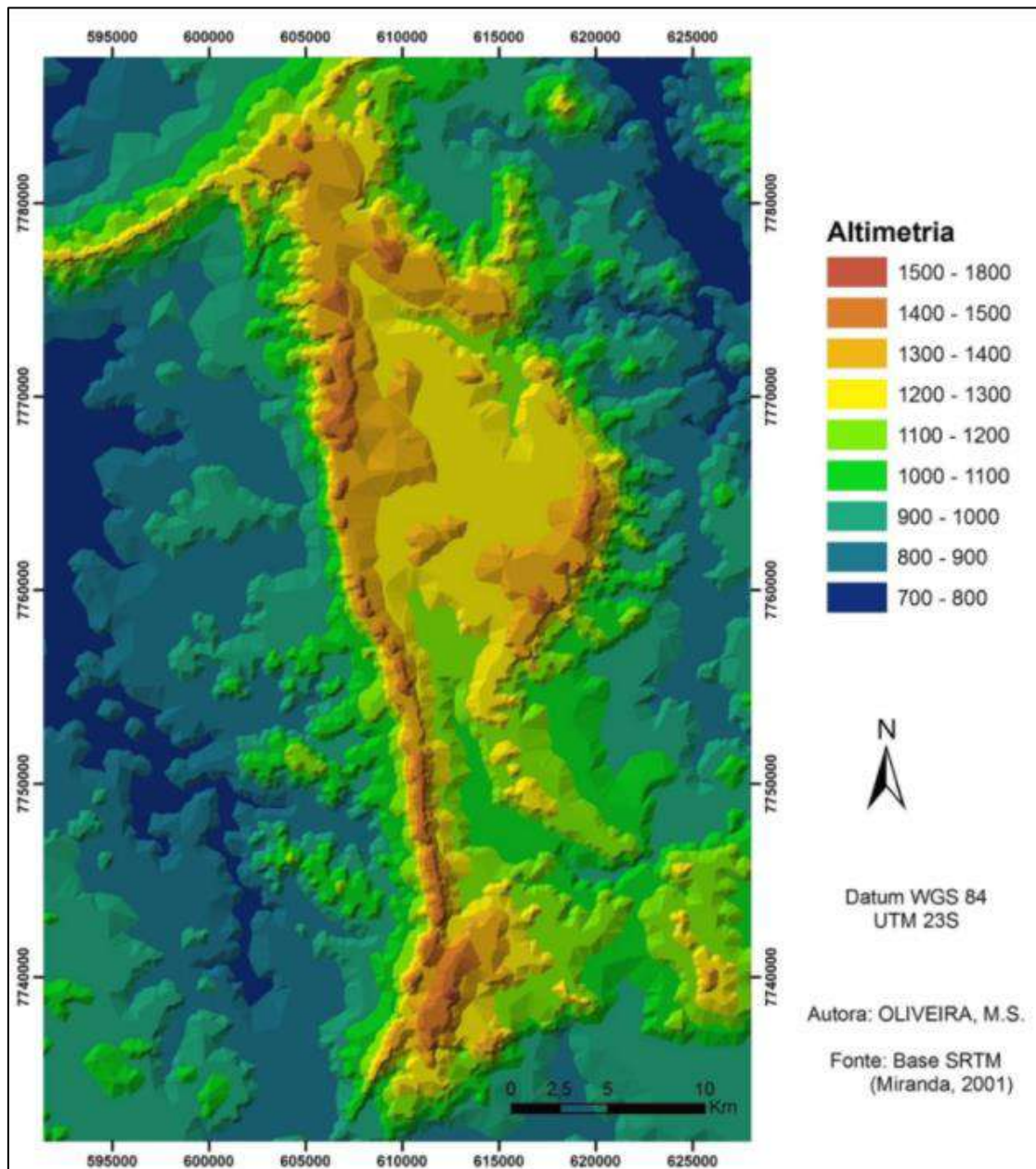


Figura 71 – Mapa Hipsométrico do Sinclinal Moeda extraído de Oliveira (2012).

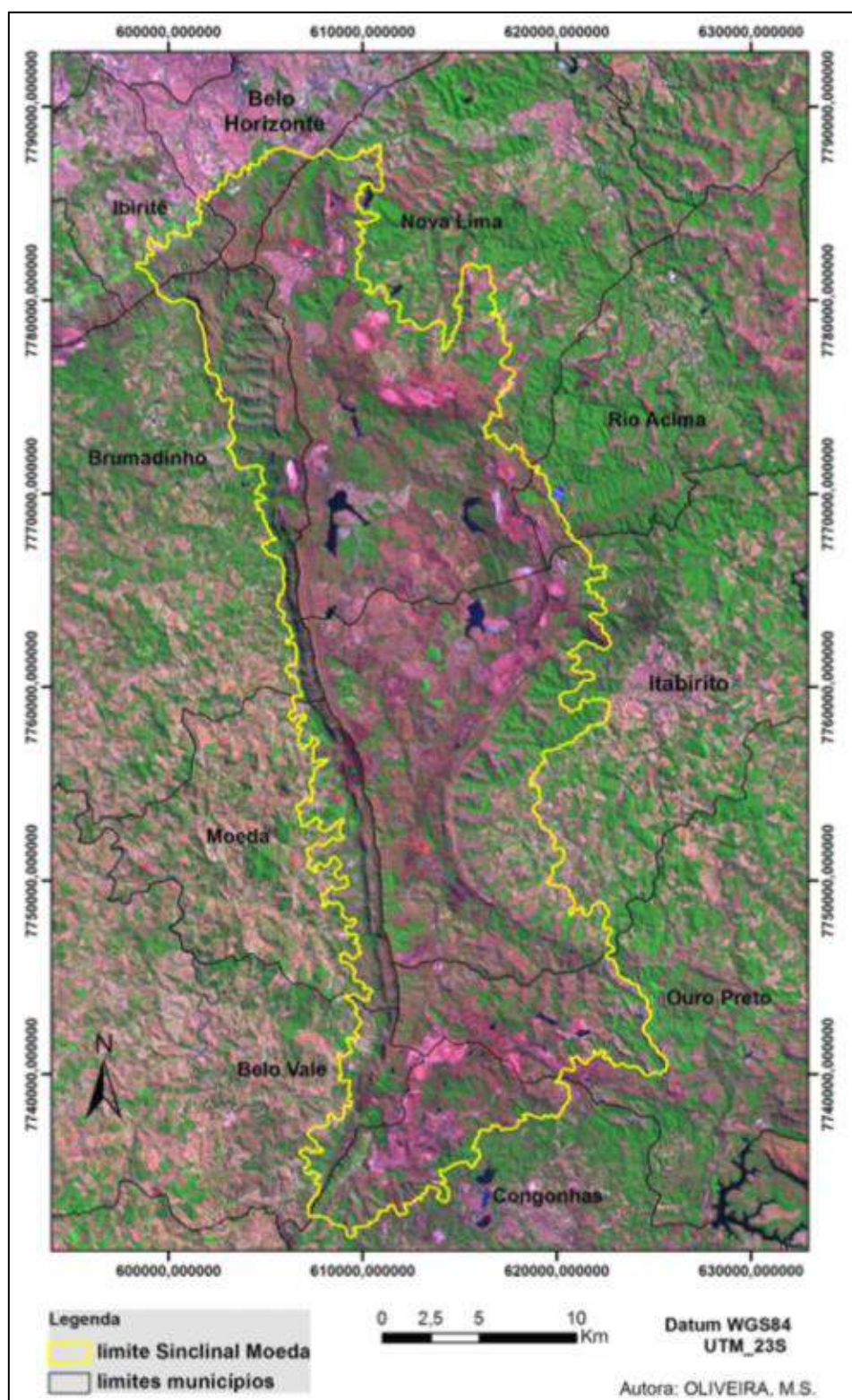


Figura 72 – Vista do Sinclinal Moeda em imagem de satélite Landsat -5 TM composição colorida RGB-743 para o ano de 2011, extraído de Oliveira (2012).

II. Geologia Estrutural

O Sinclinal Moeda, segundo Silva & Gomes (2001) engloba praticamente todas as unidades litoestratigráficas do Quadrilátero Ferrífero e faz contanto com o Complexo Metamórfico Bonfim a oeste, e com o Complexo Metamórfico do Bação, a leste. Estende-se por cerca de 40 km, com flanco normal (oeste) de direção N-S e flanco invertido a leste de orientação NW-SE (setor sul), N-S (setor central) e NE-SW (setor norte).

A tectônica que envolve o Sinclinal Moeda apresenta grande controvérsia no que se refere a sua evolução. Sua gênese estaria relacionada a todas as fases da história evolutiva do Quadrilátero Ferrífero, abrangendo o desenvolvimento dos complexos metamórficos, formação e deformação da Bacia Minas (Silva & Gomes, 2001).

Dentro dos “complexos metamórficos” (Dorr, 1969; Herz, 1970) incluem-se os domos granito/gnáissicos e sequências supracrustais metavulcanosedimentares do Supergrupo Rio das Velhas. De forma discordante estas unidades encontram-se sobrepostas pelas sequências metassedimentares dos Supergrupo Minas.

Nos estudos precursores das estruturas condicionadoras deste contexto litológico Guimarães (1966), Ladeira (1980), Drake & Morgan (1980) e Gomes (1985, 1986) descreveram zonas de cisalhamento nas bordas dos complexos metamórficos conduziram a interpretação destes como o embasamento local (Harder & Chamberlain, 1915).

Até a década de 80 a tectônica do Quadrilátero Ferrífero era considerada como de caráter compressivo indicando em seu setor centro-sul (Complexo do Bação) uma tectônica vertical de blocos (Ladeira, op cit; Drake & Morgan, op cit; Gomes, 1986; Alkmin et al, 1988). Alkmin & Marshak (1989) propõem então uma deformação de caráter distensivo aceita desde então (Chemale Jr. et al., 1991; 1994; Marshak et al., 1992; 1997; Renger et al., 1994; Machado et al., 1996; Endo, 1997).

Introduz-se então o conceito da Bacia Minas como uma fossa tectônica hospedeira da Sequência Minas. Sua posterior deformação resultou na megaestrutura dobrada do Quadrilátero Ferrífero definindo-o como uma

província do tipo “Dome and Keel” sustentados por zonas de cisalhamento de alto ângulo (Marshak et al., 1992; 1997). Ou fraturamentos crustais (NE-SW, N-S e NW-SE) em sucessivos processos de reativação, promovendo a formação dos domos gnáissicos por processos de soerguimento e abatimento relativo dos blocos do embasamento (Endo, 1997).

A área em estudo encontra-se inserida no flanco leste da serra, no setor central. No flanco leste da megaestrutura registra-se uma forte variação de mergulho de foliação, de alto ângulo na porção norte a mergulhos médios (entre 40° e 45°).

III. Geologia Local

Neste capítulo serão abordadas todas as características litoestratigráficas da mineralização existente na área alvo da reavaliação de reservas. Esta caracterização baseia-se nos dados obtidos no levantamento de detalhe da área, em dados de imageamento e na interpretação das informações de sondagem realizadas.

Conforme as bases cartográficas existentes e consultadas a área do presente processo encontra-se inserida nos domínios das litologias do Grupo Piracicaba, mais especificamente aquelas associadas as Formações Cercadinho e Fecho do Funil.

Característica comum a estas unidades é sua descontinuidade lateral, passando bruscamente de uma litologia para outra. O mapeamento das poligonais além das informações diretas (contatos de superfície), contou com auxílio de dados sondagem e interpretações geofísicas.

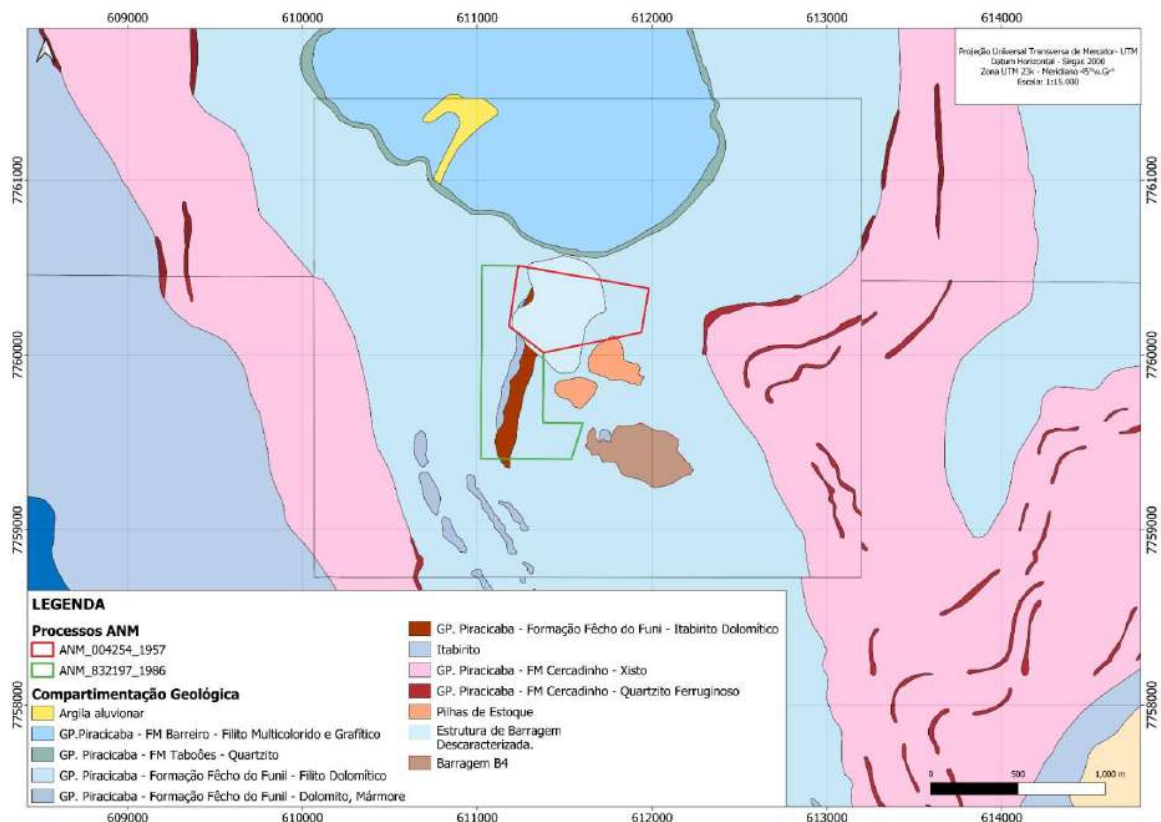


Figura 73 – Compartimentação geológica dos processos ANM nº 004.254/1957 – nº 832.197/1986.

- Formação Cercadinho

A Formação Cercadinho apresenta-se na região como uma associação de filito prateado, quartzito e quartzito ferruginoso. Esta unidade apresenta-se ao longo da extensão leste da poligonal.

Possui configuração em um sinclinal vergente para NW, apresentando amplas distribuições de filito prateado, com lentes intercaladas de quartzito e quartzito ferruginoso.

O filito prateado ocorre principalmente em pacotes contínuos e por vezes em intercalações com quartzito e quartzito ferruginoso. Possui coloração cinza claro, e composição mineral formada por sericita, cianita e quartzo. O quartzito ferruginoso com granulação que varia de média a grossa, com níveis ferruginosos distintos por concentrações de magnetita. O quartzito possui granulação fina e intercalações de lâmina sericítica. Por vezes podem ocorrer intercalações de filito manganesífero.

- Formação Fecho do Funil

A Formação Fecho do Funil é representada localmente por associações de filito dolomítico, dolomito, itabirito dolomítico, itabirito silicoso compacto, semi compacto e friável.

A unidade em sua maior expressão corresponde a pacotes espessos de filito dolomítico com intercalações subordinadas de dolomito e itabirito, em lentes descontínuas orientadas conforme a foliação regional. O filito apresenta-se com elevado grau de alteração, encontrando-se com elevado manto de intemperismo, cascalheiras resultantes do desmonte de venulações de quartzo, coloração variegada e alta incidência de ravinamentos devido a elevada friabilidade do material.

O dolomito ocorre em lentes descontínuas de pronunciada espessura, alternando nos horizontes superiores como um perfil de alteração pronunciado, representado pela alteração significativa da rocha para argila e bolsões manganésíferos altamente erodíveis. Ultrapassado este manto de intemperismo observa-se dolomito e brecha dolomítica com perfil ruiforme com coloração variando de cinza a branco, e presença de foliação marcada por leitos de sericita.

O itabirito apresenta-se como rochas compactas a semi compactas, com horizontes superficiais de itabirito friável resultante da alteração intempérica da rocha. São itabiritos de teor de sílica (da ordem de 30%) mais elevado composto por faixas e lentes métricas de sílica. Podem apresentar faixas restritas ricas em manganês, alternando para lentes de itabirito a hematita pulverulenta.

Seu teor mais reduzido de ferro (média de 35%) e presença de magnetita, argilo-minerais e reduzida hematita é indicativo de possível sedimentação em ambiente redutor que em estágio avançado de alteração promove o empobrecimento em ferro da rocha.

Ocorre de forma pouco recorrente lentes de hematita compacta intercaladas ao itabirito compacto. A hematita compacta possui granulação fina, textura bandada, definida por alternância de bandas cinza-claro a cinza escura. É composta predominantemente por hematita e subordinada por magnetita e

quartzo remobilizado, que localmente apresenta-se a migração e deposição do ferro na superfície devido aos processos supergênicos incidentes.

Nas porções superiores o itabirito possui maior grau de alteração intempérica, passando de itabirito semicompacto a itabirito friável em direção a superfície. Seu posicionamento geralmente está associado a zonas de alteração (fraturas ou planos de percolação), ora dispersos em meio aos corpos de itabirito paralelos ao acamamento, em zonas de charneira de dobras e ainda lentes ou camadas centimétricas.

⇒ Aspectos Hidrogeológicos

Para compreender o comportamento hidrogeológico nos domínios do empreendimento da Herculano no local denominado Tanque Seco, foram realizadas análises em diferentes escalas.

Inicialmente, foram avaliadas as condições hidrodinâmicas em escala regional, considerando a inserção do Tanque Seco nos domínios do Quadrilátero Ferrífero, unidade constituída por rochas pré-cambrianas, de arqueanas a proterozoicas, particularmente na aba leste de uma megaestrutura conhecida como Sinclinal Moeda.

Nesta escala, como ressaltado, já podem ser reconhecidos os seus diferentes Sistemas Hidrogeológicos, associados aos tipos litológicos que mais importantes, em face de seu comportamento particular no que tange à capacidade de armazenar e transmitir as águas subterrâneas como, por exemplo, os Sistemas em Rochas Carbonáticas, Sistemas em Rochas Quartzíticas, Sistemas em Rochas Metapelíticas, Sistemas em Rochas Itabiríticas, os Sistemas em Rochas Metabásicas e o Sistemas em Coberturas Sedimentares.

Cada um destes sistemas comporta litologias que tem comportamento hidrogeológico distinto, quanto à sua capacidade de armazenamento e transmissão de águas subterrâneas, ou seja, como aquíferos, aquícludes, aquítares ou aquífugos:

- Aquífero: é um meio rochoso que tem capacidade de armazenar e liberar água, isto é, que possui porosidade e permeabilidade. Exemplo: arenito.

- Aquiclude: é um meio rochoso que embora possa armazenar água, não a libera, isto é, possui porosidade, mas é impermeável. Exemplo: argilito.
- Aquitarde: é um meio rochoso que armazena água, porém a libera muito lentamente, isto é, possui porosidade e permeabilidade baixas. Exemplo: um arenito com matriz argilosa.
- Aquífugo: é um meio que não armazena nem libera a água, isto é, não possui nem porosidade nem permeabilidade. Exemplo: um maciço de rocha cristalina sem fraturas.

Desempenham papéis de suma importância as estruturas tectônicas mais antigas, associadas aos dobramentos e falhamentos pré-cambrianos, bem como aquelas mais recentes, de idade mesozoicas e cenozoicas. Tais estruturas condicionam, juntamente com as variações litológicas, as principais direções de fluxos das águas subterrâneas, bem como são responsáveis pela conexão de domínios hidrogeológicos distintos.

Assim, serão descritos a seguir os Sistemas e Unidades Hidrogeológicas que ocorrem no Quadrilátero Ferrífero, de acordo com Mourão (2007) e demais autores.

⇒ **Sistemas e Unidades Hidrogeológicas do Sinclinal Moeda – Quadrilátero Ferrífero**

O Sinclinal Moeda é caracterizado hidrogeologicamente por uma sucessão de aquíferos com características variadas, os quais se encontram intercalados por aquicludes típicos.

Da base para o topo da sequência estratigráfica, são reconhecidas as seguintes unidades hidrogeológicas:

- Aquífero Moeda;
- Aquiclude Batatal;
- Aquífero Cauê;
- Aquífero Gandarela;
- Aquífero Cercadinho;
- Aquiclude Fecho do Funil;

- Aquífero Taboões;
- Aquiclude Barreiro;
- Aquíferos relacionados a sedimentos recentes.

Os diferentes aquíferos e aquicludes, que caracterizam as unidades hidrogeológicas, são agrupados em sistemas hidrogeológicos, considerando-se o caráter litológico predominante, o comportamento hidrodinâmico e os tipos de permeabilidade (primária e secundária). Esta classificação segue os padrões e premissas apresentados por BEATO et al. (2005) e MOURÃO (2007) para áreas similares no Quadrilátero Ferrífero.

Além disso, se baseia na definição de REBOUÇAS (1994) e SOUZA (1995), que utilizaram a denominação Sistema Aquífero para um conjunto formado por uma ou mais unidades litoestratigráficas que apresentam condutividade hidráulica, características hidrodinâmicas, condições de recarga, circulação e descarga, e de qualidade das águas relativamente semelhantes.

SOUZA (op. cit.) ainda emprega o termo Unidade Aquífera para caracterizar a ocorrência de um ou mais tipos predominantes de rocha portadora de água, associado a uma unidade geológica específica. Neste estudo é considerado o termo Unidade Hidrogeológica, que se presta tanto para aquíferos como para aquitardos e/ou aquicludes.

Os aquicludes são representados pela ocorrência de rochas pelíticas (aquicludes Batatal, Fecho do Funil e Barreiro) e por rochas intrusivas básicas (aquicludes em Rochas Básicas). Os aquíferos são representados pelos xistos (Nova Lima), rochas quartzíticas (Moeda, Cercadinho, Taboões, Itacolomi), formações ferríferas (Cauê), rochas carbonáticas (Gandarela), e, depósitos de cobertura (aluviões e cangas).

Na tabela a seguir apresenta-se as espessuras médias e os intervalos dos valores típicos de condutividade hidráulica, K (cm/s), para as unidades hidrogeológicas estabelecidas na área de interesse.

Tabela 17 – Principais sistemas hidrogeológicos do Sinclinal Moeda, respectivas unidades, com espessuras e valores típicos de condutividade hidráulica.

Sistema Hidrogeológico	Unidades Hidrogeológicas	Espessuras Médias (m)	Intervalos dos Valores Típicos de Condutividade Hidráulica, K(cm/s)
em Coberturas Sedimentares	Aquífero em Aluviões	~ 50	$5,0 \times 10^{-04}$ a $5,0 \times 10^{-02}$
	Aquífero em Cangas	~ 20	
em Rochas Metabásicas	Aquicludes em Metabásicas	~ 5	$5,0 \times 10^{-08}$ a $5,0 \times 10^{-06}$
	Aquiclude Barreiro	20 a 80	
em Rochas Metapelíticas	Aquiclude Fecho do Funil	~ 300	$1,0 \times 10^{-08}$ a $1,0 \times 10^{-06}$
	Aquiclude Moeda (Filitos)	~ 100	
	Aquiclude Batatal	~ 150	
em Rochas Carbonáticas	Aquífero Gandarela	~ 800	$1,0 \times 10^{-06}$ a $1,0 \times 10^{-04}$
em Formações Ferríferas	Aquífero Cauê	750 a 1.750	$1,0 \times 10^{-04}$ a $1,0 \times 10^{-02}$
	Aquífero Itacolomi	250 a 400	
em Rochas Quartzíticas	Aquífero Taboões	~ 75	$1,0 \times 10^{-05}$ a $1,0 \times 10^{-03}$
	Aquífero Cercadinho	~ 1.200	
	Aquífero Moeda (Quartzitos)	~ 500	

Nota: Classificação segundo BEATO et al. (2005) e MOURÃO (2007).

• Dinâmica Hídrica nos Domínios do Platô do Sinclinal Moeda

Quando se considera na análise hidrogeológica o enfoque sobre um determinado setor do Sinclinal Moeda, particularmente, o setor central desta estrutura, onde se desenvolveu a unidade geomorfológica do Platô, e o foco não se restringe ao comportamento do melhor aquífero, que são as formações ferríferas, e sim sobre o comportamento das demais formações geológicas, alguns aspectos particulares são evidenciados.

Um dos aspectos mais importantes diz respeito à existência de ampla área de ocorrência de litologias do Grupo Piracicaba nesta porção do sinclinal, e entre elas os aquíferos quartzíticos da Formação Cercadinho, os aquícludes pelíticos da Formação Fecho do Funil, bem como as rochas carbonáticas associadas a esta última unidade, cujo comportamento hidrogeológico é fortemente dependente das estruturas tectônicas e do desenvolvimento de feições endocársticas.

As zonas de recargas estão concentradas nas porções periféricas associadas aos terrenos mais elevados, tanto a leste quanto a oeste na estrutura sinclinal onde estão presentes os sistemas aquíferos em itabiritos, dolomitos e

quartzitos, associados às formações Cauê, Gandarela e Moeda, respectivamente, controladas pelas estruturas dos pacotes rochosos, com mergulhos acentuados em direção à zona de charneira da dobra.

Ao mesmo tempo, nos horizontes superficiais, onde ocorrem depósitos detrítico-lateríticos e solos bem desenvolvidos, a dinâmica das águas subterrâneas também é influenciada por fluxos sub-horizontais nos aquíferos granulares que se formam no manto de intemperismo.

Exercem um papel preponderante neste sistema as rochas calcárias associadas à Formação Fecho do Funil, em função de estarem associadas a um sistema endocárstico relativamente bem desenvolvido, porém, pouco conhecido em termos geológicos e, desta forma, incluindo feições capazes de influenciar fortemente a dinâmica das águas subterrâneas, criando condições de armazenamento e caminhos de fluxo de difícil previsibilidade.

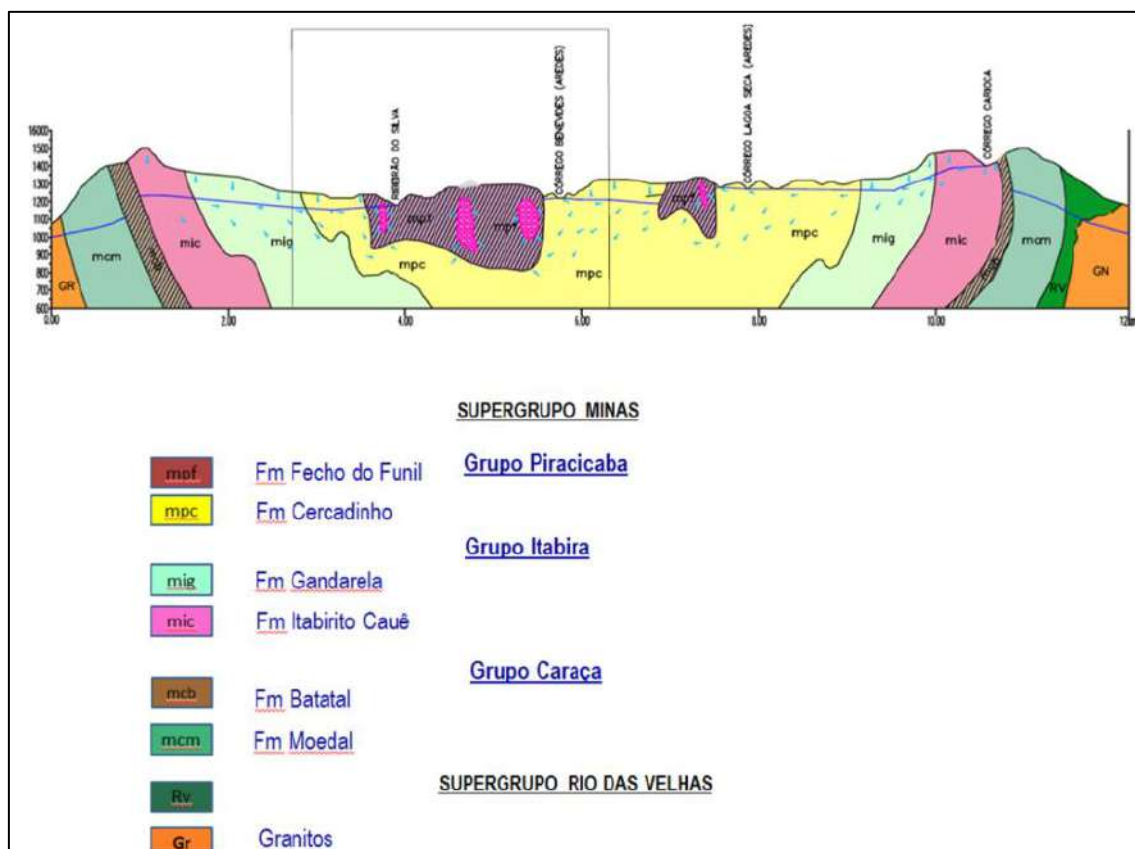


Figura 74 – Seção transversal ao Sinclinal Moeda.

Observa-se que as litologias metassedimentares clásticas e químicas dos Supergrupo Minas delineiam a estrutura dobrada, destacando-se a porção central do sinclinal, onde afloram as litologias do Grupo Piracicaba, particularmente as formações Cercadinho e Fecho do Funil, porção onde se situa o local denominado Tanque Seco, local de parte do empreendimento da Herculano Mineração.

• Constituição e Geometria dos litotipos da Área

Como pode ser visualizado na figura a seguir as unidades geológicas estão dispostas como faixas NW-SE cortadas por um conjunto de falhas inversas de direção NWSE, NS, e aproximadamente E-W.

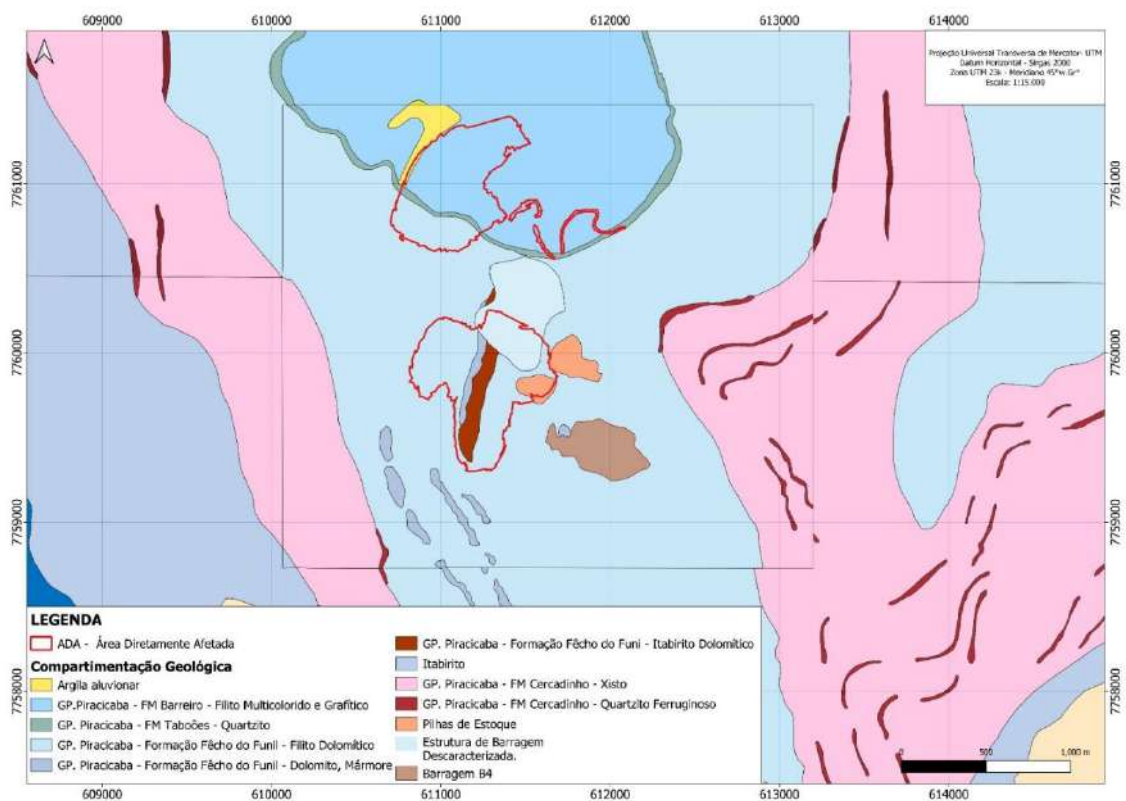


Figura 75 – Mapa geológico da região do Tanque Seco, onde está inserido o empreendimento.

Observa-se uma descontinuidade das faixas na porção central do mapa e formas curvas no quadrante nordeste.

Eixos de sinclinais e anticlinais são sinalizados paralelos ou oblíquos a direção das camadas. Sobre elas estão coberturas cenozoicas, que ocupam grande parte da porção sul e nordeste do mapa.

Diques de espessura aparente de 20-50 metros cortam as unidades nas direções NE-SW, NW-SE e E-W.

A cobertura por pilhas, barragens, instalações e estradas dificulta o mapeamento da área do Platô Herculano, sendo os contatos expostos no mapa, em sua grande parte, interpretados e não cartografado.

A Formação Cercadinho aflora nas porções leste e oeste da área sendo composta essencialmente por filito prateado, quartzito; quartzito ferruginoso.

A Formação Fecho do Funil é composta pelos litotipos filito dolomítico e argiloso, metarritmito multicolorido; mármore castanho a vermelho de granulação fina a grossa; brechas dolomíticas e itabiritos.

No mármore ocorre de forma intercalada uma rocha bastante foliada, composta de manganês, ferro, sílica e algum carbonato (calcita). Essa rocha apresenta horizontes muito porosos e friáveis.

As brechas que estão em contato com o mármore podem representar uma rocha de matriz dolomítica fina e acinzentada com clastos de carbonatos e quartzo, mal selecionados e sem arredondamento.

Esta brecha a princípio está sendo tratada como de origem sedimentar podendo representar fluxos turbulentos próximos a taludes marinhos durante intensa fase de precipitação química.

Os itabiritos encontrados na região do Platô Herculano afloram na região chamada Mina da Tromba. Ocorrem itabiritos silicosos, itabiritos dolomíticos e itabiritos “impuros”, este último com diversas intercalações de materiais psamo-pelíticos. As relações observadas em campo o colocam em contato direto com os metarritmitos e filitos dolomíticos, deixando dúvida até o momento se estão no topo da formação cercadinho ou na base da formação Fecho do Funil.

Depósitos sedimentares recentes ocorrem por sobre as rochas paleoproterozoicas das Fm. Fecho do Funil e Cercadinho. Conforme interpretado

por Seabra (2015), a partir dos dados de sondagem, nesta região a cobertura representa o preenchimento de bacias e/ou paleodepressões existentes no terreno com fluxo de detritos e lama. O autor ressalta ainda que a associação desses depósitos com os processos de neotectônica devem ser avaliados, uma vez que estão próximos a zonas de cisalhamento antigas que podem ter sido reativadas durante os pulsos tectônicos na Era Cenozoica.

As rochas máficas afloram em diversos pontos na área mapeada e foram encontradas também na sondagem. Esses corpos estão sempre próximos a grandes lineamentos EW e também nos planos de falha NW.

- **Unidades Hidrogeológicas Locais**

Em função do detalhamento geológico realizado na área da mina da Herculano, foi necessário redefinir as unidades hidrogeológicas presentes:

- **Aquífero em rejeito de minério de ferro (barragem de rejeito B4):** Material fino, rico em ferro e argilas. Funciona como um aquífero freático suspenso, poroso e homogêneo. Boa capacidade de recarga. Alcançam espessuras entre 20 e 40 metros.
- **Aquífero em canga:** em geral, constituem aquíferos localizados, descontínuos, livres, anisotrópicos e heterogêneos, com porosidade e permeabilidade primárias maiores nos níveis grosseiros.
- **Aquíferos em depósitos terciários:** Na área de estudo são descritos pelo menos três litotipos: diamictitos, arenitos argilosos e argilitos, os quais apresentam potencial hidrogeológico associado à espessura e continuidade lateral dos pacotes sedimentares.

Em geral, constituem aquíferos localizados, descontínuos, livres, anisotrópicos e heterogêneos, com porosidade e permeabilidade primárias maiores nos níveis arenosos e grosseiros. Os níveis argilosos funcionam com camadas impermeáveis que podem compartimentar as zonas aquíferas.

❖ **Aquíferos em Rochas Carbonáticas**

Reúne os litotipos ricos em minerais carbonáticos que ocorrem intercalados. São mármore avermelhados com camadas delgadas ricas em quartzo que ocorrem interdigitados com material friável rico em manganês e ferro. Encontra-se em contato lateral e intercalado com brechas dolomíticas.

Funciona como um sistema de tripla porosidade, onde a água pode ser armazenada e fluir por vazios gerados por dissolução, fraturas ou entre os interstícios do material poroso nos bolsões do material rico em manganês e ferro. Pode apresentar zonas de fluxo turbulento e zonas de fluxo laminar em um sistema de alta heterogeneidade. Corresponde ao sistema aquífero de maior potencial hídrico.

Furos de sonda mostram zonas onde não foi possível a recuperação do material, com vazios que podem alcançar mais de uma dezena de metros. Esses dados mostram a existência de cavidades expressivas em subsuperfície, posicionadas entre a El. 1.190,0 m e El. 1.230,0 m, em profundidades entre 50 e 80 m.

Na base desse sistema estão as rochas metapelíticas, cujas características hidráulicas contrastam bastante com as rochas carbonáticas.

❖ **Aquíferos e Aquicludes em Rochas Metapelíticas**

Esse sistema é composto por aquicludes e aquitardes, cujas características hidráulicas são favoráveis apenas a fluxos lentos, do tipo gotejamento ou drenança. Apesar da porosidade ser elevada em certos horizontes, a conectividade dos poros é baixa e as fraturas têm abertura estreita, impedindo a circulação plena da água. Nesse sistema podem ser individualizadas três unidades hidrogeológicas.

❖ **Aquiclude/Aquitarde em metaritmitos e filitos da Formação Fecho do Funil:**

Posicionam-se envolvendo a base do sistema hidrogeológico em rochas carbonáticas, atuando como uma barreira hidráulica que impede a infiltração vertical dos fluxos hídricos nas unidades aquíferas superiores. Zonas

localizadas de maior permeabilidade estão associadas às camadas mais arenosas e espessas presentes nos metaritmitos. Entretanto, de forma geral, devido à fina laminação e planos de fratura de abertura estreita (típicas de rochas argilosas) não devem ser consideradas como zonas aquíferas.

Devido aos dobramentos essas rochas localmente estão arqueadas, separando as lentes carbonáticas e condicionando a orientação dos fluxos ao longo dos contatos.

❖ **Aquitarde em filito dolomítico da Formação Fecho do Funil**

Os filitos dolomíticos podem ser classificados como aquitardes, uma vez que constituem uma rocha de permo-porosidade reduzida. Entretanto, localmente, em horizontes mais alterados e fraturados, o material resultante é poroso e friável, sendo possível a percolação de fluxos lentos na zona saturada. De forma geral, atua como barreira hidráulica e está localizado em contato direto com o mármore e com os metaritmitos e filitos.

❖ **Aquitarde em filito da Formação Cercadinho**

Assim como os filitos dolomíticos da Fm. Fecho do Funil, os filitos da Fm. Cercadinho podem ser classificados como aquitardes, devido a permo-porosidade reduzida. Ocorrem como camadas ou lentes pouco espessas no topo da Fm. Cercadinho e na base dos metaritmitos e filitos.

➤ **Aquíferos em Formações Ferríferas**

Constitui esse sistema o conjunto de itabiritos mapeados na região da Mina da Tromba. São itabiritos silicosos, itabiritos dolomíticos e itabiritos “impuros”, ricos em intercalações de materiais psamo-pelíticos.

Os itabiritos são favoráveis a circulação hídrica e normalmente apresentam elevada condutividade hidráulica, embora a condutividade hidráulica seja variável nas diferentes direções, de acordo com a trama estrutural da rocha.

Os itabiritos que afloram na área do empreendimento Herculano ocorrem em uma zona de falha interpretada como originalmente transpressiva, mas que pode conter planos reativados como falhas normais durante o período

cenozoico. As estruturas herdadas mostram foliações e crenulações, com zonas milonitizadas intensamente deformadas subverticais.

Os itabiritos nessa configuração estrutural podem representar excelentes aquíferos, onde é possível uma recarga direta nas zonas fraturadas aflorantes ou cobertas por sedimentos recentes, sendo que os fluxos hídricos podem ser dirigidos para zonas de falhas em profundidade.

➤ **Aquíferos em Rochas Quartzíticas**

A circulação e armazenamento de água em aquíferos quartzíticos ocorrem, predominantemente, nas discontinuidades estruturais representadas por seus planos de fissuras e fraturas interconectadas, além de falhas presentes em nível local e regional. Nesse sistema foram reconhecidas duas unidades hidrogeológicas distintas:

Aquífero em quartzito ferruginoso:

São vinculados principalmente à Fm. Cercadinho onde predominam quartzitos ferruginosos. Os aquíferos são descontínuos, do tipo fissural, livres a semi-confinados, de baixa permeabilidade, anisotrópicos e heterogêneos.

Aquífero Taboões:

As características hidrodinâmicas desta unidade hidrogeológica são pouco conhecidas. Em função do litotipo presente, quartzito fino e friável, lhe é conferida boa capacidade aquífera. No entanto, sua importância é restrita, devido a espessura pequena.

➤ **Aquíferos em Rochas Xistosas**

Ocorrem em horizontes areno-argilosos deformados da Fm. Cercadinho, formados pelo litotipo quartzo-mica-xistos. São rochas capazes de armazenar e transmitir água, entretanto em fluxos mais reduzidos. Podem configurar aquíferos em zonas pouco fraturadas e intemperizadas.

b) INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS REALIZADAS

▪ **PILHA SUL:**

I. INVESTIGAÇÕES REALIZADAS NA PDER SUL

Na área de interesse à implantação da PDER Sul foram programadas pela Geomil Serviços de Mineração e executadas pela Domus Engenharia, no período entre julho e novembro de 2022, sete sondagens mistas (SM-01 a SM-07), totalizando 247,25 m perfurados. Estas investigações contemplaram a execução de ensaios SPT a cada metro (exceto no primeiro metro), ensaios de permeabilidade (infiltração em solos) e instalação de instrumentos multiníveis, de monitoramento hidrogeotécnicos.

Em 2025, foi conduzida uma investigação complementar visando aprofundar a compreensão dos dados obtidos na campanha de 2022. Nesta etapa, foram executados 19 ensaios de permeabilidade em solo, com frequência de um a cada 5 metros, nos furos de sondagem SM-11, SM-14 e SM-16. Adicionalmente, foram coletadas duas amostras indeformadas do tipo Denison nos furos SM-11 e SM-16. Até o presente momento foram executados 4 furos, porém foram programados 9 furos de investigação.

Na tabela a seguir estão apresentadas as principais características das sondagens realizadas nas campanhas de 2022 e de 2025.

Tabela 18 – Características gerais das sondagens realizadas (ano 2022).

Furo N°	Coordenadas ⁽¹⁾ (m)		Elev. Terreno ⁽¹⁾ (m)	Prof. Furo ⁽²⁾ (m)	Ensaio Perm. (quant.)	Amostras Indeformadas “Denison” / “Shelby”		Prof. N.A. ⁽²⁾ (m)
	N	E				De	Até	
SM-01	7.759.714,179	610.880,420	1.172,463	31,01	8	–	–	7,37
SM-02	7.759.777,783	610.911,618	1.184,503	41,00	13	–	–	18,05
SM-03	7.759.847,553	610.933,672	1.188,183	29,20	7	–	–	27,85
SM-04	7.759.923,210	610.915,455	1.195,526	40,19	13	–	–	14,90

Furo N°	Coordenadas ⁽¹⁾ (m)		Elev. Terreno ⁽¹⁾ (m)	Prof. Furo ⁽²⁾ (m)	Ensaio Perm. (quant.)	Amostras Indeformadas “Denison” / “Shelby”		Prof. N.A. ⁽²⁾ (m)
	N	E				De	Até	
SM-05	7.759.940,479	611.045,480	1.199,097	70,00	11	44,0	44,8	14,52
SM-06	7.759.745,813	610.908,565	1.183,471	15,65	4	–	–	13,80
SM-07	7.759.743,555	610.889,812	1.183,270	20,20	4	–	–	10,64

Observações:

- 1) As coordenadas e cotas de boca de locação não foram fornecidas;
- 2) Profundidades em relação à superfície do terreno (boca do furo).

Tabela 19 – Características gerais das sondagens realizadas (ano 2025).

Ponto	Coordenadas		Cota	Prof.	Prof. em	Prof. em	Data de
	E	N		Total (m)	Solo (m)	Rocha (m)	Execução
SM-11	611310.379	7759700.799	1259.462	50	50	0	30/05 a 05/06/2025
SM-12	611192.225	7759716.822	1256.232	20	8.45	11.55	15/07 a 18/07/2025
SM-14	611076.670	7760132.176	1245.539	50	50	0	22/07 a 29/07/2025
SM-16	611432.426	7759887.404	1273.843	50.000	50.000	0.000	10/06 a 04/17/2025

Na figura a seguir são apresentados os locais das investigações realizadas campanhas de 2020 e 2025.

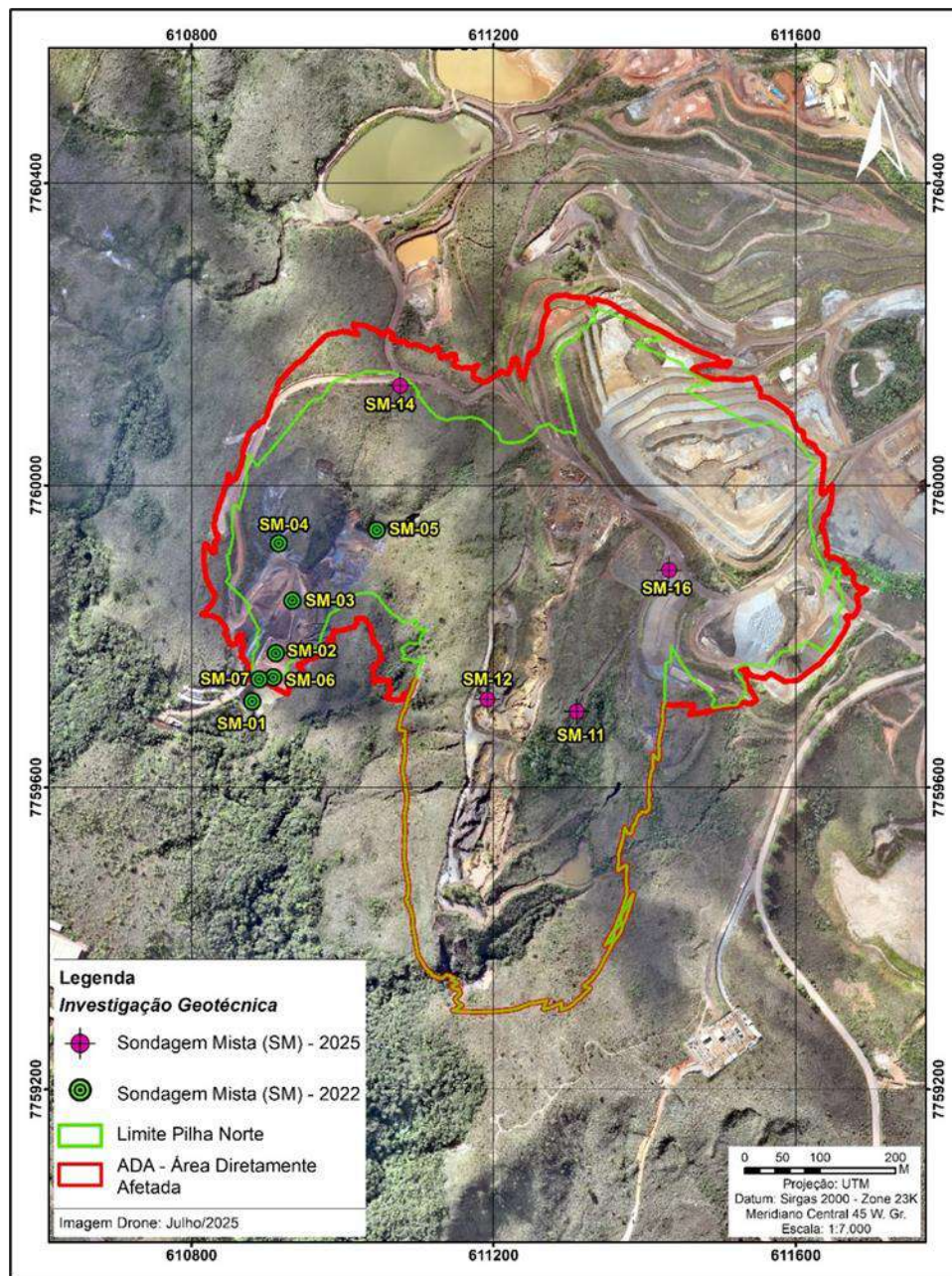


Figura 76 – Locais onde foram realizadas as investigações.

⇒ **Caracterização Geotécnica PDER Sul**

➤ **Campanha 2022**

• **Aspectos Gerais**

Três das investigações (SM-01, SM-02 e SM-03) executadas ao longo da calha do talvegue principal (onde desenvolveu-se uma voçoroca),

apresentaram resultados bastante semelhantes, entre si, representados pela existência de um horizonte de comportamento predominantemente argiloso, manganífero, coesivo (plástico), saturado, com consistência muito mole, espessura da ordem de 2,0 m a 3,0 m, exceto na SM-01 onde a espessura pode atingir cerca de 6,0 m (vide na sequência). O topo deste horizonte argiloso encontra-se posicionado em profundidades variando entre 16,0 m e 20,0 m, sendo que na SM-02, ocorre confinado (“ensanduichado”) entre horizontes distintos constituídos por solos residuais / saprolito. Já nas SM-01 e SM-03 este horizonte argiloso ocorre junto ao contato com o topo rochoso subjacente. Registra-se que na SM-01 foi identificado um “vazio” num trecho da ordem de 4,0 m junto ao contato deste horizonte de baixa resistência com o maciço rochoso, são, sotoposto; entretanto, o ensaio de infiltração executado no intervalo correspondente ao referido “vazio” (entre 21,50 m e 25,67 m) apresentou um resultado inexplicável para uma fenda aberta, permeabilidade muito baixa ($K = 7,97 \times 10^{-7}$ cm/s), ou seja, é mais provável que neste caso, ao invés da existência de fenda aberta, tenha ocorrido a queda da composição de perfuração apenas com seu peso próprio (devido ocorrência de possível material extremamente mole e de baixa permeabilidade). Outro motivo que corrobora para esta tese está relacionado à não identificação de perda d’água de circulação no decorrer da perfuração deste trecho.

As sondagens SM-05, SM-04 e SM-07, por outro lado, apresentaram resultados muito distintos daqueles. No caso da SM-05 os resultados foram bastante singulares, uma vez que a mesma identificou mais do que um horizonte argiloso de muito baixa resistência, com espessuras significativamente maiores (decamétricas, atingido grandes profundidades) e com resistências a penetração ainda mais baixas (penetrações métricas apenas com o peso do martelo SPT). Na realidade esta sondagem identificou um pacote, com cerca de 60,0 m de espessura (de 9,00 m a 68,62 m), constituído por materiais apresentando resistências muito baixas, diferentemente das sondagens SM-04 e SM-07, que não identificaram a presença do referido horizonte argiloso de consistência muito baixa, provavelmente por terem sido executadas fora do alinhamento do talvegue. Já a SM-06, apresentou um resultado dúbio, uma vez que identifica a

presença de horizonte argiloso, porém, com espessura decimétrica, ocorrendo em profundidade rasa (cerca de 3,80 m) e acima do nível d'água (seco).

- **Modelagem Geológico-geotécnica PDER Sul**

Para a elaboração da modelagem geológico-geotécnica considerou-se que o resultado apresentado pela SM-05 tem caráter anômalo e o horizonte argiloso ali identificado apresenta dimensões imprevisíveis acerca de sua representatividade lateral, merecendo esta região ser melhor investigada, caso o projeto da pilha avance. Deste modo, na descrição do modelo constitutivo, a seguir, é estabelecida uma distinção acerca das características geotécnicas do horizonte argiloso identificadas no local onde executada a SM-05 e nos das demais sondagens (SM-01, SM-02 e SM-03).

Em linhas gerais o modelo constitutivo contempla os seguintes horizontes geológico-geotécnicos:

Solo residual / saprolito (1)

Originado pela decomposição “in situ” da rocha matriz, com textura variando de silto arenosa, pouco argilosa a siltosa, pouco arenosa, pouco argilosa, cor marrom, espessura média de 14,35 m (variando entre 2,60 m e 18,80 m), apresentando resistência à penetração do amostrador padrão SPT, normalizada ($N_{1,60}$) média de 17,26 (variando entre 8,89 e 40,42), enquanto a média das obtidas diretamente nos ensaios (N) foi 16,96 (variando entre 8,00 e 30,75). A condutividade hidráulica média, para este horizonte, obtida pelos ensaios de infiltração realizados foi de $1,63 \times 10^{-5}$ cm/s (variando entre $6,96 \times 10^{-6}$ cm/s e $5,52 \times 10^{-5}$ cm/s).

Horizonte argiloso

Desconsiderando a sondagem SM-05, este horizonte apresenta textura silto argiloso, com areia fina, cor preta, manganesífero, espessura média da ordem de 3,12 m (variando entre 0,20 m e 6,12 m), resistência a penetração ao amostrador SPT, média, original (N) de 1,47 (variando entre 1,37 e 1,56) e normalizada ($N_{1,60}$), média, de 0,93 (variando entre 0,87 e 0,99). Para este

horizonte a permeabilidade média obtida nos ensaios de infiltração foi de $5,47 \times 10^{-6}$ cm/s (variando entre $1,49 \times 10^{-7}$ e $1,08 \times 10^{-5}$ cm/s). Na SM-01 este horizonte comparece, anomalmente com espessura da ordem de 6,0 m (considerando o “vazio” identificado no contato deste horizonte, com o topo rochoso). Foi feita uma coleta “shelby” neste material, na sondagem SM-05, entre 44,00 m e 44,80 m, com recuperação de 0,44 m, que foi encaminhada a laboratório e submetida a ensaios geotécnicos.

O horizonte argiloso, no local da SM-05, apresenta espessura total de 46,80 m. Em sua porção superior (entre 19,80 m e 34,20 m), a textura é siltosa, pouco argilosa, pouco arenosa, cor marrom; enquanto, na sua porção inferior (entre 34,20 m e 66,60 m) apresenta textura predominantemente argilosa, manganésifera, cor preta. A resistência “in situ” média (N), à penetração do amostrador SPT para todo este pacote, foi de 2,25 (variando entre 0,03 e 5,00), enquanto a normalizada ($N_{1,60}$) foi de 1,34 (variando entre 0,01 e 3,19). Menciona-se que em grande parte deste pacote, com ênfase à sua porção inferior (segmento entre 34,20 m e 66,60 m), os ensaios de resistência a penetração do amostrador SPT realizados neste horizonte ocorreram penetrações métricas apenas com o peso próprio da composição de ensaios (peso + hastes + amostrador), caracterizando o mesmo como solo muito mole. A condutividade hidráulica média deste horizonte é de $1,88 \times 10^{-5}$ cm/s (variando entre $4,55 \times 10^{-7}$ cm/s e $3,88 \times 10^{-5}$ cm/s), entretanto, merece ser destacado que após os 34,80 m ocorreu perda total da água de circulação, no decorrer da perfuração, indicando a presença de possíveis fendas abertas.

Solo residual / saprolito (2)

A identificação deste horizonte que ocorre subjacente ao horizonte argiloso, retro mencionado, pelas investigações realizadas, foi esporádica (caso das sondagens SM-02 e SM-06). Apresenta textura silto arenosa (a pouco arenosa), pouco argilosa e cor marrom. Sua espessura média é da ordem de 13,50 m (variando entre 6,00 m e 22,50 m), resistência a penetração ao amostrador SPT, média, original (N) de 12,0 (variando entre 9,75 e 22,75) e normalizada ($N_{1,60}$), média, de 8,19 (variando entre 3,09 e 12,13). Os ensaios de

permeabilidade realizados neste material indicaram condutividade média de $3,40 \times 10^{-5}$ cm/s (variando entre $1,14 \times 10^{-5}$ e $7,38 \times 10^{-5}$ cm/s).

Saprolito compacto

Horizonte resistente, identificado exclusivamente na SM-04, caracterizado por textura areno siltosa, pouco argilosa, cor cinza a esbranquiçado (variegado), apresentando resistência a penetração do SPT original (N) cujo valor médio obtido é 50,60 (variando entre 31,0 e 75,0) e normalizada ($N_{1,60}$), com valor médio de 29,54 (variando entre 17,13 e 43,97) e condutividade hidráulica baixa (média de $2,21 \times 10^{-5}$ cm/s, variando entre $8,60 \times 10^{-6}$ e $4,54 \times 10^{-5}$ cm/s).

Zona de transição saprólito-rocha

Este horizonte, caracterizado por rocha muito decomposta e pouco consistente, com passagens totalmente decompostas (solo), somente foi identificado pela sondagem SM-04, onde compareceu com espessura média de 11,19 m, resistência à penetração ao amostrador padrão SPT, média, original (N) de 78,54 e normalizada ($N_{1,60}$), média, de 35,71. A condutividade hidráulica, média, obtida em ensaios de infiltração foi de $2,84 \times 10^{-5}$ cm/s.

Rocha

o maciço rochoso foi identificado pelas sondagens SM-01, SM-03 e SM-06 e, possivelmente, pelas SM-02 e SM-05 (nestas duas últimas as perfurações em rocha foram pequenas podendo ter identificado tanto o maciço rochoso, quanto bloco). Invariavelmente o maciço rochoso é representado por rocha leucocrática, provavelmente dolomítica, são a pouco decomposta, consistente a muito consistente, pouco a medianamente fraturada (classe I/II, de Bieniawsky), coloração branca com manchas róseas/marrom. Neste material não foram realizados ensaios de perda d'água sob pressão.

- **Caracterização à resistência**

Em relação à caracterização da resistência à penetração do amostrador padrão SPT, estão apresentados tanto as obtidas diretamente nos ensaios “in situ” (N), quanto as normalizadas (corrigidas): N_{60} e $N_{1,60}$. Registra-se que a resistência à penetração do amostrador padrão SPT depende tanto da eficiência do equipamento utilizado para a execução do ensaio, quanto do nível de tensões (principalmente nos casos de materiais granulares) na profundidade onde o ensaio está sendo realizado. No Brasil a eficiência dos equipamentos utilizados nos ensaios SPT é da ordem de 70%. Com a finalidade de corrigir os índices de resistências à penetração do amostrador padrão (NSPT) obtidos nos ensaios “in situ” foi inicialmente considerada a correção de 60% (N_{60}), em relação à eficiência do equipamento utilizado na execução dos ensaios), seguida da correção considerando os níveis de tensões nas diversas profundidades em que os ensaios foram realizados ($N_{1,60}$). Deste modo, para cada horizonte geotécnico identificado, em cada uma das sondagens realizadas, foram levantadas as médias das resistências obtidas diretamente pelo ensaio “in situ” (N) e as corrigidas (N_{60} e $N_{1,60}$), bem como, os mínimos e os máximos para os mesmos. Na sequência foram calculadas as médias das médias das resistências obtidas para cada horizonte, nas diversas sondagens executadas.

➤ **Campanha 2025**

Sondagem SM-11

Sondagem executada com 50,00 m, inteiramente em solo, predominantemente em material silto-argilo-arenoso. Foram realizados 7 ensaios de infiltração, coletada 1 amostra Denison e instalado 1 indicador de nível d'água (INA) neste furo. Caracterização resumida:

- 0,00 – 5,74 m: Argila siltosa, pouco arenosa, de cor marrom, com passagens de pedregulhos. Apresenta resistência à penetração “in situ” do amostrador padrão SPT com N variando de 6 a 12, sendo classificada como média a rija.

- 5,74 – 25,68 m: Silte argilo-arenoso, de cores cinza e marrom, micáceo, com passagens de pedregulhos. A resistência à penetração SPT "in situ" varia de N=7 a N=33, sendo o material classificado como muito rijo a rijo, com passagens de consistência média.
- 25,68 – 33,74 m: Silte argilo-arenoso, cinza, micáceo, com passagens de pedregulhos. A resistência à penetração "in situ" SPT varia de N=11 a N=29, sendo classificado como rijo a muito rijo.
- 33,74 – 50,00 m: Silte argilo-arenoso, de cor marrom/cinza, micáceo, com passagens de pedregulhos. Apresenta resistência à penetração SPT elevada, frequentemente impenetrável ao amostrador (ex: 50/30, 50/25), sendo classificado como muito rijo a duro. O nível d'água final foi medido em 47,23 m.

Sondagem SM-12

Sondagem mista executada com 20,00 m, sendo 8,45 m em solo e 11,55 m em rocha. Foi instalado 1 indicador de nível d'água (INA) neste furo. Caracterização resumida:

- 0,00 – 1,10 m: Areia fina siltosa, pouco argilosa, cinza, micácea, com fragmentos de minério de ferro. Apresentou impenetrabilidade à penetração do amostrador padrão SPT (30/10), sendo classificada como muito compacta.
- 1,10 – 12,65 m: Rocha Itabirito, de cor cinza. O maciço rochoso se apresenta pouco decomposto (D2), com coerência variando de coerente (C2) a muito coerente (C1). O fraturamento é predominantemente classificado como fragmentado (F5), com trechos muito fraturados (F4) e fraturados (F2). O RQD (Índice de Qualidade da Rocha) variou de 0% a 78%.

- 12,65 – 15,00 m: Silte areno-argiloso, de cor marrom variegado. A resistência à penetração SPT "in situ" varia com N=12 a N=14, sendo classificado como medianamente compacto.
- 15,00 – 20,00 m: Silte areno-argiloso, marrom variegado, com presença de pedras e pedregulhos. Apresentou impenetrabilidade à penetração do amostrador SPT (ex: 37/23, 30/05), sendo classificado como muito compacto. O furo permaneceu seco durante toda a execução.

Sondagem SM-14

Sondagem executada com 50,00 m, inteiramente em solo. Foram realizados 6 ensaios de infiltração e instalado 1 INA. Caracterização resumida:

- 0,00 – 12,50 m: Silte argiloso, pouco arenoso, de cor marrom/vermelho variegado, estratificado e com passagens de pedras e pedregulhos. A resistência à penetração SPT "in situ" varia de N=7 a N=43, sendo o solo classificado como médio a duro.
- 12,50 – 19,00 m: Argila silto-arenosa, marrom, com pedregulhos e passagens de silte argiloso variegado. A resistência SPT "in situ" varia de N=15 a N=41, sendo classificada como dura a rija.
- 19,00 – 26,60 m: Silte argiloso, pouco arenoso, marrom variegado, com passagens de pedras e pedregulhos. Apresenta resistência SPT "in situ" com N variando de 12 a impenetrável (52/25), sendo classificado como rijo a duro.
- 26,60 – 26,75 m: Identificado veio de quartzo.
- 26,75 – 44,00 m: Silte argilo-arenoso, preto, micáceo, com pedras e pedregulhos em alguns trechos. Apresenta elevada resistência à

penetração, sendo classificado como duro, com múltiplos registros de impenetrabilidade (ex: 53/20, 54/25).

- 44,00 – 50,00 m: Silte argiloso, pouco arenoso, cinza, micáceo, com trecho final estratificado e com fragmentos de rocha alterada. O furo permaneceu seco durante toda a execução.

Sondagem SM-16

Sondagem executada com 50,00 m, inteiramente em solo. Foram realizados 6 ensaios de infiltração, coletada 1 amostra Denison e instalado 1 INA. Caracterização resumida:

- 0,00 – 1,58 m: Silte argiloso, pouco arenoso, preto, micáceo, com fragmentos de minério de ferro. A resistência à penetração SPT "in situ" é N=8, classificando-o como médio.
- 1,58 – 50,00 m: Argila siltosa, pouco arenosa, marrom, com passagens de silte argiloso marrom. Neste extenso trecho, a resistência à penetração SPT "in situ" varia de N=4 a impenetrável (ex: 50/25). A consistência geral do material varia de mole a dura. O nível d'água inicial foi medido a 5,27 m, mas o furo se apresentou seco ao final da instalação do instrumento.

Nas tabelas e figuras a seguir são apresentadas as médias das médias, dos mínimos e dos máximos das resistências a penetração do SPT (originais e corrigidas), das condutividades hidráulicas e das espessuras dos diversos horizontes geotécnicos identificados e perfis individuais das sondagens realizadas.

Tabela 20 – Síntese dos resultados das resistências à penetração do amostrador padrão SPT nas sondagens executadas.

Material	Espessura (m)			N			$\sigma'v$ (kPa)			N60			N1,60			k (cm/s)		
	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima
Solo Residual /Saprolito (1)	14.25	2.60	18.80	16.96	8.00	30.75	153.51	34.83	255.05	19.78	9.33	35.87	17.26	8.89	40.42	1.64E-05	6.96E-06	5.52E-05
Horizonte Argiloso	2.17	0.20	3.20	1.47	1.37	1.56	334.04	318.90	348.26	1.71	1.60	1.82	0.93	0.87	0.99	5.47E-06	5.47E-06	5.47E-06
Solo Residual /Saprolito (2)	13.50	6.00	22.50	12.00	9.75	22.75	310.33	232.75	384.58	14.00	7.87	21.87	8.19	3.09	12.13	3.40E-05	1.14E-05	7.38E-05
Saprolito	12.00	-	-	50.60	31.00	75.00	407.50	347.00	468.00	59.03	36.17	87.50	29.54	17.13	46.97	2.21E-05	8.60E-06	4.54E-05
Transição saprolito-rocha	11.19	-	-	78.54	32.00	150.00	645.06	569.00	711.66	91.63	37.33	175.00	35.71	14.93	67.06	2.84E-05	1.46E-06	4.56E-05

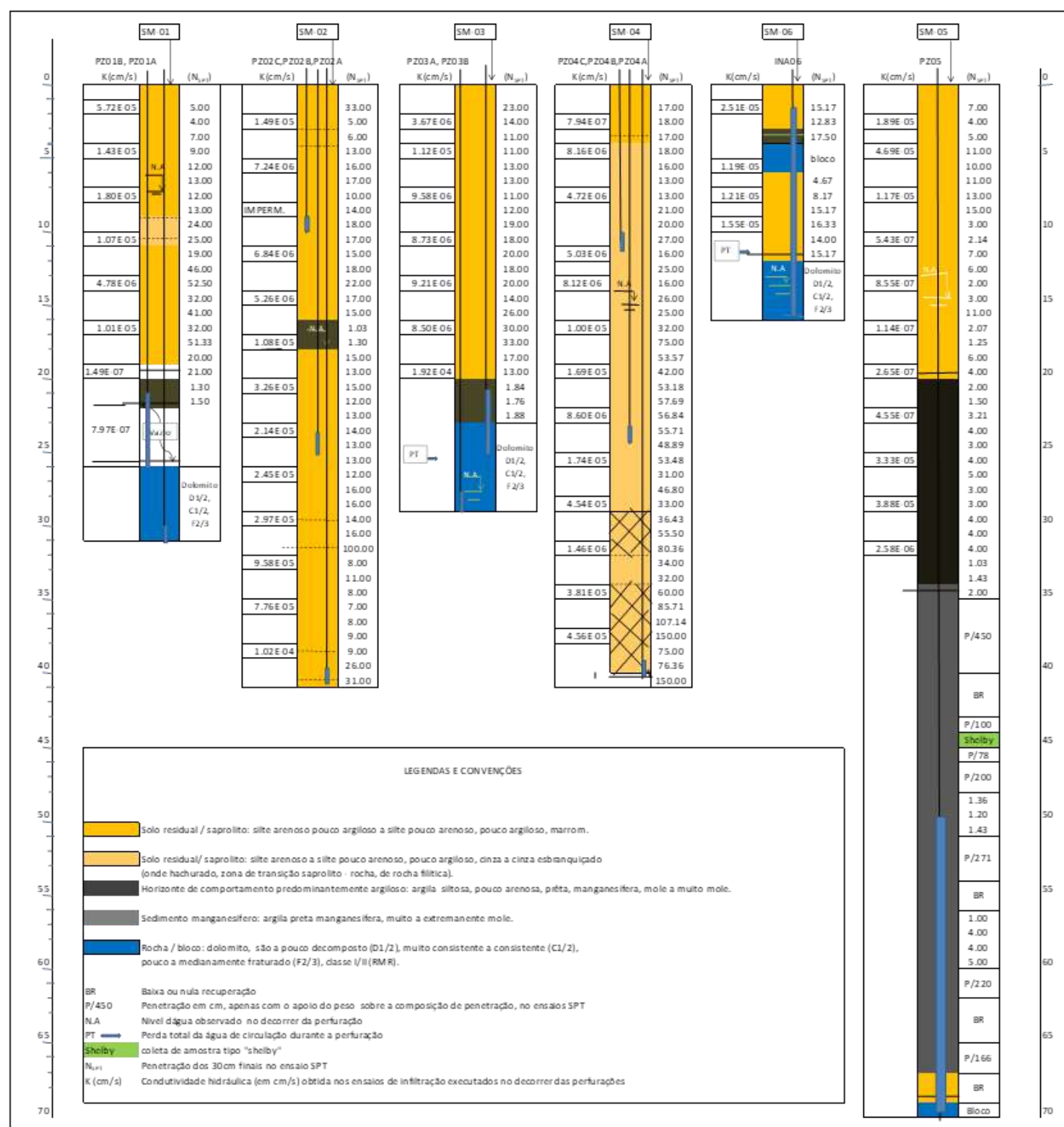


Figura 77 – Perfis individuais reduzidos (SM-01 a SM-06) das sondagens realizadas e dos instrumentos instalados (mini-logs) – Campanha 2022.

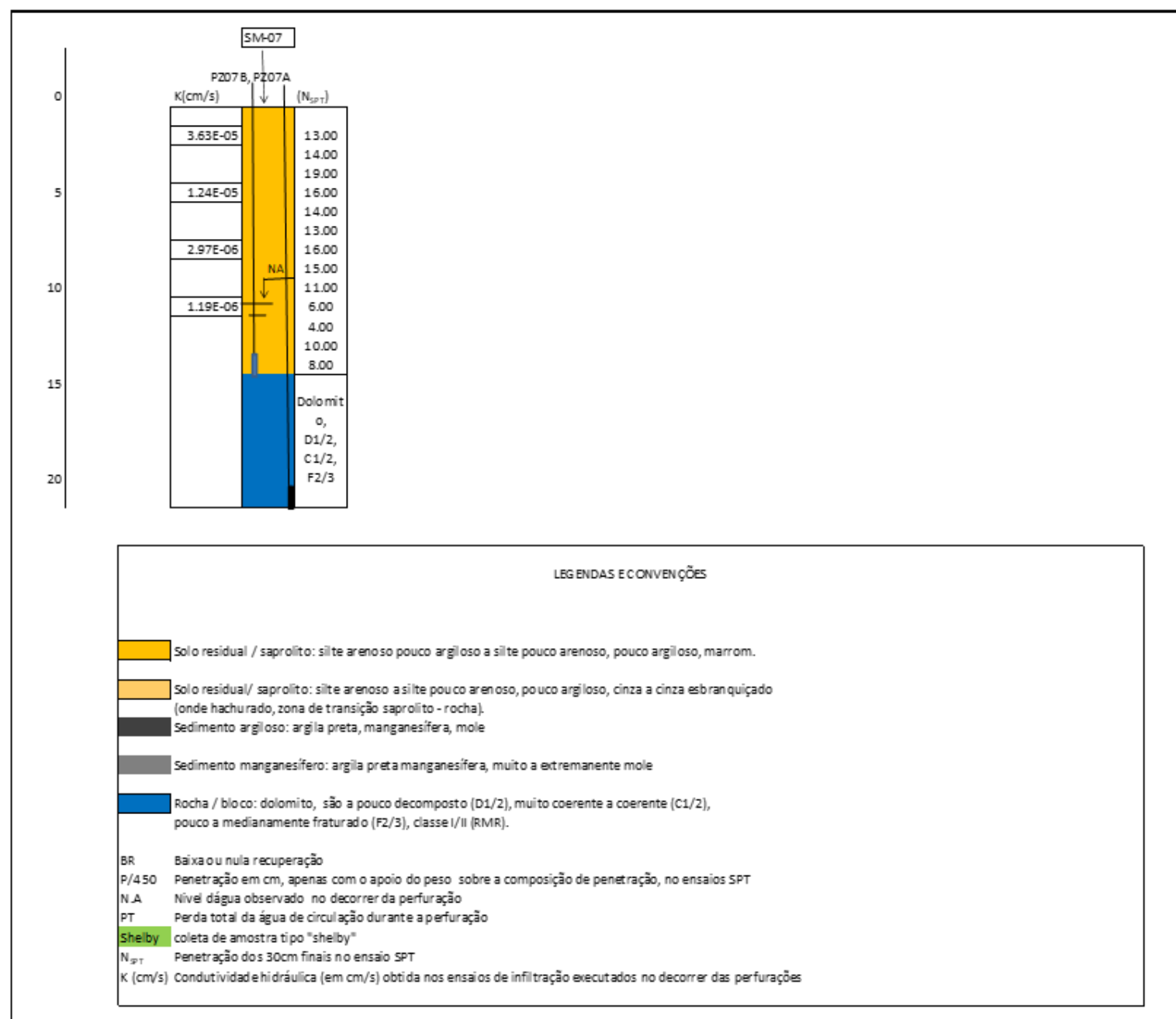


Figura 78 – Perfis individuais reduzidos das sondagens realizadas (SM-07) e dos instrumentos instalados (mini-logs) – Campanha 2022.

CONTRATANTE:						CONTRATADA:						SONDAGEM: 11			INÍCIO: 30/05/2025																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
												CÓDIGO: SM-11			FIM: 05/06/2025																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
												COORDENADAS E COTA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM MISTA												E: 611.310,379			N: 7.759.700,799			COTA (m): 1.259,462																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
OBRA: PILHA SUL - UNIDADE DE ITABIRITO												NÍVEL D'ÁGUA (m)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
LOCAL: ITABIRITO - MG												INICIAL: 31/05/2025			SECO			FINAL: 06/06/2025			47,23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	MANOBRA DE PERFURAÇÃO		COMPR.	RECUPERAÇÃO	CONFORME ABNT NBR-6484 PESO: 65 Kg ; ALTURA DE QUEDA: 75 cm AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK ΦINTERNO: 34,9mm ; ΦEXTERNO: 50,8mm REVESTIMENTO: 63,5 mm				ROD	DECOMPOSIÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAMENTO	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO						REVESTIMENTO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
			TRECHO	DE			PARA	30 CM INICIAIS	30 CM FINAIS	— NSPT INICIAL — NSPT INICIAL																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														

Figura 79 – Log de sondagem SM-11 |Campanha 2025| 1/4.

CONTRATANTE:				CONTRATADA:				SONDAGEM: 11				INÍCIO: 30/05/2025												
								CÓDIGO: SM-11				FIM: 05/05/2025												
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM MISTA								COORDENADAS E COTA																
OBRA: PILHA SUL - UNIDADE DE ITABIRITO								NÍVEL D'ÁGUA (m)																
LOCAL: ITABIRITO - MG								INICIAL: 31/05/2025 SECO				FINAL: 06/06/2025 47,23												
ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPESSURA DAS CAMADAS	MANOBRAS DE PERFURAÇÃO		RECUPERAÇÃO	CONFORME ABNT NBR 6484 PESO: 65 Kg ; ALTURA DE QUEDA: 75 cm AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK ΦINTERNO: 34,9mm ; ΦEXTERNO: 50,8mm REVESTIMENTO: 63,5 mm	RQD	DECOMPOSIÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAMENTO	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO											REVESTIMENTO
			TRECHO	COMPR.							30 CM INICIAIS	30 CM FINAIS	NSPT INICIAL											
													DE	PARA	NSPT INICIAL									
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(%)	CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	(%)	D	C	F			0 10 20 30 40 50 60											(m)
	124,183	17,63	13,45	14,00	0,55	0,22	40,00%	SILTE ARGILO-ARENOSO, CINZA, MICÁCEO, COM PASSAGENS DE PEDREGULHOS. MUITO RIJO A RIJO.					-	-		NW								
			14,00	14,45	-	-	-						15	14										
			14,45	15,00	0,55	0,21	38,18%						-	-										
			15,00	15,45	-	-	-						18	20										
			15,45	16,00	0,55	0,24	43,64%						-	-										
			16,00	16,45	-	-	-						18	15										
			16,45	17,00	0,55	0,18	32,73%						-	-										
			17,00	17,45	-	-	-						14	16										
			17,45	18,00	0,55	0,26	47,27%						-	-										
			18,00	18,45	-	-	-						18	21										
			18,45	19,00	0,55	0,28	50,91%						-	-										
			19,00	19,45	-	-	-						20	17										
			19,45	20,00	0,55	0,28	50,91%					-	-											
			20,00	20,45	-	-	-					26	33											
			20,45	21,00	0,55	0,22	40,00%					-	-											
			21,00	21,45	-	-	-	SILTE ARGILO-ARENOSO, MARROM, MICÁCEO, COM PASSAGENS DE PEDREGULHOS. MUITO RIJO A RIJO, COM PASSAGENS MÉDIAS AOS 21,00, 22,00, 23,00 E 24,00M, E DURA AOS 20,00M.					7	8										
			21,45	22,00	0,55	0,26	47,27%						-	-										
			22,00	22,45	-	-	-						9	10										
			22,45	23,00	0,55	0,25	45,45%						-	-										
			23,00	23,45	-	-	-						8	9										
			23,45	24,00	0,55	0,26	47,27%						-	-										
			24,00	24,45	-	-	-						8	9										
			24,45	25,00	0,55	0,31	55,36%						-	-										
			25,00	25,45	-	-	-						10	14										
25,45	26,00	0,55	0,32	58,18%						-	-													
EQUIPE DE CAMPO				MÉTODO DE PERFURAÇÃO		TIPO DE PERFURAÇÃO REVESTIMENTO (p) E PROFUNDIDADE (m)				Nº DE ENSAIOS E RETIRADA DE AMOSTRAS														
SONDADOR: MARCOS ANTÔNIO FÉLIX				LV LAVAGEM		EB: EMBUXADOR X HWL HW				PERMEABILIDADE (INFILTRAÇÃO) 7														
AJUDANTE: ANTONIO GERALDO R. JR.				SPT PERCUSSÃO		BR: BARRILETE X NWL NW X 0,00-30,00				PERMEABILIDADE (REBAIXAMENTO)														
AJUDANTE: MAGNUN C. DOS SANTOS				FD ESTRUTIVO		RC: RECORTE BWL BW				PERMEABILIDADE (BOMBEAMENTO)														
AJUDANTE:				RP ROTO PERCUSSÃO X		OUTRO HQ HQ				PERMEABILIDADE (RECUPERAÇÃO)														
LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)				SONDA ROTATIVA		AVANÇOS (m)		FURO INCLINADO		ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA														
03/06/2025 19,23				MAQUESA SODA 850 X		TRADO:		DIREÇÃO:		RETIRADA DE AMOSTRA DENISON 1														
04/06/2025 33,82				HD80c		LAVAGEM:		INCLINAÇÃO:		RETIRADA DE AMOSTRA SHELBY														
05/06/2025 37,50				BIO400		DESTRUTIVO:		Nº CAIXAS DE TESTEMUNHO: 5		INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTO-INA 1														
RESPONSÁVEL TÉCNICO		FISCALIZAÇÃO		PARÂMETROS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS								DISPOSITIVOS UTILIZADOS												
GEÓLOGO: DAVI MELEU		FISCAL: IGOR FELIPE		DECOMPOSIÇÃO (D)		COERÊNCIA (C)		FRATURAMENTO (F)		RQD		METRO DE BALCÃO												
CREA: 41.244/D-RS		CREA:		D1-ROCHA Sã		C1-MUITO COERENTE		F1-POUCO FRATURADA		0-25% - MUITO RUIM		TRENA												
ASSINATURA:		ASSINATURA:		D2-POUCO DECOMPOSTA		C2-COERENTE		F2-FRATURADA		25-50% - RUIM		PROVETA X												
MOTIVO DE PARALISAÇÃO				D3-MEDIAN. DECOMPOSTA		C3-MEDIAN. COERENTE		F3-MUITO FRATURADA		50-75% - RAZOÁVEL		HIDRÔMETRO												
<input type="checkbox"/> SEGURANÇA DA EQUIPE		<input checked="" type="checkbox"/> COTA DE PROJETO		D4-MUITO DECOMPOSTA		C4-POUCO COERENTE		F4-EXTR. FRATURADA		75-90% - BOA		TAMBOR GRADUADO												
<input type="checkbox"/> IMPENETRÁVEL AO SPT		<input type="checkbox"/> ESPECIF. TÉCNICA		D5-SAPROLITO		C5-FRÍAVEL		F5-FRAGMENTADA		90-100% - EXCELENTE		OUTRO												

Figura 80 – Log de sondagem SM-11 |Campanha 2025| 2/4.




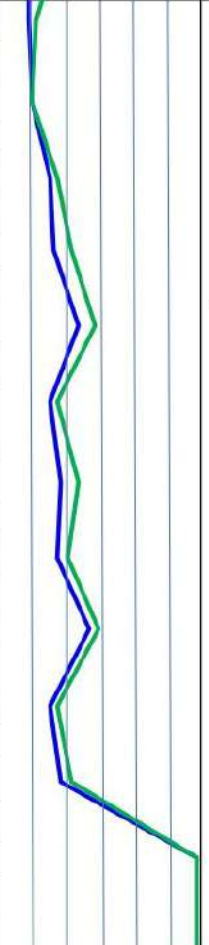
CONTRATANTE:						CONTRATADA:						SONDAGEM: 11				INÍCIO: 30/05/2025											
												CÓDIGO: SM-11				FIM: 05/06/2025											
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM MISTA												COORDENADAS E COTA															
OBRA: PILHA SUL - UNIDADE DE ITABIRITO												E: 611.310,379				N: 7.759.700,799				COTA (m): 1.259,462							
LOCAL: ITABIRITO - MG												NÍVEL D'ÁGUA (m)															
												INICIAL: 31/05/2025				SECO				FINAL: 06/06/2025				47,23			
ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	MANOBRAS DE PERFURAÇÃO		COMPR.	RECUPERAÇÃO	CONFORME ABNT NBR-6484 PESO: 65 Kg ; ALTURA DE QUEDA: 75 cm AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK ΦINTERNO: 34,9mm ; ΦEXTERNO: 50,8mm REVESTIMENTO: 63,5 mm		RQD	DECOMPOSIÇÃO	COERENCIA	FRATURAMENTO	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		REVESTIMENTO										
			DE	PARA									30 CM INICIAIS	30 CM FINAIS													
			(m)	(m)									(m)	(m)	(m)	(m)		(%)	CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	(%)	D	C	F			0 10 20 30 40 50 60	(m)
	122572	33,74	26,00	26,45	-	-	-	SILTE ARGILO-ARENOSO, CINZA, MICÁCEO, COM PASSAGENS DE PEDREGULHOS, RIO A MUITO RIO.					10	12		NW											
			26,45	27,00	0,55	0,29	52,73%						-	-													
			27,00	27,45	-	-	-						11	11													
			27,45	28,00	0,55	0,27	49,09%						-	-													
			28,00	28,45	-	-	-						16	18													
			28,45	29,00	0,55	0,20	36,36%						-	-													
			29,00	29,45	-	-	-						17	22													
			29,45	30,00	0,55	0,17	30,91%						-	-													
			30,00	30,45	-	-	-						24	29													
			30,45	31,00	0,55	0,22	40,00%						-	-													
			31,00	31,45	-	-	-						16	18													
			31,45	32,00	0,55	0,28	50,91%						-	-													
			32,00	32,45	-	-	-						19	24													
			32,45	33,00	0,55	0,24	43,64%						-	-													
			33,00	33,45	-	-	-						18	21													
			33,45	34,00	0,55	0,22	40,00%						-	-													
			34,00	34,45	-	-	-						27	30													
			34,45	35,00	0,55	0,39	70,91%						-	-													
			35,00	35,45	-	-	-					16	18														
			35,45	36,00	0,55	0,20	36,36%	SILTE ARGILO-ARENOSO, MARROM/ CINZA, MICÁCEO, COM PASSAGENS DE PEDREGULHOS. MUITO RIO A DURO, COM PASSAGEM RUA AOS 35,00M.					-	-													
			36,00	36,45	-	-	-						19	22													
			36,45	37,00	0,55	0,15	27,27%						-	-													
			37,00	37,30	-	-	-						50/30	32/15													
			37,30	38,00	0,70	0,18	25,71%						-	-													
			38,00	38,25	-	-	-						50/25	30/10													
EQUIPE DE CAMPO			MÉTODO DE PERFURAÇÃO			TIPOS DE PERFURAÇÃO REVESTIMENTO (p) E PROFUNDIDADE (m)						Nº DE ENSAIOS E RETIRADA DE AMOSTRAS															
SONDADOR: MARCOS ANTONIO FÉLIX			LV	LAVAGEM		EB: EMBUXADOR	X		HWL	HW			PERMEABILIDADE (INFILTRAÇÃO)				7										
AJUDANTE: ANTONIO GERALDO R. JR.			SPT	PERCUSSÃO		BR: BARRILETE	X	NWL	NW	X	0,00-30,00	PERMEABILIDADE (REBAIXAMENTO)															
AJUDANTE: MAGNUN C.DOS SANTOS			FD	ESTRUTIVO		RC: RECORTE		BWL	BW			PERMEABILIDADE (BOMBEAMENTO)															
AJUDANTE:			RP	ROTOPERCUSSÃO	X	OUTRO		HQ	HQ			PERMEABILIDADE (RECUPERAÇÃO)															
LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)			SONDA ROTATIVA			AVANÇOS (m)			FURO INCLINADO			ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA															
03/06/2025 19,23			MAQUESONDA 850			X	TRADO:	DIREÇÃO:			RETIRADA DE AMOSTRA DENISON						1										
04/06/2025 33,82			HD80s				LAVAGEM:	INCLINAÇÃO:			RETIRADA DE AMOSTRA SHELBY																
05/06/2025 37,50			BIO400				DESTRUTIVO:	Nº CAIXAS DE TESTEMUNHO: 5			INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTO-INA						1										
RESPONSÁVEL TÉCNICO			FISCALIZAÇÃO			PARÂMETROS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS						DISPOSITIVOS UTILIZADOS															
GEÓLOGO: DAVI MELEU			FISCAL: IGOR FELIPE			DECOMPOSIÇÃO (D)		COERÊNCIA (C)		FRATURAMENTO (F)		RQD		METRO DE BALCÃO													
CREA: 41.244/D-RS			CREA:			D1-ROCHA Sã		C1-MUITO COERENTE		F1-POUCO FRATURADA		0-25% - MUITO RUIM		TRENA													
ASSINATURA:			ASSINATURA:			D2-POUCO DECOMPOSTA		C2-COERENTE		F2-FRATURADA		25-50% - RUIM		PROVETA		X											
MOTIVO DE PARALISAÇÃO						D3-MEDIAN. DECOMPOSTA		C3-MEDIAN. COERENTE		F3-MUITO FRATURADA		50-75% - RAZOÁVEL		HIDRÔMETRO													
						D4-MUITO DECOMPOSTA		C4-POUCO COERENTE		F4-EXTR. FRATURADA		75-90% - BOA		TAMBOR GRADUADO													
						D5-SAPROLITO		C5-FRÍAVEL		F5-FRAGMENTADA		90-100% - EXCELENTE		OUTRO													
<input type="checkbox"/> SEGURANÇA DA EQUIPE			<input checked="" type="checkbox"/> COTA DE PROJETO			<input type="checkbox"/> IMPENETRÁVEL AO SPT			<input type="checkbox"/> ESPECIF. TÉCNICA																		

Figura 81 – Log de sondagem SM-11 |Campanha 2025| 3/4.

[illegible]

Figura 82 – Log de sondagem SM-11 |Campanha 2025| 4/4.




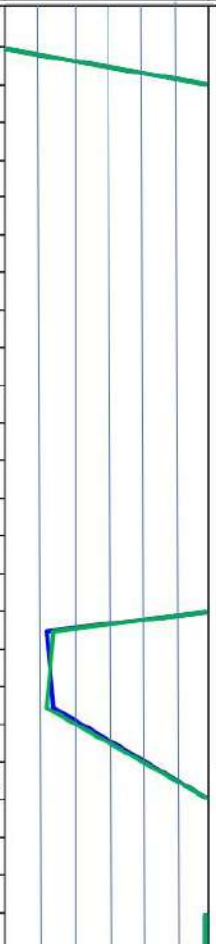
CONTRATANTE:							CONTRATADA:							SONDAGEM: 12				INÍCIO: 15/07/2025								
														CÓDIGO: SM-12				FIM: 18/07/2025								
															COORDENADAS E COTA											
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM MISTA															E: 611.192,225		N: 7.759.716,822		COTA(m): 1.256,232							
OBRA: PILHA SUL - UNIDADE DE ITABIRITO															NÍVEL D'ÁGUA (m)											
LOCAL: ITABIRITO - MG															INICIAL: 16/07/2025				SECO		FINAL: 19/07/2025				SECO	
ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	MANOBRAS DE PERFURAÇÃO			RECUPERAÇÃO	CONFORME ABNT NBR-6484 PESO: 65 kg ; ALTURA DE QUEDA: 75 cm AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK Ø INTERNO: 34,9mm ; Ø EXTERNO: 50,8mm REVESTIMENTO: 63,5 mm	RQD	DECOMPOSIÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAMENTO	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		REVESTIMENTO										
			TRECHO		30 CM INICIAIS							30 CM FINAIS														
			DE	PARA									COMPR.	NSPT INICIAL												
			(m)	(m)	(m)							(m)	(m)	(m)	(%)		CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	(%)	D	C	F			0 10 20 30 40 50 60	(m)	
	1259,8	1,10	0,00	1,00	1,00	0,23	23,00%	AREIA FINA SILTOSA, POUCO ARGILOSA, CINZA, MICÁCEA, COM FRAGMENTOS DE MINÉRIO DE FERRO. MUITO COMPACTA.					-	-		NW										
			1,00	1,10	-	-	-					30/10	-													
			1,10	2,00	0,90	0,26	26,89%		0%	D2	C2 C1	F5	-	-												
			2,00	3,00	1,00	0,29	29,00%		0%	D2	C2 C1	F5	-	-												
			3,00	4,00	1,00	0,36	36,00%		0%	D2	C2 C1	F5	-	-												
			4,00	4,50	0,50	0,31	62,00%		0%	D2	C2 C1	F5	-	-												
			4,50	5,10	0,60	0,16	26,67%		0%	D2	C2 C1	F5	-	-												
			5,10	5,60	0,50	0,14	28,00%		0%	D2	C2 C1	F5	-	-												
			5,60	6,36	0,76	0,34	44,74%		0%	D2	C2 C1	F5	-	-												
			6,36	7,86	1,50	0,87	58,00%		ROCHA - ITABIRITO, CINZA, POUCO DECOMPOSTO, COERENTE A MUITO COERENTE.	22%	D2	C2 C1	F4	-			-									
	7,86	9,36	1,50	4,13	275,33%	25%	D2	C2 C1		F4	-	-														
	9,36	10,06	0,70	0,10	57,14%	78%	D2	C2 C1		F2	-	-														
	10,06	10,86	0,80	0,60	75,00%	52%	D2	C2 C1		F4	-	-														
	10,86	11,16	0,60	0,22	36,67%	0%	D2	C2 C1		F5	-	-														
	11,16	12,36	0,90	0,38	42,22%	0%	D2	C2 C1		F5	-	-														
	12,36	13,00	0,64	0,47	73,44%	0%	D2	C2 C1		F5	-	-														
	13,00	13,45	-	-	-					12	14															
	13,45	14,00	0,55	0,29	52,73%	SILTE ARENO-ARGILOSO, MARROM VARIEGADO.					-	-														
	14,00	14,45	-	-	-						14	12														
	1241,23	15,00	14,45	15,00	0,55	0,28	50,91%	MEDIANAMENTE COMPACTO.					-	-												
			15,00	15,23	-	-	-						37/23	30/08												
			15,23	16,00	0,77	0,23	29,87%						-	-												
			16,00	16,50	0,50	0,29	58,00%	SILTE ARENO-ARGILOSO, MARROM VARIEGADO, COM PEDRAS E PEDREGULHOS. MUITO COMPACTO.				-	-													
			16,50	17,00	0,50	0,18	36,00%					-	-													
			17,00	17,05	-	-	-					30/05	-													
			EQUIPE DE CAMPO				MÉTODO DE PERFURAÇÃO		TIPOS DE PERFURAÇÃO REVESTIMENTO (ø) E PROFUNDIDADE (m)				Nº DE ENSAIOS E RETIRADA DE AMOSTRAS													
SONDADOR: MARCOS ANTÔNIO FÉLIX				LV	LAVAGEM	EB: EMBUXADOR X HWL HW				PERMEABILIDADE (INFILTRAÇÃO)																
AJUDANTE: JOSE MAGNO DA COSTA				SPT	PERCUSSÃO	BR: BARRILETE X NWL NW X 0,00-15,00				PERMEABILIDADE (REBAIXAMENTO)																
AJUDANTE: JUNIO RODRIGUES LOPES				FD	ESTRUTIVO	RC: RECORTE BWL BW				PERMEABILIDADE (BOMBEAMENTO)																
AJUDANTE:				RP	ROTOPERCUSSÃO X	OUTRO HQ HQ				PERMEABILIDADE (RECUPERAÇÃO)																
LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)				SONDA ROTATIVA		AVANÇOS (m)		FURO INCLINADO				ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA														
16/07/2025 SECO				MAQUESA 850		X	TRADO:	DIREÇÃO:				RETIRADA DE AMOSTRA DENISON														
17/07/2025 SECO				HD80s			LAVAGEM:	INCLINAÇÃO:				RETIRADA DE AMOSTRA SHELBY														
18/07/2025 7,95				BIO400			DESTRUTIVO:	Nº CAIXAS DE TESTEMUNHO: 6				INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTO-INA														
RESPONSÁVEL TÉCNICO				FISCALIZAÇÃO		PARÂMETROS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS						DISPOSITIVOS UTILIZADOS														
GEOLOGO: DAVI MELEU				FISCAL: IGR FELIPE		DECOMPOSIÇÃO (D)		COERÊNCIA (C)		FRATURAMENTO (F)		RQD		METRO DE BALCÃO												
CREA: 41.244/D-RS				CREA:		D1-ROCHA SÁ		C1-MUITO COERENTE		F1-POUCO FRATURADA		0-25% - MUITO RUIM		TRENA												
ASSINATURA:				ASSINATURA:		D2-POUCO DECOMPOSTA		C2-COERENTE		F2-FRATURADA		25-50% - RUIM		PROVETA												
MOTIVO DE PARALISAÇÃO						D3-MEDIAN. DECOMPOSTA		C3-MEDIAN. COERENTE		F3-MUITO FRATURADA		50-75% - RAZOÁVEL		HIDRÔMETRO												
<input type="checkbox"/> SEGURANÇA DA EQUIPE				<input checked="" type="checkbox"/> COTA DE PROJETO		D4-MUITO DECOMPOSTA		C4-POUCO COERENTE		F4-EXTR. FRATURADA		75-90% - BOA		TAMBOUR GRADUADO												
<input type="checkbox"/> IMPENETRÁVEL AO SPT				<input type="checkbox"/> ESPECIF. TÉCNICA		D5-SAPROUITO		C5-FRÍVEL		F5-FRAGMENTADA		90-100% - EXCELENTE		OUTRO												

Figura 83 – Log de sondagem SM-12 |Campanha 2025| 1/2.

[illegible]

Figura 84 – Log de sondagem SM-12 | Campanha 2025| 2/2.

CONTRATANTE:						CONTRATADA:						SONDAGEM: 14				INÍCIO: 22/07/2025																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
												CÓDIGO: SM-14				FIM: 29/07/2025																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
												COORDENADAS E COTA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM MISTA												E: 611.076,670				N: 7.760.132,176				COTA (m): 1.245,539																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
OBRA: FILHA SUL - UNIDADE DE ITABIRITO												NÍVEL D'ÁGUA (m)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
LOCAL: ITABIRITO - MG												INICIAL: 23/07/2025				SECO				FINAL: 30/07/2025				SECO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	MANOBRAS DE PERFURAÇÃO		RECUPERAÇÃO	CONFORME ABNT NBR-6484 PESO: 65 Kg ; ALTURA DE QUEDA: 75 cm AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK ΦINTERNO: 34,9mm ; ΦEXTERNO: 50,8mm REVESTIMENTO: 63,5 mm CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA						RQD	DECOMPOSIÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAMENTO	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO						REVESTIMENTO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
			TRECHO													COMPR.									30 CM INICIAIS		30 CM FINAIS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			DE	PARA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
			(m)	(m)												(m)	(m)								(m)	(%)	(%)	D	C	F																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				</			

Figura 85 – Log de sondagem SM-14 |Campanha 2025| 1/4.

CONTRATANTE: <div><div><div></div><div>HERCULANO</div><div>MINERAÇÃO</div></div></div>										CONTRATADA: <div><div><div></div><div>DMGEO</div><div>30 ANOS</div></div></div>										SONDAGEM: 14		INÍCIO: 22/07/2025	
										CÓDIGO: SM-14		FIM: 29/07/2025											
										COORDENADAS E COTA													
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM MISTA										E: 611.076,670		N: 7.760.132,176		COTA (m): 1.245,539									
OBRA: FILHA SUL - UNIDADE DE ITABIRITO										NÍVEL D'ÁGUA(m)													
LOCAL: ITABIRITO - MG										INICIAL: 23/07/2025		SECO		FINAL: 30/07/2025		SECO							
ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPESURA DAS CANADAS	MANOBRAS DE PERFURAÇÃO		COMPR.	RECUPERAÇÃO	CONFORME ABNT NBR 6484 PESO: 65 Kg ; ALTURA DE QUEDA: 75 cm AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK ΦINTERNO: 34,9mm ; ΦEXTERNO: 50,8mm REVESTIMENTO: 63,5 mm		RQD	DECOMPOSIÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAMENTO	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO						REVESTIMENTO		
			TRECHO																			30 CM	
			DE	PARA																		INICIAIS	FINAIS
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(%)	CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	(%)	D	C	F									(m)		
1228,54	19,00		13,45	14,00	0,55	0,40	72,73%	ARGILA SILTO-ARENOSA, MARROM, COM PEDREGULHOS, E COM PASSAGENS DE SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, MARROM VARIEGADO.						-	-		NW						
			14,00	14,45	-	-	-						36	18									
			14,45	15,00	0,55	0,27	49,09%						-	-									
			15,00	15,45	-	-	-						34	17									
			15,45	16,00	0,55	0,25	45,45%						-	-									
			16,00	16,45	-	-	-						32	17									
			16,45	17,00	0,55	0,30	54,55%						-	-									
			17,00	17,45	-	-	-						27	16									
			17,45	18,00	0,55	0,40	72,73%						-	-									
			18,00	18,45	-	-	-						27	15									
			18,45	19,00	0,55	0,40	72,73%						-	-									
			19,00	19,45	-	-	-	SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, MARROM VARIEGADO, COM PASSAGENS DE PEDRAS E PEDREGULHOS.					33	18									
			19,45	20,00	0,55	0,32	58,18%						-	-									
			20,00	20,45	-	-	-						32	17									
			20,45	21,00	0,55	0,27	49,09%						-	-									
			21,00	21,45	-	-	-						33	17									
			21,45	22,00	0,55	0,38	69,99%						-	-									
			22,00	22,45	-	-	-						22	12									
			22,45	23,00	0,55	0,30	54,55%						-	-									
			23,00	23,45	-	-	-						24	13									
			23,45	24,00	0,55	0,30	54,55%						-	-									
			24,00	24,25	-	-	-						52/25	30/10									
			24,25	25,00	0,75	0,32	42,87%						-	-									
			25,00	25,20	-	-	-						55/20	30/05									
			25,20	26,00	0,80	0,28	35,00%						-	-									
EQUIPE DE CAMPO			MÉTODO DE PERFURAÇÃO			TIPOS DE PERFURAÇÃO REVESTIMENTO (Ø) E PROFUNDIDADE (m)						Nº DE ENSAIOS E RETIRADA DE AMOSTRAS											
SONDADOR:	MARCOS ANTÔNIO FÉLIX	LV	LAVAGEM			EB: EMBUXADOR	X	HWL	HW			PERMEABILIDADE (INFILTRAÇÃO)					6						
AJUDANTE:	JOSE MAGNO DA COSTA	SPT	PERCUSSÃO			BR: BARRILETE	X	NWL	NW	X	0,00-30,00	PERMEABILIDADE (REBAIKAMENTO)											
AJUDANTE:	JUNIO RODRIGUES LOPES	FD	ESTRUTIVO			RC: RECORTE		BWL	BW			PERMEABILIDADE (BOMBEAMENTO)											
AJUDANTE:		RP	ROTOPERCUSSÃO			OUTRO		HQ	HQ			PERMEABILIDADE (RECUPERAÇÃO)											
LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)			SONDA ROTATIVA			AVANÇOS (m)			FURO INCLINADO			ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA											
23/07/2025	SECO		MAQUESONDA 850			X	TRADO:		DIREÇÃO:			RETIRADA DE AMOSTRA DENISON											
25/07/2025	SECO		HD80s				LAVAGEM:		INCLINAÇÃO:			RETIRADA DE AMOSTRA SHELBY											
29/07/2025	47,30		BIO400				DESTRUTIVO:		Nº CAIXAS DE TESTEMUNHO: 6			INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTO-INA											
RESPONSÁVEL TÉCNICO			FISCALIZAÇÃO			PARÂMETROS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS						DISPOSITIVOS UTILIZADOS											
GEÓLOGO:	DAVI MELEU		FISCAL: IGOR FELIPE			DECOMPOSIÇÃO (D)		COERÊNCIA (C)		FRATURAMENTO (F)		RQD		METRODE BALCÃO									
CREA:	41.244/D-R5		CREA:			D1-ROCHA Sã		C1-MUITO COERENTE		F1-POUCO FRATURADA		0-25% - MUITO RUIM		TRENA									
ASSINATURA:			ASSINATURA:			D2-POUCO DECOMPOSTA		C2-COERENTE		F2-FRATURADA		25-50% - RUIM		PROVETA	X								
MOTIVO DE PARALISAÇÃO						D3-MEDIAN. DECOMPOSTA		C3-MEDIAN. COERENTE		F3-MUITO FRATURADA		50-75% - RAZOÁVEL		HIDRÔMETRO									
<input type="checkbox"/> SEGURANÇA DA EQUIPE						D4-MUITO DECOMPOSTA		C4-POUCO COERENTE		F4-EXTR. FRATURADA		75-90% - BOA		TAMBOR GRADUADO									
<input type="checkbox"/> IMPENETRÁVEL AO SPT						D5-SAPROLITO		C5-FRÍVEL		F5-FRAGMENTADA		90-100% - EXCELENTE		OUTRO									
<input type="checkbox"/> COTA DE PROJETO																							
<input type="checkbox"/> ESPECIF. TÉCNICA																							

Figura 86 – Log de sondagem SM-14 |Campanha 2025| 2/4.

CONTRATANTE:				CONTRATADA:				SONDAGEM: 14				INÍCIO: 22/07/2025																
								CÓDIGO: SM-14				FIM: 29/07/2025																
								COORDENADAS E COTA																				
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM MISTA								E: 611.076,570		N: 7.760.132,176		COTA (m): 1.245,539																
OBRA: PILHA SUL - UNIDADE DE ITABIRITO								NÍVEL D'ÁGUA (m)																				
LOCAL: ITABIRITO - MG								INICIAL: 23/07/2025		SECO		FINAL: 30/07/2025		SECO														
ESTRATIGRAFIA	ELEVACÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	MANOBRAS DE PERFURAÇÃO		RECU PERCUSSÃO		CONFORME ABNT NBR-6484 PESO: 65 Kg; ALTURA DE QUEDA: 75 cm AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK ΦINTERNO: 34,9mm; ΦEXTERNO: 50,8mm REVESTIMENTO: 63,5 mm	RQD	DECOMPOSIÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAMENTO	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO						REVESTIMENTO								
			TRECHO	COMPR.								30 CM INICIAIS	30 CM FINAIS	NSPT INICIAL														
														NSPT INICIAL														
(m)	(m)	(m)	DE	PARA	(m)	(%)	CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	(%)	D	C	F			0	10	20	30	40	50	60	(m)							
	1218,94	26,60	26,00	26,22	-	-	SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, MARROM VARIADO, COM PASSAGENS DE PEDRAS E PEDREGULHOS. RIJO A DURO.					53/22	30/07							NW								
			26,22	27,00	0,78	0,40		51,28%	VEIO DE QUARTZO.													-	-					
	1218,79	26,75	27,00	27,20	-	-						53/20	31/05															
			27,20	28,00	0,80	0,32	40,00%																					
			28,00	28,25	-	-						54/25	35/10															
			28,25	29,00	0,75	0,24	32,00%																					
			29,00	29,10	-	-						43/10	-															
			29,10	30,00	0,90	0,26	28,89%																					
			30,00	30,15	-	-						40/15	-															
			30,15	31,00	0,85	0,40	47,06%																					
			31,00	31,19	-	-						57/19	30/04															
			31,19	32,00	0,81	0,34	41,98%																					
			32,00	32,26	-	-						55/26	30/11															
			32,26	33,00	0,74	0,33	44,59%	SILTE ARGILLO-ARENOSO, PRETO, MICÁCEO. DURO.																				
			33,00	33,45	-	-						43	52															
			33,45	34,00	0,55	0,23	41,82%																					
			34,00	34,45	-	-							36	39														
			34,45	35,00	0,55	0,33	60,00%						-	-														
			35,00	35,45	-	-							34	51														
			35,45	36,00	0,55	0,48	87,27%						-	-														
			36,00	37,00	1,00	0,47	47,00%						-	-														
			37,00	38,00	1,00	0,48	48,00%						-	-														
			38,00	39,00	1,00	0,46	46,00%						-	-														
	39,00	40,00	1,00	0,40	40,00%						-	-																
1205,54	46,00	39,00	40,00	1,00	0,40	40,00%						-	-															
EQUIPE DE CAMPO			MÉTODO DE PERFURAÇÃO		TIPOS DE PERFURAÇÃO REVESTIMENTO (μ) E PROFUNDIDADE (m)						Nº DE ENSAIOS E RETIRADA DE AMOSTRAS																	
SONDADOR:	MARCOS ANTONIO FÉLIX		LV	LAVAGEM		EB: EMBUXADOR	X	HWL	HW			PERMEABILIDADE (INFILTRAÇÃO)					6											
AJUDANTE:	JOSE MAGNO DA COSTA		SPT	PERCUSSÃO		BR: BARRILETE	X	NWL	NW	X	0,00-30,00	PERMEABILIDADE (REBAIXAMENTO)																
AJUDANTE:	JUNIO RODRIGUES LOPES		FD	ESTRUTIVO		RC: RECORTE		BWL	BW			PERMEABILIDADE (BOMBAMENTO)																
AJUDANTE:			RP	ROTOPERCUSSÃO	X	OUTRO		HQ	HQ			PERMEABILIDADE (RECUPERAÇÃO)																
LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)			SONDA ROTATIVA		AVANÇOS (m)		FURO INCLINADO		ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA																			
23/07/2025	SECO		MAQUESAONDA 850		X	TRADO:	DIREÇÃO:		RETIRADA DE AMOSTRA DENISON																			
25/07/2025	SECO		HD80s			LAVAGEM:	INCLINAÇÃO:		RETIRADA DE AMOSTRA SHELBY																			
29/07/2025	47,30		BIO400			DESTRUTIVO:	Nº CAIXAS DE TESTEMUNHO:		6	INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTO-INA							1											
RESPONSÁVEL TÉCNICO			FISCALIZAÇÃO		PARÂMETROS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS						DISPOSITIVOS UTILIZADOS																	
GEÓLOGO:	DAVI MELEU		FISCAL:	IGOR FELIPE		DECOMPOSIÇÃO (D)		COERÊNCIA (C)		FRATURAMENTO (F)		RQD		METRO DE BALCÃO														
CREA:	41.244/D-RS		CREA:			D1-ROCHA Sã		C1-MUITO COERENTE		F1-POUCO FRATURADA		0-25% - MUITO RUIM		TRENA														
ASSINATURA:			ASSINATURA:			D2-POUCO DECOMPOSTA		C2-COERENTE		F2-FRATURADA		25-50% - RUIM		PROVETA														
MOTIVO DE PARALISAÇÃO					<input type="checkbox"/> SEGURANÇA DA EQUIPE <input type="checkbox"/> IMPENETRÁVEL AO SPT	D3-MEDIAN. DECOMPOSTA		C3-MEDIAN. COERENTE		F3-MUITO FRATURADA		50-75% - RAZOÁVEL		HIDRÔMETRO														
						D4-MUITO DECOMPOSTA		C4-POUCO COERENTE		F4-EXTR. FRATURADA		75-90% - BOA		TAMBORES GRADUADOS														
						D5-SAPROLITO		C5-FRÍVEL		F5-FRAGMENTADA		90-100% - EXCELENTE		OUTRO														

Figura 87 – Log de sondagem SM-14 |Campanha 2025| 3/4.

Figura 88 – Log de sondagem SM-14 |Campanha 2025| 4/4.

CONTRATANTE:										CONTRATADA:										SONDAGEM:										16										INÍCIO:										10/06/2025																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
<div><div><div></div></div><div><div>HERCULANO</div><div>MINERAÇÃO</div></div></div>										<div><div><div></div></div><div><div>DMGEO</div><div>30 ANOS</div></div></div>										CÓDIGO:										SM-16										FIM:										04/07/2025																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
																				COORDENADAS E COTA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM MISTA																																								E:										611.432,426										N:										7.759.887,404										COTA (m):										1.273,843																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
OBRA: PILHA SUL - UNIDADE DE ITABIRITO																																								NÍVEL D'ÁGUA (m)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
LOCAL: ITABIRITO - MG																																								INICIAL:										12/06/2025										5,27										FINAL:										07/07/2025										SECO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	MANOBRAS DE PERFURAÇÃO				RECUPERAÇÃO		CONFORME ABNT NBR-6848 PESO: 65 Kg; ALTURA DE QUEDA: 75 cm AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK ΦINTERNO: 34,9mm; ΦEXTERNO: 50,8mm REVESTIMENTO: 63,5 mm										RQD	DECOMPOSIÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAMENTO	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO				GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO												REVESTIMENTO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
			TRECHO		COMPL.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
			DE	PARA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)

Figura 89 – Log de sondagem SM-16 | Campanha 2025| 1/4.

CONTRATANTE:				CONTRATADA:				SONDAGEM: 16				INÍCIO: 10/06/2025																			
								CÓDIGO: SM-16				FIM: 04/07/2025																			
								COORDENADAS E COTA																							
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM MISTA								E	611.432,426		N:	7.759.687,404		COTA (m):	1.273,843																
OBRA: PILHA SUL - UNIDADE DE ITABIRITO								NÍVEL D'ÁGUA (m)																							
LOCAL: ITABIRITO - MG								INICIAL:		12/06/2025		5,27		FINAL:		07/07/2025		SECO													
ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	MANOBRAS DE PERFURAÇÃO		RECUPERAÇÃO	CONFORME ABNT NBR-6484 PESO: 65 Kg ; ALTURA DE QUEDA: 75 cm AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK ΦINTERNO: 34,9mm ; ΦEXTERNO: 50,8mm REVESTIMENTO: 63,5 mm				RQD	DECOMPOSIÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAMENTO	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO						REVESTIMENTO									
			TRECHO	COMPL.																											
			DE	PARA																											
			(m)	(m)																			(m)	(m)	(m)	(%)	CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA				(%)
			13,45	14,00	0,55	0,00	6,60%									-	-														
			14,00	14,38	-	-	-									32	40/23														
			14,38	15,00	0,62	0,45	72,58%									-	-														
			15,00	15,33	-	-	-									36	36/18														
			15,33	16,00	0,67	0,62	92,54%									-	-														
			16,00	16,33	-	-	-									42	33/18														
			16,33	17,00	0,67	0,31	46,27%									-	-														
			17,00	17,35	-	-	-									32	38/20														
			17,35	18,00	0,65	0,22	33,85%									-	-														
			18,00	18,40	-	-	-									36	36/25														
			18,40	19,00	0,60	0,20	33,33%									-	-														
			19,00	19,45	-	-	-	ARGILA SILTOSA, POUCO ARENOSA, MARRON, COM PASSAGENS DE SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, MARRON.								25	34														
			19,45	20,00	0,55	0,38	69,09%									-	-														
			20,00	20,25	-	-	-	MOLE A DURA.								50/25	24/10														
			20,25	21,00	0,75	0,21	28,00%									-	-														
			21,00	21,35	-	-	-									36	58														
			21,35	22,00	0,65	0,23	35,38%									-	-														
			22,00	22,45	-	-	-									28	34														
			22,45	23,00	0,55	0,15	27,27%									-	-														
			23,00	23,40	-	-	-									46	58														
			23,40	24,00	0,60	0,27	45,00%									-	-														
			24,00	24,45	-	-	-									24	31														
			24,45	25,00	0,55	0,23	41,82%									-	-														
			25,00	25,45	-	-	-									28	29														
			25,45	26,00	0,55	0,20	36,36%									-	-														
EQUIPE DE CAMPO				MÉTODO DE PERFURAÇÃO				TIPOS DE PERFURAÇÃO REVESTIMENTO (H) E PROFUNDIDADE (m)				Nº DE ENSAIOS E RETIRADA DE AMOSTRAS																			
SONDADOR: MARCOS ANTÔNIO FÉLIX				LV	LAVAGEM			EB: EMBUXADOR	X	HWL	HW			PERMEABILIDADE (INFILTRAÇÃO)		6															
AJUDANTE: ANTONIO GERALDO R. JR.				SPT	PERCUSSÃO			BR: BARRILETE	X	NWL	NW	X	0,00-29,00	PERMEABILIDADE (REBAIXAMENTO)																	
AJUDANTE: JUNIO RODRIGUES LOPES				FD	ESTRUTIVO			RC: RECORTE		BWL	BW			PERMEABILIDADE (BOMBEAMENTO)																	
AJUDANTE:				RP	ROTOPERCUSSÃO			X	OUTRO		HQ	HQ		PERMEABILIDADE (RECUPERAÇÃO)																	
LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)				SONDA ROTATIVA				AVANÇOS (m)				FURO INCLINADO				ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA															
12/06/2025 5,27				MAQUESA 850				X	TRADO:					DIREÇÃO:				RETIRADA DE AMOSTRA DENISON				1									
03/07/2025 25,65				HD80s					LAVAGEM:					INCLINAÇÃO:				RETIRADA DE AMOSTRA SHELBY													
07/07/2025 SECO				BIO400					DESTRUTIVO:					Nº CAIXAS DE TESTEMUNHO: 4				INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTO-INA				1									
RESPONSÁVEL TÉCNICO				FISCALIZAÇÃO				PARÂMETROS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS								DISPOSITIVOS UTILIZADOS															
GEÓLOGO: DAVI MELEU				FISCAL: IGOR FELIPE				DECOMPOSIÇÃO (D)		COERÊNCIA (C)		FRATURAMENTO (F)		RQD		METRODE BALÇÃO															
CREA: 41.244/D-RS				CREA:				D1-ROCHA Sã		C1-MUITO COERENTE		F1-POUCO FRATURADA		0-25% - MUITO RUIM		TRENA															
ASSINATURA:				ASSINATURA:				D2-POUCO DECOMPOSTA		C2-COERENTE		F2-FRATURADA		25-50% - RUIM		PROVETA				X											
MOTIVO DE PARALISAÇÃO								D3-MEDIAN. DECOMPOSTA		C3-MEDIAN. COERENTE		F3-MUITO FRATURADA		50-75% - RAZOÁVEL		HIDRÔMETRO															
<input type="checkbox"/> SEGURANÇA DA EQUIPE				<input type="checkbox"/> COTA DE PROJETO				D4-MUITO DECOMPOSTA		C4-POUCO COERENTE		F4-EXTR. FRATURADA		75-90% - BOA		TAMBOR GRADUADO															
<input type="checkbox"/> IMPENETRÁVEL AO SPT				<input type="checkbox"/> ESPECIF. TÉCNICA				D5-SAPROLITO		C5-FRÍVEL		F5-FRAGMENTADA		90-100% - EXCELENTE		OUTRO															

Figura 90 – Log de sondagem SM-16 | Campanha 2025| 2/4.

CONTRATANTE:				CONTRATADA:				SONDAGEM: 16				INÍCIO: 10/06/2025				
								CÓDIGO: SM-16				FIM: 04/07/2025				
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM MISTA								COORDENADAS E COTA								
OBRA: PILHA SUL - UNIDADE DE ITABIRITO								NÍVEL D'ÁGUA (m)								
LOCAL: ITABIRITO - MG								INICIAL: 12/06/2025 5,27				FINAL: 07/07/2025 SECO				
ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	MANOBRAS DE PERFURAÇÃO		RECUPERAÇÃO	CONFORME ABNT NBR-6484 PESO: 65 Kg; ALTURA DE QUEDA: 75 cm AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK ΦINTERNO: 34,9mm; ΦEXTERNO: 50,8mm REVESTIMENTO: 63,5 mm		RQD	DECOMPOSIÇÃO	COERÊNCIA	FRATURAMENTO	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		REVESTIMENTO
			TRECHO	COMPR.								30 CM				
DE	PARA	INICIAIS	FINAIS													
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(%)	CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	(%)	D	C	F			0 10 20 30 40 50 60	(m)		
			26,00	26,45	-	-	-					18	9			NW
			26,45	27,00	0,55	0,24	43,64%					-	-			
			27,00	27,45	-	-						28	16			
			27,45	28,00	0,55	0,25	45,45%					-	-			
			28,00	28,40	-	-						34	19			
			28,40	29,00	0,60	0,38	63,33%					-	-			
			29,00	29,45	-	-						28	15			
			29,45	30,00	0,55	0,28	50,91%					-	-			
			30,00	30,45	-	-						29	17			
			30,45	31,00	0,55	0,21	38,18%					-	-			
			31,00	31,30	-	-						50	27			
			31,30	32,00	0,70	0,26	37,14%	ARGILA SILTOSA, POUCO ARENOSA, MARROM, COM PASSAGENS DE SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, MARROM. MOLE A DURA.				-	-			
			32,00	32,35	-	-						37	22			
			32,35	33,00	0,65	0,25	38,46%					-	-			
			33,00	33,20	-	-						30/20	26/05			
			33,20	34,00	0,80	0,22	27,50%					-	-			
			34,00	34,10	-	-						30/10	-			
			34,10	35,00	0,90	0,13	14,44%					-	-			
			35,00	35,13	-	-						30/13	-			
			35,13	36,00	0,87	0,33	37,93%					-	-			
			36,00	36,08	-	-						30/08	-			
			36,08	37,00	0,92	0,24	26,09%					-	-			
			37,00	37,05	-	-						30/05	-			
			37,05	38,00	0,95	0,26	27,37%					-	-			
			38,00	38,07	-	-						30/07	-			
EQUIPE DE CAMPO			MÉTODO DE PERFURAÇÃO			TIPOS DE PERFURAÇÃO REVESTIMENTO (g) E PROFUNDIDADE (m)						Nº DE ENSAIOS E RETIRADA DE AMOSTRAS				
SONDADOR: MARCOS ANTÔNIO FÉLIX			LV	LAVAGEM		EB: EMBUXADOR	X	HWL	HW			PERMEABILIDADE (INFILTRAÇÃO)				5
AJUDANTE: ANTONIO GERALDO R. JR.			SPT	PERCUSSÃO		BR: BARRILETE	X	NWL	NW	X	0,00-29,00	PERMEABILIDADE (REBAIXAMENTO)				
AJUDANTE: JUNIO RODRIGUES LOPES			FD	ESTRUTIVO		RC: RECORTE		BWL	BW			PERMEABILIDADE (BOMBAMENTO)				
AJUDANTE:			RP	ROTOPERCUSSÃO	X	OUTRO		HQ	HQ			PERMEABILIDADE (RECUPERAÇÃO)				
LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)			SONDA ROTATIVA			AVANÇOS (m)			FURO INCLINADO			ENSAIO DE PERDA D'ÁGUA				
12/06/2025 5,27			MAQUESA 850			X	TRADO:	DIREÇÃO:			RETIRADA DE AMOSTRA DENISON				1	
03/07/2025 25,65			HD80s				LAVAGEM:	INCLINAÇÃO:			RETIRADA DE AMOSTRA SHELBY					
07/07/2025 SECO			BIO400				DESTRUTIVO:	Nº CAIXAS DE TESTEMUNHO: 4			INSTALAÇÃO DE INSTRUMENTO-INA				1	
RESPONSÁVEL TÉCNICO		FISCALIZAÇÃO		PARÂMETROS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS								DISPOSITIVOS UTILIZADOS				
GEÓLOGO: DAVI MELEU		FISCAL: IGOR FELIPE		DECOMPOSIÇÃO (D)		COERÊNCIA (C)		FRATURAMENTO (F)		RQD		MÉTODO DE BALCÃO				
CREA: 41.244/D-RS		CREA:		D1-ROCHA SÁ		C1-MUITO COERENTE		F1-POUCO FRATURADA		0-25% - MUITO RUIM		TRENA				
ASSINATURA:		ASSINATURA:		D2-POUCO DECOMPOSTA		C2-COERENTE		F2-FRATURADA		25-50% - RUIM		PROVETA				
MOTIVO DE PARALISAÇÃO		D3-MEDIAN. DECOMPOSTA		C3-MEDIAN. COERENTE		F3-MUITO FRATURADA		50-75% - RAZOÁVEL		75-90% - BOA		HIDRÔMETRO				
<input type="checkbox"/> SEGURANÇA DA EQUIPE		<input checked="" type="checkbox"/> COTA DE PROJETO		D4-MUITO DECOMPOSTA		C4-POUCO COERENTE		F4-EXTR. FRATURADA		75-90% - BOA		TAMBORE GRADUADO				
<input type="checkbox"/> IMPENETRÁVEL AO SPT		<input type="checkbox"/> ESPEC. TÉCNICA		D5-SAPROLITO		C5-FRÁVEL		F5-FRAGMENTADA		90-100% - EXCELENTE		OUTRO				

Figura 91 – Log de sondagem SM-16 |Campanha 2025| 3/4.

[illegible]

Figura 92 – Log de sondagem SM-16 |Campanha 2025| 4/4.

⇒ Instrumentação Instalada PDER Sul

Para possibilitar o monitoramento dos níveis piezométricos e/ou d'água nos diversos horizontes identificados, foram instalados piezômetros multiníveis e/ou indicadores de nível d'água, ao final da perfuração de cada furo de sondagem, a saber:

SM-01

Foram instalados dois piezômetros, o inferior (PZ-01A) com célula posicionada entre 31,0 m e 30,0 m de profundidade (ou, seja, apresentando comprimento de 32,0 m), e instalado em rocha e o superior (PZ-01B) com trecho drenante entre 26,0 m e 20,0 m de profundidade (comprimento do instrumento de 27,0 m), instalado no horizonte argiloso.

SM-02

Instalados três piezômetros: PZ-02A, o inferior, com célula posicionada entre 41,0 m e 40,0 m de profundidade, em rocha / bloco; PZ-02B (o intermediário), entre 25,0 m e 24,0 m, em solo residual / saprólito (2) e o superior, PZ-02C, entre 10,0 m e 9,0 m, em solo residual / saprólito (1).

SM-03

Instalados dois piezômetros: PZ-03A, célula entre 29,2 m e 28,0 m (em passagem de areia no maciço rochoso) e PZ-03B entre 24,0 m e 20,76 m (no contato horizonte argiloso – rocha).

SM-04

Instalados três piezômetros: o inferior, PZ-04A, com base instalada aos 40,19 m (na transição saprólito-rocha); o intermediário, PZ-04B, com base posicionada aos 25,5 m (no saprólito) e o superior, PZ-04C, base aos 10,5 m (no solo residual / saprólito).

SM-05

Instalado um piezômetro (PZ-05) no fundo do furo (entre 70,0 m e 50,0 m) contemplando tanto o maciço rochoso investigado quanto o quarto inferior do horizonte argiloso de baixa resistência; na realidade trata-se de um indicador de nível d'água (a célula tem 20,0 m de extensão).

SM-06

Instalado um indicador de nível d'água, INA-06, entre 15,65 m e 2,0 m de profundidade, contemplando os diversos horizontes atravessados pela sondagem (maciço rochoso, horizonte residual / saprólito e horizonte argiloso).

SM-07

Foram instalados dois piezômetros, o inferior (PZ-07A) com trecho drenante entre 20,0 m e 18,5 m de profundidade (no maciço rochoso) e, o superior (PZ-07B) com trecho drenante entre 14,0 m e 12,5 m (posicionado no horizonte de solo residual / saprólito).

PS-INA-11

Instalado um indicador de nível d'água, PS-INA-11, com 51,50 m contemplando os diversos horizontes atravessados pela sondagem (horizonte residual e horizonte argilo arenoso).

PS-INA-12

Instalado um indicador de nível d'água, PS-INA-12, com 21,00 m contemplando os diversos horizontes atravessados pela sondagem (horizonte residual e horizonte argilo arenoso).

PS-INA-14

Instalado um indicador de nível d'água, PS-INA-14, com 51,00 m contemplando os diversos horizontes atravessados pela sondagem (horizonte saprolítico, horizonte residual argilo arenoso e argilo silto-arenoso).

PS-INA-16

Instalado um indicador de nível d'água, PS-INA-16, com 51,50 m contemplando os diversos horizontes atravessados pela sondagem horizonte residual silto argiloso e argilo silto-arenoso).

Tabela 21 – Características gerais das sondagens realizadas na PDER Sul (ano 2022).

Furo N°	Coordenadas (m)		Elev. Terreno (m)	Prof. Furo ⁽¹⁾ (m)	Prof. N.A ⁽¹⁾ (m)	Instrumentos Instalados	
	Norte	Este				N°	Base da Célula ⁽²⁾ (m)
SM-01	7.759.714,179	610.880,420	1.172,463	31,01	7,37	PZ-01B	27,00
						PZ-01A	32,00
SM-02	7.759.777,783	610.911,618	1.184,503	41,00	18,05	PZ-02C	11,00
						PZ-02B	26,00
						PZ-02A	42,00
SM-03	7.759.847,553	610.933,672	1.188,183	29,20	27,85	PZ-03B	25,00
						PZ-03A	30,00
SM-04	7.759.923,210	610.915,455	1.195,526	40,19	14,90	PZ-04C	11,50
						PZ04B	26,50
						PZ-04A	41,19
SM-05	7.759.940,479	611.045,480	1.199,097	70,00	14,52	PZ-05	71,00
SM-06	7.759.745,813	610.908,565	1.183,471	15,65	13,80	INA-06	16,65
SM-07	7.759.743,555	610.889,812	1.183,270	20,20	10,64	PZ-07B	15,00
						PZ-07A	21,00

Observações:

1 Profundidades em relação à superfície do terreno (boca do furo);

2 Base da célula em relação ao topo do tubo de ascensão.

Tabela 22 – Características gerais das sondagens realizadas na PDER Sul (ano 2025).

Furo nº	COORDENADAS (m)		COTA (m)	Prof. (m)	Revestimento (m)
	E	N			
PS INA-11	611310.379	7759700.799	1259.462	51.500	1.000
PS INA-12	611192.225	7759716.822	1256.232	21.000	1.000
PS INA-14	611076.670	7760132.176	1245.539	51.000	1.000
PS INA-16	611432.426	7759887.404	1273.843	51.500	1.000

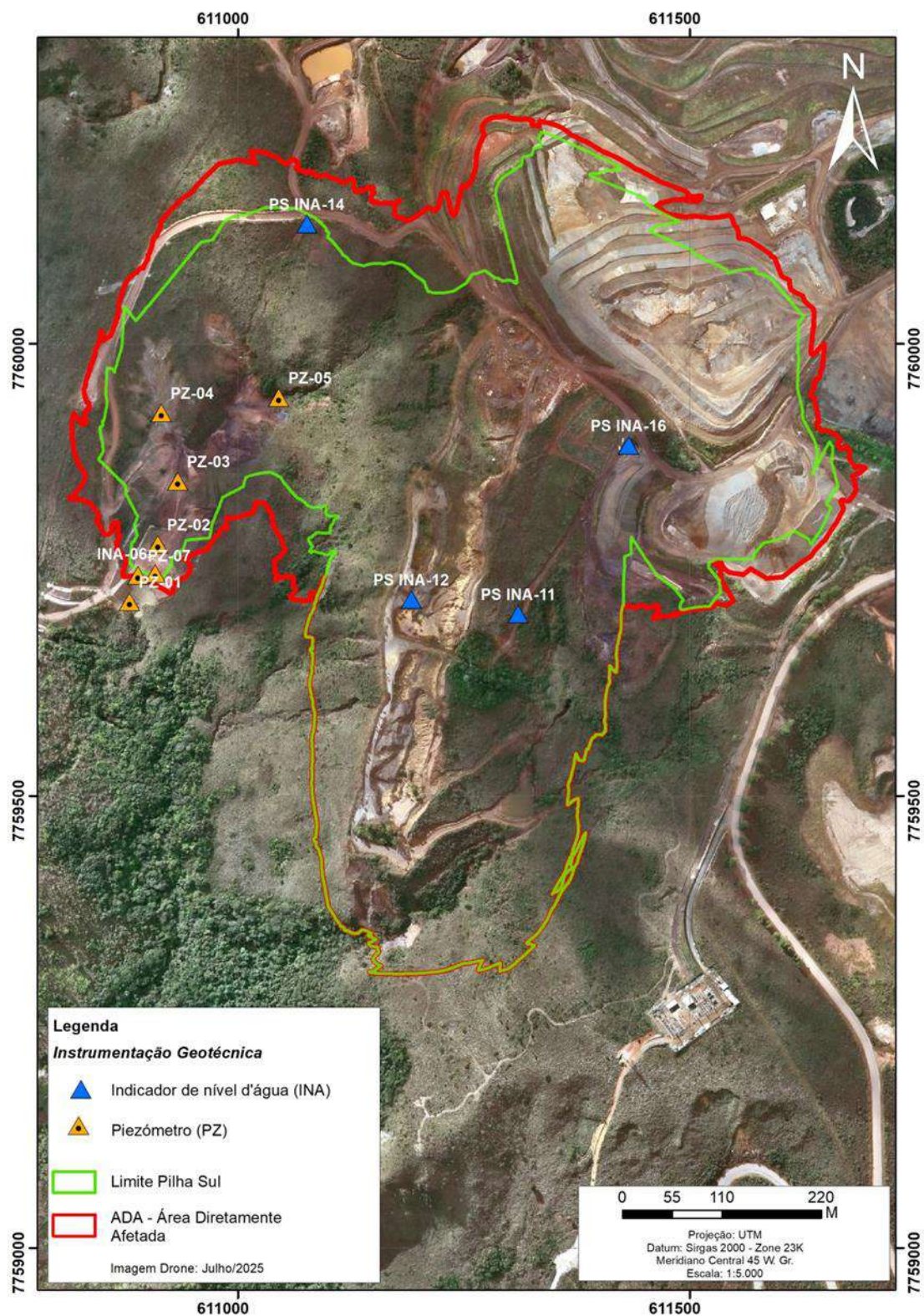


Figura 93 – Instrumentação Geotécnica – Pilha Sul.

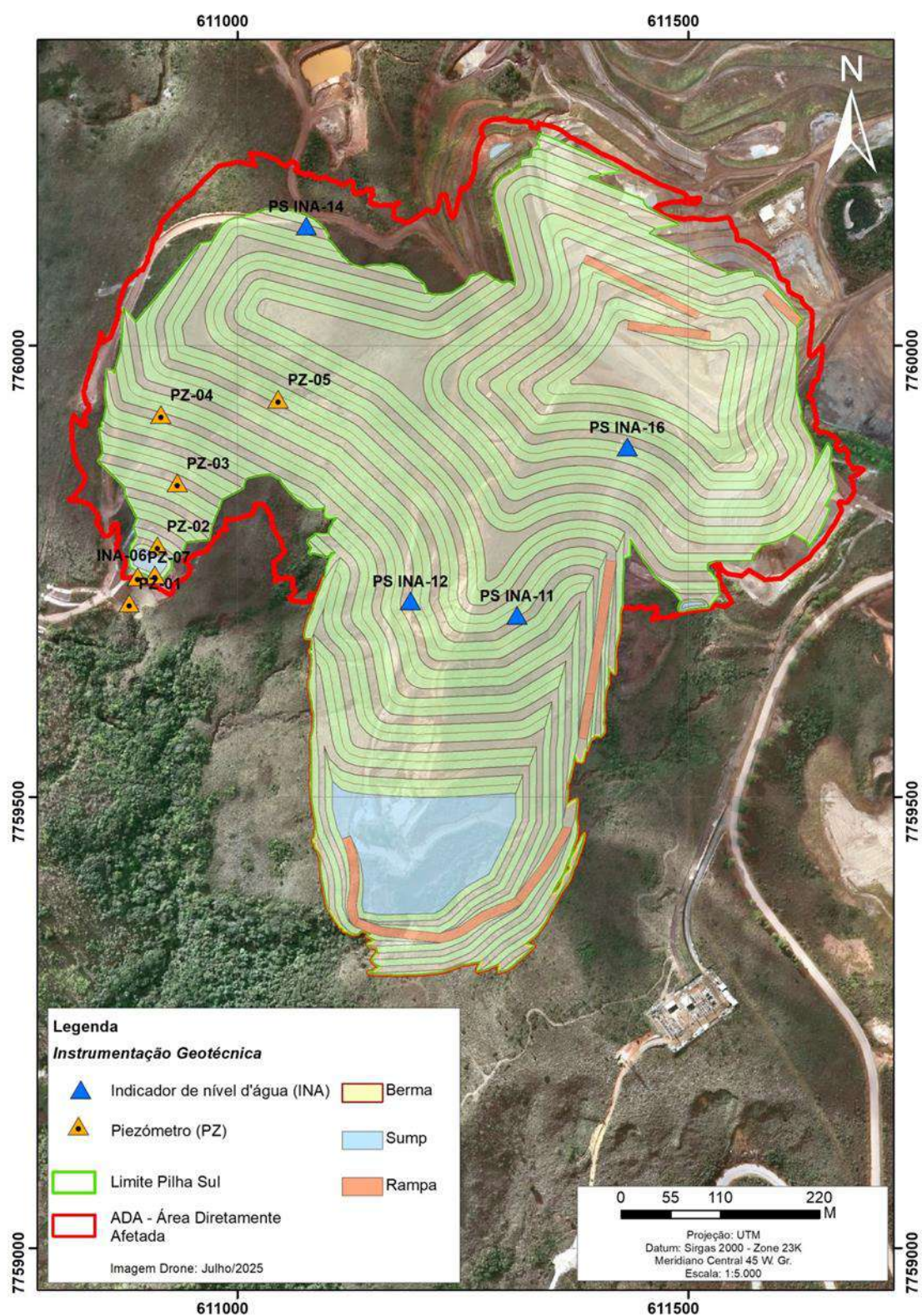


Figura 94 – Instrumentação Geotécnica – Pilha Sul.

⇒ **Ensaios de Laboratório – Caracterização PDER Sul**

• **Granulometria**

Conforme pode ser observado na curva granulometria obtida a partir de amostra coletada em furo de sondagem, por amostra indeformada, a fundação apresenta granulometria de um silte areno argiloso.

Do ponto de vista granulométrico as diferenças são claras, com a presença de elevado percentual de argilas e de siltes, superior a 50%.

Tabela 23 – Ensaio de Granulometria – Fundação.

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)			Pedregulho (%)	
			Fina	Média	Grossa	Fino	Médio
SM-05 44,00 – 44,80 m	12,66	49,85	22,87	7,90	2,17	1,55	3,00

Os materiais de fundação amostrados estão associados a processos de intemperismo da fundação, caracterizados como solos residuais.

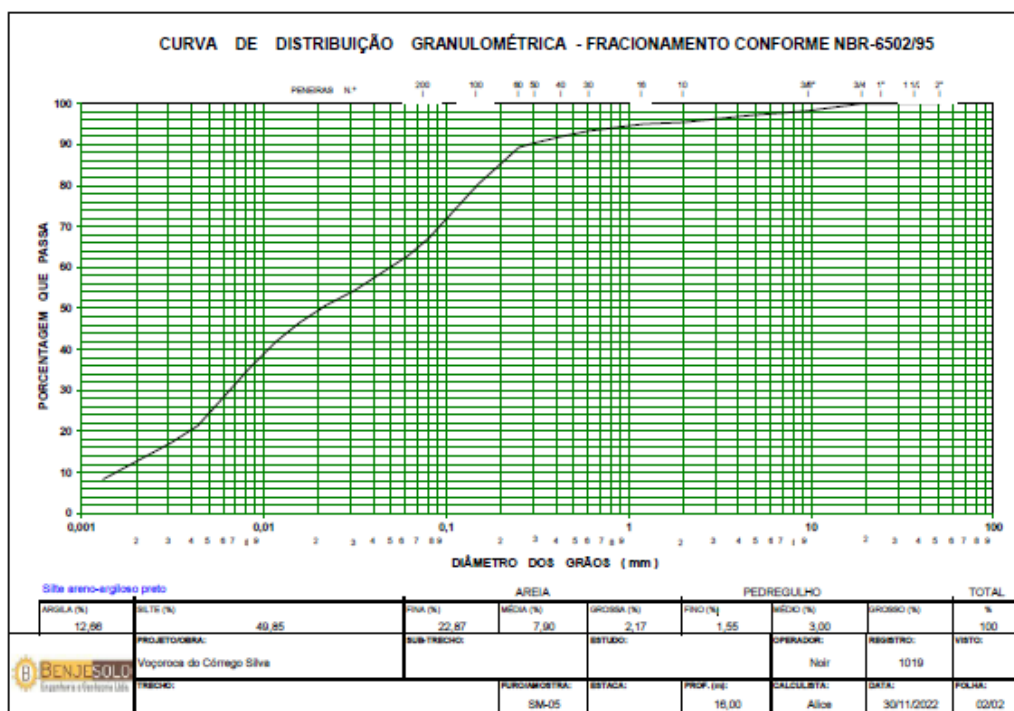


Figura 95 – Granulometria da fundação – SM-05 amostra “shelby”.

- **Mineralogia e Densidades**

A densidade seca é tipicamente superior a 2,0 g/cm³.

Tabela 24 – Densidades e Umidade – Fundação.

Amostra	Densidade dos Grãos (g/cm ³)	Umidade (%)	Densidade Seca Natural (g/cm ³)
SM-05 44,00 – 44,80 m	3,029	130,8	1,516

- **Plasticidade**

A amostra não apresenta plasticidade.

Tabela 25 – Plasticidade – Fundação.

Amostra	LL	IP
SM-05 44,00 – 44,80 m	-	NP

- **Resistência**

Observa-se que a trajetória de tensões tem como resultado uma considerável redução das tensões efetivas. Os corpos de prova submetidos a tensões efetivas de 400,0 kPa e 600,0 kPa apresentaram este comportamento de forma mais destacada.

Tabela 26 – Resistência – Fundação.

Amostra	c' (kPa)	Φ' (°)	c (kPa)	Φ (°)
SM-05 44,00 – 44,80 m	13,7	39,9	62,8	8,0

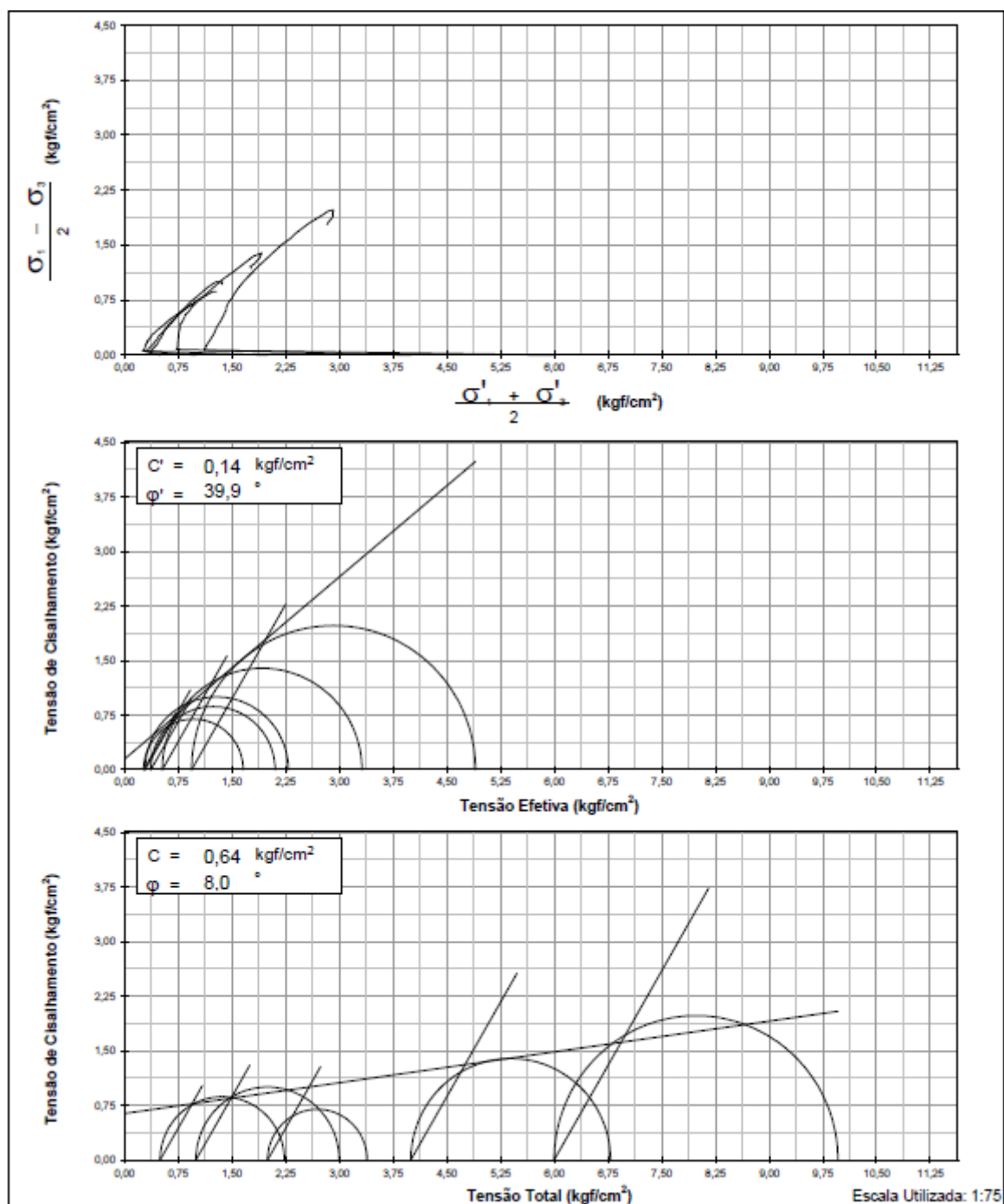


Figura 96 – Ensaio Triaxial – SM-05 | 44,00 – 44,80 m.

▪ **PILHA NORTE:**

II. INVESTIGAÇÕES REALIZADAS NA PDER NORTE

Na área de interesse à implantação da Pilha Norte foram programadas pela Geomil Serviços de Mineração e executadas pela Domus

Engenharia, no período entre dezembro de 2019 e junho de 2021, seis sondagens mistas (SM-01 a SM-05 e SM-08), totalizando 459,0 m perfurados. Estas investigações, contemplaram a execução de ensaios SPT a cada metro e execução de ensaios de permeabilidade (nos trechos em solo) e recuperação de testemunhos nos trechos em rocha. Com a finalidade de monitorar as poro-pressões foram instalados instrumentos de monitoramento hidrogeotécnicos, multiníveis, em todos os furos de sondagem.

Em 2025, a empresa DMGEO conduziu uma campanha de sondagem na região do pé da pilha norte, com o objetivo de identificar a presença de camadas de solo mole. A investigação consistiu na execução de 10 furos de Sondagem a Percussão (SPT), totalizando 118,91 metros perfurados.

Na tabela a seguir, estão apresentadas as principais características das sondagens realizadas.

Tabela 27 – Características gerais das sondagens realizadas na PDER Norte (ano 2019 e 2021).

Furo Nº	Coordenadas (m)		Prof. Furo ⁽¹⁾ (m)	Ensaio Perm. (quant.)
	Norte	Este		
SM-01	7.760.615,00	611.140,00	81,05	40
SM-02	7.760.727,00	611.072,00	72,05	36
SM-03	7.760.838,00	611.030,00	85,02	42
SM-04	7.760.955,00	610.982,00	121,50	55
SM-05	7.760.713,00	611.172,00	83,07	8
SM-08	7.760.646,00	611.041,00	97,35	–

Observações:

- 1) As coordenadas informadas são de locação dos furos e estão no Sistema SIRGAS 2000;
- 2) Profundidades em relação à superfície do terreno (boca do furo).

Tabela 28 – Características gerais das sondagens realizadas na PDER Norte (07-2025).

Furo Nº	E	N	COTA (m)	Prof. do furo (m)	Data
SP-01*	611106.020	7760752.800	1227.430	13.20	28/07/2025
SP-02	611202.926	7760822.827	1263.378	10.17	25/07/2025
SP-03	611043.933	7760713.093	1230.045	10.17	18/07/2025
SP-04	610989.019	7760664.044	1245.940	10.18	19/07/2025
SP-05	611064.008	7760660.976	1225.574	12.22	12 e 14/07/2025
SP-06	611159.980	7760670.986	1224.388	10.16	22/07/2025
SP-07	611228.142	7760689.284	1242.835	10.18	16 e 17/07/2025
SP-08	611097.968	7760601.067	1224.567	24.30	03 e 04/07/2025
SP-09*	611104.900	7760854.100	1230.450	8.17	30 e 31/07/2025
SP-10	611113.310	7760840.263	1258.248	10.16	26/07/2025

* coordenadas aproximadas

Na figura a seguir estão apresentadas em planta as localizações das investigações realizadas.

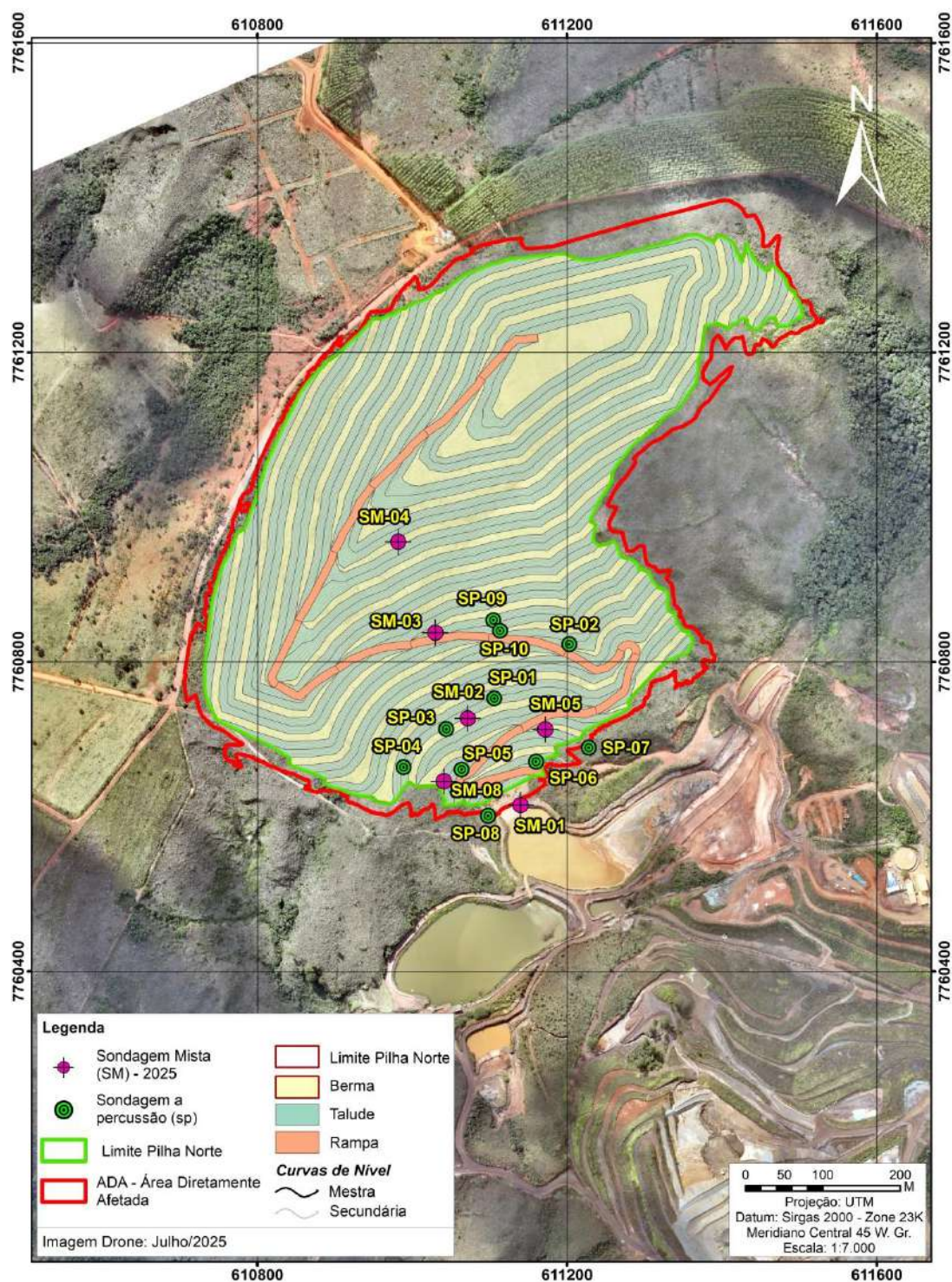


Figura 97 – Localização das investigações realizadas PDER Norte.

⇒ **Caracterização Geotécnica PDER Norte**

Em linhas gerais, as sondagens SM-08 e SM-05 identificaram, basicamente, os horizontes de solo (solo residual / saprólito e saprólito muito consistente), enquanto as SM-01 e SM-03 interceptaram o horizonte rochoso decomposto (rocha branda ou zona de transição saprólito-rocha), a partir da sua porção intermediária (caso da SM-01) e no terço final no caso da SM-03. Já a sondagem SM-02, interceptou o horizonte de rocha branda na extremidade final da perfuração e, a SM-04, interceptou a partir dos 5,0 m de profundidade o topo rochoso são a medianamente decomposto, apresentando intercalações de solo e de rocha branda, geralmente com espessuras métricas.

Em relação à caracterização da resistência dos materiais terrosos (solos) foi considerada a resistência à penetração do amostrador padrão SPT (tanto as obtidas diretamente dos ensaios “in situ” quanto as corrigidas), enquanto para a caracterização dos segmentos perfurados em rocha foi considerada a classificação empírica proposta por Bieniawski (1989). Já para os materiais de transição saprólito-rocha (ou rocha branda) a caracterização de resistência foi feita tanto em relação à penetração estimada do amostrador SPT (onde possível a execução), quanto através da formulação empírica de Bieniawski (1989). Registra-se que a resistência à penetração do amostrador padrão SPT depende tanto da eficiência do equipamento utilizado para a execução do ensaio, quanto do nível de tensões (principalmente nos casos de materiais granulares) na profundidade onde o ensaio está sendo realizado. No Brasil a eficiência dos equipamentos utilizados nos ensaios SPT é da ordem de 70%. Com a finalidade de corrigir os índices de resistências à penetração do amostrador padrão (N_{SPT}) obtidos nos ensaios “in situ” foi inicialmente considerada a correção de 60% (N_{60}), em relação à eficiência do equipamento utilizado na execução dos ensaios, seguida da correção considerando os níveis de tensões nas diversas profundidades em que os ensaios foram realizados ($N_{1,60}$). Deste modo, para cada horizonte geotécnico identificado, em cada uma das sondagens realizadas, foram levantadas as médias das resistências obtidas diretamente pelo ensaio “in situ” (N) e as corrigidas (N_{60} e $N_{1,60}$), bem como, os mínimos e os máximos para os mesmos.

As principais características geotécnicas dos maciços atravessados pelos furos de sondagens estão apresentadas, a seguir:

➤ **Campanha 2019-2021**

- **SM-01**

À exceção dos dois metros iniciais onde comparece o solo de origem transportada (colúvio), no restante a furação identificou a ocorrência de rocha argilosa, saprolitizada, de cor variegada, saturada, apresentando resistências à penetração do amostrador padrão SPT, bastante variáveis. Sotoposto ao colúvio observou-se a ocorrência de porção superior constituída por argila muito mole, atingindo espessura de 10,0 m, representada predominantemente por solo residual de coloração variegada (creme a branca). Neste material, no segmento entre 2,0m e 6,50m, observou-se que durante a realização do ensaio penetrométrico, a penetração ocorreu apenas com o posicionamento do peso sobre a composição de ensaio (variando entre Peso/45cm e Peso/60cm). Este material de baixa resistência (índice SPT inferior a 1 golpe para penetrar os 30 cm finais) permaneceu até os 10,0 m de profundidade. Daí, até os 46,0 m de profundidade a sondagem interceptou a rocha argilosa, totalmente saprolitizada, de cor variegada e, a partir desta profundidade foi identificada a rocha branda (rocha muito decomposta e pouco consistente) ou zona de transição saprólito-rocha. Em linhas gerais, a compartimentação geotécnica do maciço perfurado pela SM-01 está apresentada, a seguir:

- 0,00 – 2,60 m: colúvio / solo residual maduro, areia fina argilosa, com vestígios vegetais, cinza, muito fofa, apresentando resistência a penetração “in situ” do amostrador SPT de 0,67 e corrigida ($N_{1,60}$) de 1,42. O único ensaio de infiltração realizado neste material indicou condutividade hidráulica nula.
- 2,60 – 23,0 m: solo residual / saprolito, argila siltosa pouco arenosa, cor variegada apresentando características diversas em dois segmentos distintos:

- ✓ 2,60 – 11,00 m: trecho constituído por argila muito mole, apresentando resistência à penetração do amostrador padrão SPT, muito baixa, muito menor que 1. Os ensaios realizados neste material indicaram permeabilidade variando entre nula e $3,20 \times 10^{-5}$ cm/s.
- ✓ 11,00 – 23,00 m: material mais resistente, apresentando resistência a penetração “in situ” média do amostrador SPT (N) de 40,09 (variando entre 16,00 e 150,00) e a corrigida ($N_{1,60}$) média de 33,23 (variando entre 11,80 e 122,14). No segmento superior (entre 10,0 m e 15,0 m) a condutividade hidráulica média deste material apresenta-se elevada ($3,67 \times 10^{-3}$ cm/s), enquanto no restante do pacote a permeabilidade média obtida nos ensaios foi de $1,41 \times 10^{-5}$ cm/s.
- 23,00 – 46,00 m: saprólito duro (resistente), com granulometria variando entre argila arenosa, pouco siltosa a argila siltosa pouco arenosa, cor variegada. Para este material a resistência a penetração original (N) média é de 192,65 (variando entre 30,00 e 450,00) e a corrigida ($N_{1,60}$) média é de 114,23 (variando entre 15,62 e 307,07). Neste material a permeabilidade média é de $4,18 \times 10^{-5}$ cm/s.
- 46,0 – 81,05 m: zona de transição saprólito-rocha ou rocha branda, constituída por rocha muito decomposta e pouco consistente, muito fraturada, com passagens totalmente intemperizadas (argilosa com areia), cor variegada. Para este material a resistência a penetração original (N) média é de 423,83 (variando entre 207,60 e 1350,00) e a corrigida ($N_{1,60}$) média é de 176,56 (variando entre 86,29 e 597,69). Neste segmento da sondagem a permeabilidade média obtida nos ensaios “in situ” foi de $2,97 \times 10^{-4}$ cm/s.

- **SM-02**

Sondagem executada com 72,05 m, predominantemente em solo de alteração de rocha (solo residual e saprólito). O maciço rochoso muito decomposto e pouco consistente (ou zona de transição saprólito-rocha) foi identificado a partir dos 58,60 m, sendo representado por material heterogêneo contendo fragmentos / blocos de rocha medianamente decomposta e medianamente consistente e matriz totalmente saprolitizada. Caracterização resumida do furo:

- 0,00 – 2,00 m: solo residual maduro, silte arenoso, pouco argiloso, cinza. Apresenta resistência a penetração “in situ” do amostrador padrão SPT ($N=3$) e corrigida $N_{1,60}= 6,33$ e permeabilidade nula.
- 2,00 – 11,00 m: solo residual / saprólito, argilo siltoso, pouco arenoso, cor variegada:
 - ✓ 2,00 – 8,00 m: solo residual maduro, de baixa resistência, apresentando índice SPT médio original ($N= 4$, variando entre 2 e 6) e corrigido ($N_{1,60}= 5,89$ variando entre 3,35 e 8,58). Nos ensaios “in situ” realizados as permeabilidades obtidas foram nulas.
 - ✓ 8,00 – 11,00 m: solo residual / saprólito, com resistência a penetração “in situ” do amostrador padrão SPT ($N= 14,0$, variando entre 12,0 e 16,0) e corrigida ($N_{1,60}= 15,75$, variando entre 13,82 e 17,67). Neste segmento a permeabilidade média foi de $7,50 \times 10^{-5}$ cm/s.
- 11,00 – 19,50 m: passagem de rocha branda (zona de transição saprólito-rocha): trecho constituído por mistura de maciço totalmente saprolitizado com intercalações de rocha argilosa, mediamente decomposta. Para este conjunto (classe IV, utilizando a classificação de Bleniawisky), a resistência média estimada obtida nos ensaios SPT, “in situ” foi $N= 441,9$ (variando entre 225,0 e 675,0) e a corrigida $N_{1,60}$ foi 401,88 (variando entre 179,95 e 609,31):

- ✓ 11,00 – 14,00 m: segmento constituído por material totalmente saprolitizado contendo intercalações rochosas, resistência muito elevada a penetração do amostrador SPT. Para este trecho a permeabilidade média obtida nos ensaios “in loco” foi alta ($2,54 \times 10^{-3}$ cm/s);
- ✓ 14,00 – 16,00 m: trecho de rocha folhada (filito), medianamente decomposta, medianamente consistente (c passagens consistentes), muito fraturada a fraturada, xistosidade/foliação inclinada (30° a 45°), cinza metálico;
- ✓ 16,00 – 19,50 m: segmento constituído por material saprolitizado com permeabilidade da ordem de $2,07 \times 10^{-3}$ cm/s;
- 19,50 – 33,45 m: Solo residual/ saprólito, argila siltosa pouco arenosa, cinza a variegado (passagens esbranquiçadas e amareladas). O índice SPT médio obtidos nos ensaios “in situ”, $N = 25,0$ (variando entre 4,0 e 36,0) e o corrigido $N_{1,60} = 18,39$ (variando entre 2,64 e 27,01). Permeabilidade média de $1,47 \times 10^{-3}$ cm/s;
- 33,45 – 35,00 m: passagem constituída por material de transição saprólito-rocha (ou rocha branda, classe IV, segundo classificação Bieniawski, 1996). No único ensaio de infiltração realizado a permeabilidade obtida foi de $8,41 \times 10^{-4}$ cm/s;
- 35,00 – 37,00 m: solo residual / saprólito, textura argila siltosa pouco arenosa, cinza a variegado (passagens esbranquiçadas e amareladas). O índice SPT médio obtidos nos ensaios “in situ”, $N = 25,9$ (variando entre 20,0 e 37,0) e o corrigido $N_{1,60} = 15,29$ (variando entre 11,67 e 22,36). A permeabilidade obtida em ensaio de infiltração foi de $8,50 \times 10^{-5}$ cm/s;
- 37,00 – 40,65 m: saprólito duro, silto argiloso, pouco arenoso, cinza. O índice SPT médio obtidos nos ensaios “in situ”, $N = 114,93$ (variando

entre 37,0 e 225,0) e o corrigido $N_{1,60} = 67,07$ (variando entre 21,09 e 132,48);

- 40,65 – 42,00 m: passagem constituída por material de transição saprólito-rocha (ou rocha branda, classe IV, segundo classificação Bieniawski, 1996), com permeabilidade média de $1,37 \times 10^{-4}$ cm/s;
- 42,00 – 48,00 m: solo residual /saprólito, textura argilo siltosa pouco arenosa, cinza a variegado (passagens esbranquiçadas e amareladas). O índice SPT médio obtidos nos ensaios “in situ”, $N = 22,67$ (variando entre 20,0 e 25,0) e o corrigido $N_{1,60} = 12,86$ (variando entre 11,67 e 13,83). Para horizonte a permeabilidade média é de $3,15 \times 10^{-5}$ cm/s;
- 48,00 – 58,45 m: saprólito, silto argiloso, pouco arenoso, cinza. O índice SPT médio obtidos nos ensaios “in situ” foi $N = 34,73$ (variando entre 28,0 e 40,0) e o corrigido $N_{1,60} = 17,28$ (variando entre 14,02 e 20,10) e a permeabilidade média foi de $2,68 \times 10^{-4}$ cm/s;
- 58,45 – 64,00 m: material de transição saprólito-rocha (ou rocha branda, classe IV, segundo classificação Bieniawski, 1996). Para este material o índice SPT médio obtidos nos ensaios “in situ” foi $N = 509,38$ (variando entre 37,0 e 870,0) e o corrigido $N_{1,60} = 224,27$ (variando entre 16,64 e 382,11), enquanto a permeabilidade média obtida em ensaios de infiltração foi de $2,44 \times 10^{-4}$ cm/s;
- 64,00 – 66,00 m: saprólito, silto argiloso, pouco arenoso, cinza. O índice SPT médio obtidos nos ensaios “in situ” foi $N = 39,50$ (variando entre 37,0 e 42,0) e o corrigido $N_{1,60} = 17,84$ (variando entre 16,64 e 19,04) e a permeabilidade $3,74 \times 10^{-4}$ cm/s;

- 66,00 – 72,05 m: transição saprólito-rocha (ou rocha branda, classe IV, segundo classificação Bieniawski, 1996), cor cinza (a partir dos 68,0 m, predominantemente marrom) e permeabilidade média de $6,94 \times 10^{-4}$ cm/s obtida nos ensaios de infiltração.

- **SM-03**

Em linhas gerais a porção totalmente saprolitizada do maciço se estende da superfície até aos 32,0 m de profundidade (apresentando uma zona intermediária, mais resistente, entre 11,0 e 19,0 m), podendo esta profundidade ser considerada como o topo da rocha branda (ou zona de transição saprólito-rocha), constituído pela mistura de material saprolitizado contendo porções rochosas pouco decompostas e medianamente consistentes. A descrição sucinta dos horizontes investigados está apresentada, a seguir:

- 0,00 – 2,20 m: solo residual maduro (ou colúvio), argila pouco siltosa, pouco arenosa, cinza. A média dos resultados dos ensaios SPT “in situ” realizados $N = 14,50$ (variando entre 4,0 e 25,0) e do corrigido $N_{1,60} = 31,32$ (variando entre 8,85 e 53,79). Este material apresentou permeabilidade nula no único ensaio de infiltração realizado;
- 2,20 – 10,55 m: solo residual / saprólito, silte arenoso, pouco arenoso, cinza a variegado. A resistência média à penetração do amostrador SPT, para este material nos ensaios “in situ” foi $N = 25,50$ (variando entre 18,0 e 33,0) e a corrigida $N_{1,60} = 33,94$ (variando entre 25,89 e 48,94). Para este horizonte a permeabilidade média foi de $6,11 \times 10^{-5}$ cm/s;
- 10,55 – 19,00 m: material de transição saprólito-rocha (ou rocha branda, D4, C4, classe IV na classificação Bieniawski, 1989): silte arenoso, pouco argiloso com passagens rochosas pouco a medianamente decompostas, cor variegada (branco e cinza). Para este material o índice SPT médio “in situ” estimado é de $N = 603,38$ (variando entre 252,0 e 900,0) e o corrigido $N_{1,60} = 516,80$ (variando

entre 245,17 e 766,19). Neste horizonte a permeabilidade média nos ensaios de infiltração foi de $2,00 \times 10^{-4}$ cm/s.

✓ 10,55 – 12,60 m: areia média, siltosa, pouco argilosa (permeabilidade de $5,30 \times 10^{-4}$ cm/s).

- 19,00 – 32,00 m: saprólito (solo residual / saprólito), silte arenoso, pouco argiloso, cinza. A resistência média obtida nos ensaios SPT “in situ” foi de 62,90 (variando entre 23,0 e 290,0) e a corrigida $N_{1,60} = 44,70$ (variando entre 14,86 e 198,06). Para este horizonte a permeabilidade média obtida foi de $4,39 \times 10^{-4}$ cm/s;

- 32,00 – 85,02 m: material de transição saprólito-rocha (ou rocha branda, D4, C4), silte arenoso, pouco argiloso, com passagens rochosas pouco a medianamente decompostas, cinza. Para este material o índice SPT médio “in situ” estimado é de $N = 399,78$ (variando entre 28,0 e 1440,0) e o corrigido $N_{1,60} = 182,84$ (variando entre 14,21 e 145,22). Para este espesso horizonte a permeabilidade média obtida em ensaios de infiltração executados a cada 2,0 m, foi de $1,64 \times 10^{-4}$ cm/s (variando entre $1,97 \times 10^{-5}$ cm/s e $5,85 \times 10^{-4}$ cm/s).

✓ 44,45 – 45,80 m: rocha leucocrática, maciça, pouco decomposta (D2), consistente (C2), medianamente a muito fraturada (F3/F4), RQD (80%).

- **SM-04**

Esta sondagem, com 121,50 m de comprimento, foi a que atingiu a maior profundidade dentre todas as executadas na campanha realizada. Em linhas gerais, esta investigação identificou o maciço rochoso leucocrático muito próximo à superfície (a rocha branda aos 4,20 m e a rocha medianamente decomposta a sã, a partir dos 5,30 m). Entretanto, ao longo da perfuração foram identificadas diversas (sete) zonas saprolitizadas a totalmente saprolitizadas

interceptando o maciço rochoso medianamente ou pouco decomposto. Estas porções, constituídas por materiais heterogêneos (zona de transição saprólito-rocha ou rocha branda e, mesmo saprólito) apresentam, em geral, espessuras métricas (variando entre 1,20 m e 6,20 m) e, uma delas com espessura decamétrica. Em síntese as características geotécnicas dos maciços perfurados são apresentadas, a seguir:

- 0,00 – 4,20 m: Solo residual / saprólito, silte pouco arenoso, pouco argiloso, cinza esbranquiçado, contendo fragmentos rochosos. Para este material a resistência média, “in situ”, à penetração do amostrador SPT, $N = 23,33$ (variando entre 22,0 e 26,0), enquanto a corrigida, média, $N_{1,60} = 37,09$ (variando entre 29,44 e 41,64). Neste material foram executados dois ensaios de infiltração, com condutividade hidráulica nula em um deles e $3,98 \times 10^{-6}$ cm/s, no outro;
- 4,20 – 5,30 m: rocha branda ou material de transição saprólito-rocha, (D4, C4, F5) ou (D4/3, C4/3, F5): silte pouco arenoso, pouco argiloso, com muitos fragmentos rochosos muito a medianamente decompostos, intercalados, coloração predominantemente esbranquiçada;
- 5,30 – 9,40 m: rocha sã, medianamente consistente, variando, predominantemente entre fraturada a muito fraturada, classes II e III de Bieniawski (1989);
- 9,80 – 12,19 m: zona de transição saprólito-rocha ou rocha branda, silte pouco arenoso, pouco argiloso, com muitos fragmentos rochosos medianamente a pouco decompostos e pouco a medianamente consistentes, intercalados, coloração predominantemente esbranquiçada (classe IV de Bieniawski). Os ensaios de resistência a penetração SPT executados neste material indicaram os valores de

$N = 278,25$ (variando entre 247,50 e 266,10) e $N_{1,60} = 228,44$ (variando entre 200,94 e 266,10) para os ensaios “in situ” e corrigidos, respectivamente. Com relação à permeabilidade, no ensaio realizado de 11,0 m a 12,0 m a condutividade hidráulica obtida foi de $1,45 \times 10^{-5}$ cm/s;

- 12,19 – 27,10 m: rocha sã, predominantemente consistente, variando, predominantemente, entre fraturada a muito fraturada, classes I/II e subordinadamente III, de Bieniawski (1989).
- 27,10 – 30,06 m: zona de transição saprólito-rocha ou rocha branda, silte pouco arenoso, pouco argiloso, com muitos fragmentos rochosos medianamente a pouco decompostos e pouco a medianamente consistentes, intercalados, coloração predominantemente esbranquiçada (classe IV de Bieniawski). Os ensaios de resistência a penetração SPT executados neste material indicaram os valores de $N = 285,33$ (variando entre 37,0 e 558,0) e $N_{1,60} = 169,75$ (variando entre 22,30 e 331,69) para os ensaios “in situ” e corrigidos, respectivamente. Neste segmento os dois ensaios realizados apresentaram condutividade hidráulica média de $1,05 \times 10^{-5}$ cm/s (variando entre $3,47 \times 10^{-6}$ cm/s e $1,74 \times 10^{-5}$ cm/s);
- 30,06 – 35,60 m: rocha sã, predominantemente consistente e pouco fraturada, classe II, de Bieniawski (1989);
- 35,60 – 44,00 m: Solo residual / saprólito, silte pouco arenoso, pouco argiloso, cinza esbranquiçado, contendo fragmentos rochosos. Para este material a resistência média, “in situ”, à penetração do amostrador SPT, $N = 16,83$ (variando entre 7,0 e 30,0), enquanto a corrigida, média, $N_{1,60} = 9,37$ (variando entre 3,76 e 16,95). A permeabilidade média obtida foi de $2,52 \times 10^{-6}$ cm/s (variando entre

$1,20 \times 10^{-6}$ cm/s e $4,39 \times 10^{-6}$ cm/s) nos ensaios de permeabilidade “in situ” realizados neste segmento;

- 44,00 – 46,04 m: zona de transição saprólito-rocha ou rocha branda, silte pouco arenoso, pouco argiloso, com muitos fragmentos rochosos de resistências variadas, intercalados, coloração predominantemente esbranquiçada (classe IV de Bieniawski). Os ensaios de resistência a penetração SPT executados neste material indicaram os valores de $N = 360,0$ (variando entre 180,0 e 540,0) e $N_{1,60} = 173,07$ (variando entre 87,23 e 259,23) para os ensaios “in situ” e corrigidos, respectivamente. No único ensaio realizado, a condutividade hidráulica obtida foi de $1,06 \times 10^{-5}$ cm/s;
- 46,04 – 49,00 m: rocha sã, predominantemente consistente e pouco fraturada, classe II, de Bieniawski (1989);
- 49,00 – 51,20 m: Solo residual / saprólito, silte pouco arenoso, pouco argiloso, cinza esbranquiçado, contendo fragmentos rochosos, na base. Para este material a resistência média, “in situ”, à penetração do amostrador padrão SPT, $N = 21,50$ (variando entre 20,0 e 23,0), enquanto a corrigida, média, $N_{1,60} = 10,81$ (variando entre 10,01 e 11,61). No único ensaio realizado, a condutividade hidráulica obtida foi de $5,21 \times 10^{-7}$ cm/s;
- 51,20 – 55,00 m: rocha sã, consistente e medianamente fraturada (com passagens muito fraturadas, classe II, de Bieniawski (1989);
- 55,00 – 56,45 m: solo residual / saprólito, silte pouco arenoso, pouco argiloso, cinza esbranquiçado. O único ensaio SPT realizado neste material indicou resistência “in situ” $N = 29,0$ e corrigida $N_{1,60} = 13,28$. A condutividade hidráulica obtida no único ensaio realizado neste segmento foi de $4,19 \times 10^{-6}$ cm/s;

- 56,45 – 58,00 m: rocha pouco a medianamente decomposta, medianamente consistente e muito fraturada, classe IV/III, de Bieniawski (1989);
- 58,00 – 63,00 m: solo residual / saprólito, silte pouco arenoso, pouco argiloso, cinza esbranquiçado, contendo fragmentos rochosos, na base. Para este material a resistência média, “in situ”, à penetração do amostrador padrão SPT, $N = 21,50$ (variando entre 20,0 e 23,0), enquanto a corrigida, média, $N_{1,60} = 10,81$ (variando entre 10,01 e 11,61). A permeabilidade média obtida foi de $3,49 \times 10^{-6}$ cm/s (variando entre $1,75 \times 10^{-6}$ cm/s e $5,90 \times 10^{-6}$ cm/s) nos ensaios de permeabilidade “in situ” realizados neste segmento;
- 63,00 – 64,20 m: saprolito muito consistente, silte pouco arenoso, pouco argiloso, cinza esbranquiçado, contendo fragmentos rochosos. Para este material a resistência média, “in situ”, à penetração do amostrador padrão SPT, $N = 182,0$ (variando entre 103,0 e 261,0), enquanto a corrigida, média, $N_{1,60} = 78,72$ (variando entre 44,54 e 112,81);
- 64,20 – 116,90 m: rocha sã, muito a medianamente consistente, medianamente fraturada (com passagens muito fraturadas), classe III com passagens de classe IV, de Bieniawski (1989).

- **SM-05**

Pacote de rocha leucocrática, totalmente saprolizada, em grande parte saturada. Suas principais características geotécnicas encontram-se apresentadas, a seguir:

- 0,00 – 0,60 m: provável colúvio-argila siltosa, pouco arenosa, marrom avermelhada;

- 0,60 – 2,00 m: solo residual / saprólito, silte arenoso, pouco argiloso, com presença de fragmentos rochosos, remanescente, cinza. O único ensaio SPT realizado obteve para a resistência “in situ” $N = 38,00$ e corrigida $N_{1,60} = 41,64$.
- 2,00 – 5,02 m: passagem de blocos rochosos de rocha leucocrática, imersos em matriz silto arenosa, pouco argilosa (rocha branda ou material de transição saprólito-rocha);
- 5,02 – 44,00 m: solo residual / saprólito, silte arenoso, pouco argiloso, com alguns blocos e fragmentos rochosos, remanescentes, imersos, cinza. A resistência média à penetração do amostrador SPT, para este material nos ensaios “in situ” foi $N = 21,63$ (variando entre 14,0 e 30,0) e a corrigida $N_{1,60} = 15,39$ (variando entre 11,14 e 20,71). Ensaios de infiltração realizados em trechos de 1,00 m, em intervalos de 10,0 m obtiveram permeabilidade média muito baixa, $k = 6,98 \times 10^{-6}$ cm/s (variando entre nula e $1,70 \times 10^{-5}$ cm/s);
- 44,00 – 54,00 m: saprólito, silte arenoso, pouco argiloso, contendo alguns blocos e fragmentos rochosos, remanescentes, cinza. O índice SPT médio obtidos nos ensaios “in situ” foi $N = 178,74$ (variando entre 61,0 e 161,0) e o corrigido $N_{1,60} = 88,38$ (variando entre 26,83 e 134,18) e o único ensaio de infiltração realizado neste segmento indicou permeabilidade de $4,80 \times 10^{-6}$ cm/s, para este material;
- 54,00 – 80,00 m: solo residual / saprólito, silte arenoso, pouco argiloso, com eventuais fragmentos rochosos. Para este material a resistência média à penetração do amostrador SPT obtida nos ensaios “in situ” foi $N = 19,24$ (variando entre 14,0 e 25,0) e a corrigida $N_{1,60} = 8,10$ (variando entre 5,64 e 10,13) e permeabilidade média de $1,51 \times 10^{-5}$ cm/s;

- 80,00 – 83,07 m: saprólito, silte arenoso, pouco argiloso, cinza escuro. O índice SPT médio obtidos nos ensaios “in situ” foi $N = 270,11$ (variando entre 84,0 e 385,71) e o corrigido $N_{1,60} = 100,34$ (variando entre 31,09 e 143,47). Neste segmento não foram realizados ensaios de permeabilidade.

- **SM-08**

Esta investigação, com comprimento de 97,35 m, foi totalmente desenvolvida ao longo de espesso pacote rochoso totalmente decomposto, representado por solo residual / saprolito, com passagens/intercalações métricas (espessuras variando entre 1,0 e 9,0 m e espaçadas entre si por cerca de 10,0 m) de saprólito duro. As principais características geotécnicas observadas estão apresentadas, a seguir:

- 0,00 – 12,55 m: solo residual / saprólito, silte argiloso, pouco arenoso, marrom avermelhado a marrom amarelado. A resistência média à penetração do amostrador SPT apresentada nos ensaios “in situ” é de $N = 16,58$ (variando entre 13,0 e 20,0), enquanto a corrigida $N_{1,60} = 18,53$ (variando entre 11,33 e 32,17). Neste segmento a permeabilidade média obtida em ensaios de infiltração foi de $6,42 \times 10^{-6}$ cm/s (variando entre $2,20 \times 10^{-6}$ cm/s e $1,00 \times 10^{-5}$ cm/s);
- 12,55 – 15,00 m: material de transição saprólito-rocha (rocha branda), maciço silte-argilo-arenoso, róseo, com fragmentos rochosos, imersos. Este material apresentou permeabilidade de $1,50 \times 10^{-5}$ cm/s, no único ensaio realizado;
- 15,00 – 28,00 m: solo residual / saprólito, silte argiloso, pouco arenoso, com resistência média à penetração do amostrador SPT apresentada nos ensaios “in situ” é de $N = 19,73$ (variando entre 14,0 e 37,0), enquanto a corrigida $N_{1,60} = 12,30$ (variando entre 8,67 e 14,73). Neste segmento as permeabilidades obtidas nos ensaios de infiltração foram muito baixas, variando entre nula e $5,80 \times 10^{-6}$ cm/s.

- ✓ 15,00 – 17,50 m: róseo
- ✓ 17,50 – 22,55 m: cinza esbranquiçada
- ✓ 22,55 – 28,00 m: cinza
- 28,00 – 30,00 m: saprólito duro, silte argilo arenoso, cinza. O ensaio realizado neste material forneceu a resistência “in situ” $N = 337,50$ e a corrigida $N_{1,60} = 188,25$ e o de infiltração apresentou permeabilidade de $1,70 \times 10^{-5}$ cm/s;
- 30,00 – 37,00 m: solo residual / saprólito, silte argiloso, pouco arenoso, cinza a variegado, com resistência média à penetração do amostrador SPT apresentada nos ensaios “in situ” de $N = 20,43$ (variando entre 18,0 e 24,0), enquanto a corrigida $N_{1,60} = 10,94$ (variando entre 9,46 e 12,73). Para este material a permeabilidade média obtida em ensaios de infiltração foi de $7,87 \times 10^{-6}$ cm/s;
- 37,00 – 46,00 m: saprólito duro, silte argilo arenoso, cinza. A resistência média à penetração do amostrador SPT apresentada nos ensaios “in situ” é de $N = 249,80$ (variando entre 28,0 e 540,0), enquanto a corrigida $N_{1,60} = 120,55$ (variando entre 13,82 e 266,34) e a permeabilidade média obtida nos ensaios de infiltração foi de $1,58 \times 10^{-5}$ cm/s;
- 46,00 – 51,00 m: solo residual / saprólito, silte argiloso, pouco arenoso, cinza a variegado. A resistência média à penetração do amostrador SPT apresentada nos ensaios “in situ” é de $N = 24,2$ (variando entre 21,0 e 28,0), enquanto a corrigida $N_{1,60} = 11,42$ (variando entre 10,07 e 13,04) e a permeabilidade média foi de $2,04 \times 10^{-5}$ cm/s;

- 51,00 – 56,00 m: saprólito duro, silte argilo arenoso, cinza a variegado. A resistência média à penetração obtida nos ensaios “in situ” $N = 249,80$ (variando entre 28,0 e 540,0), enquanto a corrigida $N_{1,60} = 120,55$ (variando entre 13,82 e 266,34). A permeabilidade média obtida em ensaios de infiltração foi de $1,30 \times 10^{-5}$ cm/s;
- 56,00 – 68,00 m: solo residual / saprolito, silte argiloso, pouco arenoso, cinza a variegado. A resistência média à penetração do amostrador SPT apresentada nos ensaios “in situ” é de $N = 16,58$ (variando entre 13,0 e 20,0), enquanto a corrigida $N_{1,60} = 18,53$ (variando entre 11,33 e 32,17). Neste segmento a permeabilidade média obtida nos ensaios de infiltração foi de $6,77 \times 10^{-6}$ cm/s (variando entre $2,00 \times 10^{-6}$ cm/s e $1,00 \times 10^{-5}$ cm/s);
- 68,00 – 71,00 m: saprólito duro, silte argilo arenoso, cinza a variegado. Para este material a resistência média obtida nos ensaios SPT “in situ” foi $N = 179,67$ (variando entre 107,0 e 252,0), enquanto a corrigida $N_{1,60}$ foi de 69,64 (variando entre 40,62 e 100,61). A permeabilidade obtida no único ensaio realizado foi de $4,90 \times 10^{-6}$ cm/s;
- 71,00 – 88,00 m: solo residual / saprólito, silte argiloso, pouco arenoso, cinza a variegado. Os ensaios realizados neste material indicaram a resistência média original (“in situ”) de $N = 22,00$ (variando entre 15,0 e 29,0) e a corrigida $N_{1,60} = 8,26$ (variando entre 5,46 e 10,51); já a permeabilidade média apresentada pelos ensaios de infiltração foi de $8,03 \times 10^{-5}$ cm/s (variando entre $4,00 \times 10^{-5}$ cm/s e $1,35 \times 10^{-4}$ cm/s);
- 88,00 – 90,00 m: saprólito duro, silte argilo arenoso, cinza a variegado. Sua resistência média “in situ” é $N = 177,0$ (variando entre 90,0 e 261,0) e a corrigida $N_{1,60} = 63,00$ (variando entre 32,22 e 93,78) e a permeabilidade obtida no ensaio infiltração foi de $6,70 \times 10^{-5}$ cm/s;

- 90,00 – 93,00 m: solo residual / saprólito, silte argiloso, pouco arenoso, cinza a variegado, apresentando índices $N = 16,67$ (variando entre 14,0 e 19,0) e corrigido $N_{1,60} = 5,94$ (variando entre 5,01 e 6,74) e a permeabilidade obtida no ensaio infiltração foi de $7,70 \times 10^{-5}$ cm/s;
- 93,00 – 96,00 m: saprólito duro, silte argilo arenoso, cinza a variegado. Com $N = 266,50$ (variando entre 91,0 e 540,0) e corrigido $N_{1,60} = 76,55$ (variando entre 30,59 e 183,07) e a permeabilidade média obtida nos ensaios infiltração foi de $1,03 \times 10^{-4}$ cm/s;
- 96,00 – 97,00 m: solo residual / saprólito, silte argiloso, pouco arenoso, cinza a variegado;
- 97,00 – 97,35 m: saprólito duro, silte argilo arenoso, cinza a variegado.

➤ **Campanha 2025**

- **Sondagem SP-01**

Sondagem executada com 13,20 m, predominantemente em solo argiloso e siltoso. Caracterização resumida do furo:

- **0,00 – 1,00 m:** Argila arenosa, pouco siltosa, de cor marrom (avanço a trado).
- **1,00 – 2,45 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, marrom/vermelho, com passagens de pedregulhos. Apresenta baixa resistência à penetração "in situ" do amostrador padrão SPT, com N variando de 5 a 6, sendo classificado como médio a mole.

- **2,45 – 6,00 m:** Silte areno-argiloso, cinza variegado, micáceo, com fragmentos de rocha alterada. A resistência à penetração SPT varia de N=6 a N=14, classificando o solo como pouco compacto a medianamente compacto.
- **6,00 – 9,45 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, de cor marrom. Apresenta resistência à penetração SPT "in situ" com N variando de 10 a 23, classificado como médio.
- **9,45 – 13,20 m:** Silte areno-argiloso, cinza, micáceo, com fragmentos de rocha alterada. A resistência à penetração SPT "in situ" é crescente, com N variando de 37 a 48, sendo classificado como medianamente compacto a muito compacto. O nível d'água foi medido em 2,10 m.

- **Sondagem SP-02**

Sondagem executada com 10,17 m, predominantemente em solo siltoso-argiloso. Caracterização resumida do furo:

- **0,00 – 1,00 m:** Avanço com trado.
- **1,00 – 4,45 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, vermelho, com passagens de pedregulhos. A resistência à penetração SPT "in situ" varia de N=6 a N=10, sendo classificado como rijo a médio.
- **4,45 – 10,17 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, marrom/vermelho variegado, micáceo, com fragmentos de rocha alterada. Apresenta resistência SPT crescente, com N variando de 13 a 50, sendo classificado como rijo a duro. A sondagem foi executada a seco.

- **Sondagem SP-03**

Sondagem executada com 10,17 m, em solo predominantemente siltoso-argiloso. Caracterização resumida do furo:

- **0,00 – 1,00 m:** Argila siltosa, pouco arenosa, de cor marrom (avanço a trado).
- **1,00 – 8,00 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, marrom variegado e vermelho, estratificado. A resistência à penetração SPT "in situ" é elevada, com N variando de 21 a 53, classificando o solo como muito rijo a duro.
- **8,00 – 10,17 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, marrom variegado, estratificado, com fragmentos de rocha alterada. A resistência SPT "in situ" permanece alta, com N na faixa de 39 a 48, sendo classificado como duro.

- **Sondagem SP-04**

Sondagem executada com 10,18 m, em solo siltoso-argiloso. Caracterização resumida do furo:

- **0,00 – 1,80 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, marrom/cinza variegado, micáceo. A resistência à penetração SPT "in situ" varia de N=7 a N=8, sendo classificado como médio.
- **1,80 – 10,18 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, cinza, micáceo, com fragmentos de rocha alterada. Apresenta resistência SPT "in situ" crescente, com N variando de 10 a 52, sendo classificado como rijo a duro.

- **Sondagem SP-05**

Sondagem executada com 12,22 m, em um perfil de solo siltoso-argiloso. Caracterização resumida do furo:

- **0,00 – 1,00 m:** Avanço com trado.
- **1,00 – 12,22 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, cinza, micáceo, estratificado, com fragmentos de rocha alterada. A resistência à penetração SPT "in situ" apresenta grande variação, com N entre 7 e 58, classificando o solo em uma faixa de médio a duro.

- **Sondagem SP-06**

Sondagem executada com 10,16 m, em solo siltoso-argiloso com uma camada de baixa consistência. Caracterização resumida do furo:

- **0,00 – 1,00 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, marrom variegado (avanço a trado).
- **1,00 – 4,45 m:** Camada de baixa resistência, com N=2, classificada como muito mole a mole.
- **4,45 – 10,16 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, vermelho. A resistência à penetração SPT "in situ" aumenta significativamente, com N variando de 26 a 51, sendo classificado como duro.

- **Sondagem SP-07**

Sondagem executada com 10,18 m, em solo argiloso e siltoso. Caracterização resumida do furo:

- **0,00 – 1,00 m:** Argila siltosa, pouco arenosa, marrom, com pedregulhos (avanço a trado).
- **1,00 – 4,00 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, marrom. A resistência à penetração SPT "in situ" varia de N=7 a N=9, sendo classificado como médio.

- **4,00 – 10,18 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, cinza/marrom variegado, micáceo, estratificado. Apresenta resistência SPT "in situ" elevada, com N variando de 26 a 51, sendo classificado como duro, com uma passagem muito rija aos 5,00 m.

- **Sondagem SP-08**

Sondagem executada com 24,30 m, sendo a mais profunda da campanha, com perfil de solo siltoso-argiloso e areno-argiloso. Caracterização resumida do furo:

- **0,00 – 1,00 m:** Avanço com trado.
- **1,00 – 7,00 m:** Alternância de silte argiloso (amarelo/cinza) e silte areno-argiloso (amarelo). A resistência SPT "in situ" varia de N=9 a N=26, classificando o solo como rijo a muito rijo e medianamente compacto a compacto.
- **7,00 – 15,45 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, amarelo, estratificado. A resistência à penetração SPT "in situ" varia de N=8 a N=35, sendo classificado como rijo.
- **15,45 – 24,30 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, cinza variegado, micáceo, estratificado, com fragmentos de rocha alterada. A resistência SPT "in situ" é elevada, com N variando de 16 a 57, classificando o solo como rijo a duro. O nível d'água foi encontrado a 6,30 m.

- **Sondagem SP-09**

Sondagem executada com 8,17 m, em solo argiloso e siltoso. Caracterização resumida do furo:

- **0,00 – 1,00 m:** Argila siltosa, pouco arenosa, marrom, com pedregulhos (avanço a trado).
- **1,00 – 8,17 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, cinza variegado, micáceo, com fragmentos de rocha alterada. A resistência à penetração SPT "in situ" é crescente, com N variando de 14 a 51, sendo classificado como rijo a duro.

- **Sondagem SP-10**

Sondagem executada com 10,16 m, em solo predominantemente siltoso-argiloso. Caracterização resumida do furo:

- **0,00 – 1,00 m:** Avanço com trado.
- **1,00 – 5,65 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, vermelho, micáceo. A resistência à penetração SPT "in situ" varia de N=7 a N=41, sendo classificado de médio a duro.
- **5,65 – 10,16 m:** Silte argiloso, pouco arenoso, marrom variegado, com fragmentos de rocha alterada. A resistência SPT "in situ" permanece elevada, com N variando de 35 a 43, sendo classificado como duro. A sondagem foi executada a seco.

Na próxima tabela são apresentadas as médias das médias, dos mínimos e dos máximos das resistências a penetração do SPT (originais e corrigidas) e das condutividades hidráulicas dos diversos horizontes geotécnicos identificados (solos e transição saprólito-rocha).

Tabela 29 – Penetrabilidade e Permeabilidade / Média das Médias, do Máximos e dos Mínimos dos Materiais Terrosos (campanha 2019 e 2021).

Material		N	u (kPa)	$\sigma'v$ (kPa)	N60	(N1)60	K (cm/s)
Coluvio							
	médio	8,17	7,40	29,50	9,53	17,60	IMPERM.
	mínimo	0,67	3,80	27,80	0,78	1,42	IMPERM.
	máximo	25,00	10,20	30,60	29,17	53,79	IMPERM.
SR - argila mole							
	médio	P/48	13,90	53,15	2,63	3,45	3,64E-05
	mínimo	P/60	25,60	45,40	<1,0	<1,0	IMPERM.
	máximo	0,67	52,31	74,90	7,00	6,68	3,90E-05
SR / SAP							
	médio	26,27	218,93	326,68	30,65	21,88	4,18E-04
	mínimo	4,00	0,00	38,00	4,67	2,64	IMPERM.
	máximo	150,00	725,70	1.117,30	175,00	122,14	4,04E-03
Saprolito compacto							
	médio	149,91	388,54	533,73	190,51	81,64	1,66E-04
	mínimo	20,00	142,50	211,80	23,33	11,67	2,00E-06
	máximo	540,00	729,20	1.217,80	1.154,99	440,02	1,26E-03
SAP/RCH							
	médio	464,89	371,20	551,54	474,63	253,95	4,38E-04
	mínimo	28,00	0,00	143,80	32,67	14,21	1,50E-05
	máximo	1.440,00	838,40	1.002,95	1.679,99	766,19	4,00E-03

Nas figuras a seguir são apresentados os perfis individuais reduzidos (mini-logs) das sondagens realizadas e dos instrumentos de monitoramento hidrogeotécnico instalados.

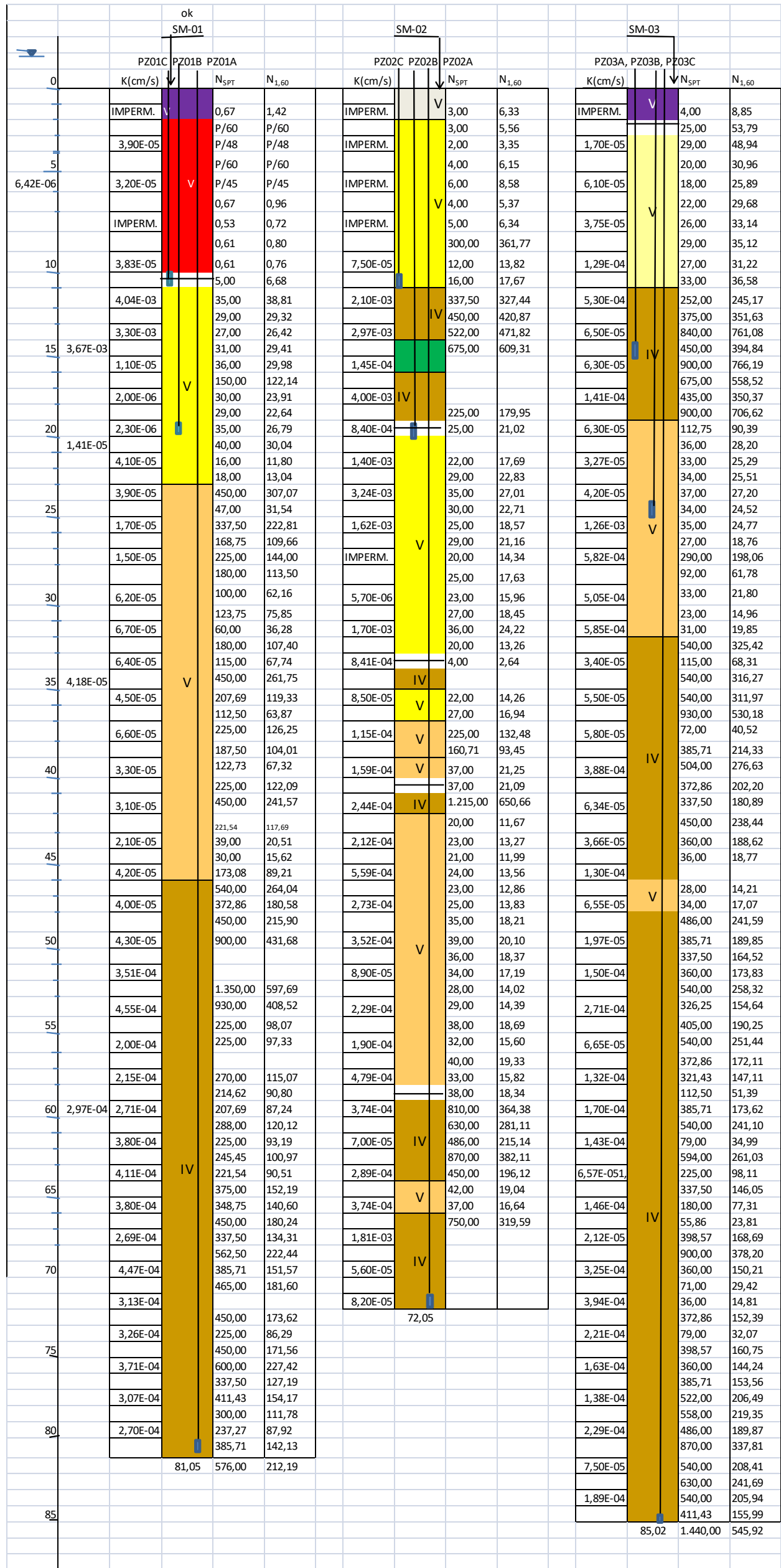


Figura 98 – SM-01, SM-02 e SM-03 – Perfis Individuais de Sondagens Resumidos (Mini-logs) (Campanha 2019 e 2021).

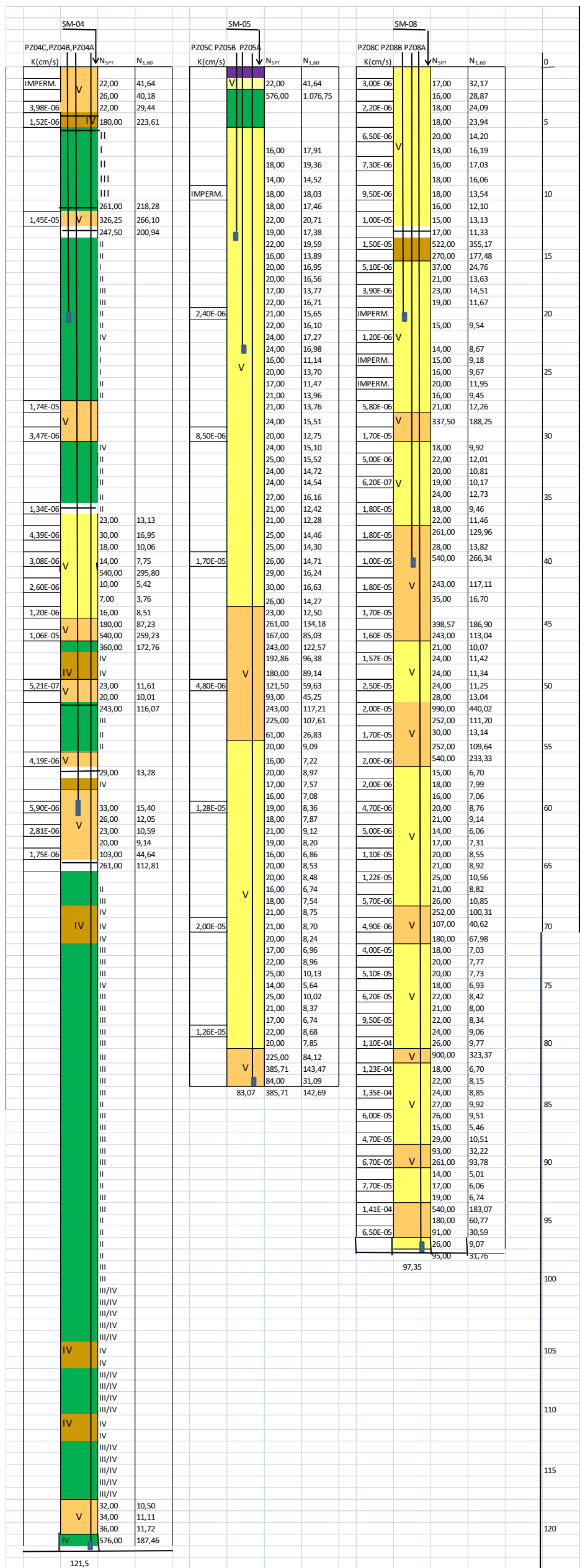


Figura 99 – SM-04, SM-05 e SM-08 – Perfis Individuais de Sondagens Resumidos (Mini-logs) (Campanha 2019 e 2021).








MINI LOG'S / LEGENDAS E CONVEÇÕES	
	Colúvio / solo residual maduro: textura variando entre areia fina argilosa e argila, pouco siltsosa, pouco arenosa, cinza a marrom avermelhada, condutividade hidráulica nula.
	Solo residual: argila muito mole, condutividade hidráulica variando entre nula e baixa (3,20E-05cm/s).
	Solo residual / saprolito: silte arenoso pouco argiloso a silte pouco arenoso, pouco argiloso, marrom. Condutividade hidráulica média de 4,18E-04 cm/s.
	Saprolito: Predominantemente silte arenoso pouco argiloso, cinza, condutividade hidráulica média de 1,66E-04cm/s.
	Transição saprolito - rocha (rocha muito decomposta ou rocha branda): passagens rochosas saprolitizadas contendo blocos rochosos intercalados. Permeabilidade média 4,38E-04 cm/s.
	Rocha medianamente decomposta a sã (D3 a D1), medianamente (C3) a muito (C1) consistente e fragmentada (F5) a pouco fraturada (F1), classes III a I (RMR).
I a V	Classes Geomecânicas (Bieniowski, 1989)
PT	 Perda total da água de circulação durante a perfuração
N	Resistência "in situ" à penetração do amostrador padrão SPT
N(1,60)	Resistência à penetração SPT normalizada (corrigida) a partir dos resultados dos ensaios SPT
P/45	Penetração em centímetros apenas com o apoio do peso sobre a composição de penetração, nos ensaios SPT
K (cm/s)	Condutividade hidráulica (em cm/s) obtida nos ensaios de infiltração executados no decorrer das perfurações

Figura 100 – Perfis Individuais Resumidos / Legendas e Convenções (Campanha 2019 e 2021).

CONTRATANTE:			CONTRATADA:			SONDAGEM:		01		INÍCIO:		28/07/2025												
						FURO:		SP-01		TÉRMINO:		28/07/2025												
						COORDENADAS E COTA																		
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO						E =		VER OBS. 1		N =		VER OBS. 1												
OBRA: PROJETO PILHA NORTE - UNIDADE DE ITABIRITO						PROGRES. (m):		-		COTA(m):		VER OBS. 1												
ESTRATIGRAFIA	ELEVACÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	CONFORME ABNT NBR-6484		PROFUNDIDADE	PENETRAÇÃO (Nº DE GOLPES / 15 cm)			RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO INICIAL/FINAL		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO						REVESTIMENTO							
	(m)	(m)	PESO: 65 Kg ALTURA DE QUEDA: 75 cm REVESTIMENTO: Ø 2 1/2" AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK Ø INTERNO: 34,9 mm // Ø EXTERNO: 50,8 mm			1º	2º	3º	INICIAL	FINAL	— SPT 30 cm INICIAIS — SPT 30 cm FINAIS													
			CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA								0 10 20 30 40 50 60													
	(m)	(m)			(m)	1º	2º	3º	INICIAL	FINAL							(m)							
		0,80	ARGILA ARENOSA, POUCO SILTOSA, MARROM.		1,00	TRADO																		
				SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, MARROM/VERMELHO, COM PASSAGENS DE PEDREGULHOS.	1,45	3	3	3	6								6							
		3,00		MÉDIO A MOLE.	2,45	4	2	3	6								5							
					3,45	3	3	4	6								7							
				SILTE ARENO-ARGILOSO, CINZA VARIEGADO, MICÁCEO, COM FRAGMENTOS DE ROCHA ALTERADA.	4,45	4	5	6	9								11							
		6,00		POUCO COMPACTO A MEDIANAMENTE COMPACTO.	5,45	3	6	8	9								14							
		7,00		SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, MARROM.	6,45	4	4	6	8								10							
				MÉDIO.	7,45	5	6	8	11								14							
					8,45	7	10	13	17								23							
					9,45	9	17	20	26								37							
				SILTE ARENO-ARGILOSO, CINZA, MICÁCEO, COM FRAGMENTOS DE ROCHA ALTERADA.	10,45	11	20	28	31								48							
				MEDI ANAMENTE COMPACTO A MUITO COMPACTO.	11,35	14	21	20/05	35								41/20							
					12,18	18	20/03	-	38/18								20/03							
					13,20	16	23/05	-	39/20								23/05							
		13,20		13,20 M - LIMITE DE SONDAGEM, CONFORME CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PELA CONTRATANTE.																				
	OBSERVAÇÕES: 1 - Aguardando os dados de locação a serem fornecidos pela equipe de topografia. 2 - Coleta de amostra Shelby entre 2,00 e 3,00m, em furo gêmeo ao SP-01.																							
	EQUIPE DE CAMPO					AVANÇOS (m)											LAVAGEM POR TEMPO (30min)							
SONDADOR: ORLANDO FERREIRA COSTA					AVANÇO A TRADO: 1,00					TEMPO		0' a 10'		10' a 20'		20' a 30'								
AJUDANTE: GENESIO FERREIRA DA SILVA					AVANÇO POR LAVAGEM: 6,97					DE:														
AJUDANTE: YURI DE PAULA BARBOSA					FURO DESTRUTIVO:					PARA:														
AJUDANTE:					PROF. REVESTIMENTO: 3,00					AVANÇO (cm):														
RESPONSÁVEL TÉCNICO			FISCALIZAÇÃO		LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)					MOTIVO DE PARALISAÇÃO														
GEÓLOGO: DAVI MELEU			FISCAL: IGOR FELIPE		Seco EM 28/07/2025 INICIAL					SEGURANÇA DA EQUIPE														
ASSINATURA:			ASSINATURA:		2,10m EM 30/07/2025 FINAL					X ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA														
CREA: 41.244/D-RS			CREA:							X IMPENETRÁVEL AO SPT														
										X COTA DE PROJETO														

Figura 101 – Perfis Individuais SP-01 (Campanha 2025).




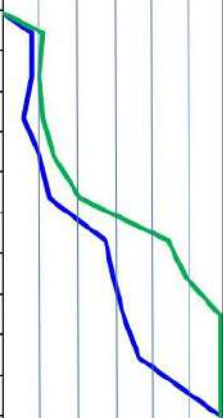
CONTRATANTE:			CONTRATADA:			SONDAGEM: 02			INÍCIO: 25/07/2025								
						FURO: SP-02			TÉRMINO: 25/07/2025								
						COORDENADAS E COTA											
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO						E = 611.202,926			N = 7.760.822,827								
OBRA: PROJETO PILHA NORTE - UNIDADE DE ITABIRITO						PROGRES. (m): -			COTA (m): 1.263,378								
ESTRATIGRAFIA	ELEVACÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	CONFORME ABNT NBR-6484		PROFUNDIDADE	PENETRAÇÃO (Nº DE GOLPES / 15 cm)			RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO INICIAL/FINAL		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO						REVESTIMENTO
			PESO: 65 Kg ALTURA DE QUEDA: 75 cm REVESTIMENTO: Φ 2 1/2" AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK Φ INTERNO: 34,9 mm // Φ EXTERNO: 50,8 mm														
	(m)	(m)	CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA		(m)	1º	2º	3º	INICIAL	FINAL							(m)
	1.260,57	2,81	SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, VERMELHO, COM PASSAGENS DE PEDREGULHOS. RIO A MÉDIO.		1,00	TRADO											
					1,45	3	5	6	8	11							
					2,45	4	4	6	8	10							
	1.253,21	10,17	SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, MARROM/VERMELHO VARIEGADO, MICÁCEO, COM FRAGMENTOS DE ROCHA ALTERADA. RIO A DURO.		3,45	2	4	7	6	11							
					4,45	4	6	8	10	14							
					5,45	5	8	13	13	21							
					6,45	10	18	27	28	45							
					7,45	11	19	31	30	50							
					8,35	13	20	20/05	33	40/20							
					9,33	14	23	20/03	37	43/18							
					10,17	18	23/02	-	41/17	23/02							
					10,17 M - LIMITE DE SONDAGEM, CONFORME CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PELA CONTRATANTE.												
OBSERVAÇÕES: Sondagem executada à seco devido a impossibilidade de levar água para lavagem até o local do furo.																	
EQUIPE DE CAMPO					AVANÇOS (m)					LAVAGEM POR TEMPO (30min)							
SONDADOR: ORLANDO FERREIRA COSTA					AVANÇO A TRADO: 1,00					TEMPO: 0' a 10' 10' a 20' 20' a 30'							
AJUDANTE: GENESIO FERREIRA DA SILVA					AVANÇO POR LAVAGEM:					DE:							
AJUDANTE: ANTONIO GERALDO RODRIGUES JUNIOR					FURO DESTRUTIVO:					PARA:							
AJUDANTE: YURI DE PAULA BARBOSA					PROF. REVESTIMENTO:					AVANÇO (cm):							
RESPONSÁVEL TÉCNICO		FISCALIZAÇÃO			LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)					MOTIVO DE PARALISAÇÃO							
GEÓLOGO: DAVI MELEU		FISCAL: IGOR FELPE			Seco EM 25/07/2025 INICIAL					SEGURANÇA DA EQUIPE							
ASSINATURA:		ASSINATURA:			Seco EM 25/07/2025 FINAL					X ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA							
CREA: 41.244/D-RS		CREA:								X IMPENETRÁVEL AO SPT							
										X COTA DE PROJETO							

Figura 102 – Perfis Individuais SP-02 (Campanha 2025).




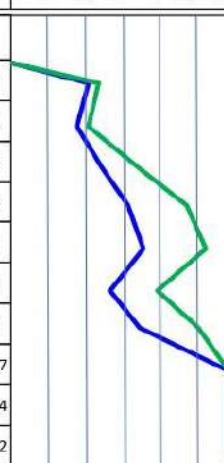


CONTRATANTE:			CONTRATADA:			SONDAGEM: 03			INÍCIO: 18/07/2025									
						FURO: SP-03			TÉRMINO: 18/07/2025									
						COORDENADAS E COTA												
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO						E = 611.043,933			N = 7.760.713,093									
OBRA: PROJETO PILHA NORTE - UNIDADE DE ITABIRITO						PROGRES. (m): -			COTA (m): 1.230,045									
ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	CONFORME ABNT NBR-6484		PROFUNDIDADE	PENETRAÇÃO (Nº DE GOLPES / 15 cm)			RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO INICIAL/FINAL		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO						REVESTIMENTO	
			PESO: 65 Kg ALTURA DE QUEDA: 75 cm REVESTIMENTO: Ø 2 1/2" AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK Ø INTERNO: 34,9 mm // Ø EXTERNO: 50,8 mm															
	(m)	(m)	CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA		(m)	1º	2º	3º	INICIAL	FINAL	0	10	20	30	40	50	60	(m)
	1.229,25	0,80	ARGILA SILTOSA, POUCO ARENOSA, MARROM.		1,00	TRADO												
					1,45	10	11	13	21	24								
			SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, MARROM VARIEGADO, ESTRATIFICADO. MUITO RIJO A DURO.		2,45	8	10	11	18	21								
	1.226,05	4,00			3,45	10	15	20	25	35								
					4,45	13	19	29	32	48								
			SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, VERMELHO. DURO.		5,45	15	21	32	36	53								
					6,45	10	17	23	27	40								
	1.222,05	8,00			7,45	13	22	29	35	51								
			SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, MARROM VARIEGADO, ESTRATIFICADO, COM FRAGMENTOS DE ROCHA ALTERADA. DURO.		8,22	18	20/07	-	48/22	20/07								
					9,19	20	20/04	-	40/19	20/04								
	1.219,88	10,17	10,17 M - LIMITE DE SONDAGEM, CONFORME CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PELA CONTRATANTE.		10,17	19	20/02	-	39/17	20/02								
OBSERVAÇÕES:																		
EQUIPE DE CAMPO					AVANÇOS (m)					LAVAGEM POR TEMPO (30min)								
SONDADOR: GENESIO FERREIRA DA SILVA					AVANÇO A TRADO: 1,00					TEMPO				0' a 10' 10' a 20' 20' a 30'				
AJUDANTE: VALERIO DOS SANTOS GOMES					AVANÇO POR LAVAGEM: 5,44					DE:								
AJUDANTE: GEILSON GUEDES					FURO DESTRUTIVO:					PARA:								
AJUDANTE: YURI DE PAULA BARBOSA					PROF. REVESTIMENTO: 2,00					AVANÇO (cm):								
RESPONSÁVEL TÉCNICO			FISCALIZAÇÃO		LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)					MOTIVO DE PARALISAÇÃO								
GEÓLOGO: DAVI MELEU			FISCAL: IGOR FELIPE		Seco EM 18/07/2025 INICIAL					SEGURANÇA DA EQUIPE								
ASSINATURA:			ASSINATURA:		Seco EM 19/07/2025 FINAL					X ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA								
CREA: 41.244/D-RS			CREA:							X IMPENETRÁVEL AO SPT								
										X COTA DE PROJETO								

Figura 103 – Perfis Individuais SP-03 (Campanha 2025).

CONTRATANTE:



CONTRATADA:



SONDAGEM: 04

INÍCIO: 19/07/2025

FURO: SP-04

TÉRMINO: 19/07/2025

COORDENADAS E COTA

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO


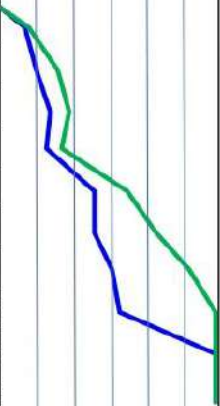
E = 610.989,019

N = 7.760.664,044

OBRA: PROJETO PILHA NORTE - UNIDADE DE ITABIRITO

PROGRES. (m): -

COTA (m): 1.245,940

ESTRATIGRAFIA	ELEVACÃO	ESPESSURA DAS CAMADAS	CONFORME ABNT NBR-6484		PROFUNDIDADE	PENETRAÇÃO (Nº DE GOLPES / 15 cm)			RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO INICIAL/FINAL		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		REVES TIMENTO						
			PESO: 65 Kg	ALTURA DE QUEDA: 75 cm															
	(m)	(m)	CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA		(m)	1º	2º	3º	INICIAL	FINAL	0	10	20	30	40	50	60	(m)	
	1.244,14	1,80	SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, MARROM/ CINZA VARIEGADO, MICÁCEO.		1,00	TRADO													
			MÉDIO.		1,45	3	4	4	7	8									
			SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, CINZA, MICÁCEO, COM FRAGMENTOS DE ROCHA ALTERADA. RÍO A DURO.		2,45	4	6	10	10	16									
					3,45	6	8	11	14	19									
					4,45	6	7	10	13	17									
					5,45	11	15	20	26	35									
					6,45	10	16	27	26	43									
					7,45	12	19	33	31	52									
					8,40	14	19	20/10	33	39/25									
					9,18	17	20/03	-	37/18	20/03									
					10,18	20	17/03	-	37/18	17/03									
					10,18 M - LIMITE DE SONDAGEM, CONFORME CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PELA CONTRATANTE.														
OBSERVAÇÕES:																			

EQUIPE DE CAMPO				AVANÇOS (m)				LAVAGEM POR TEMPO (30min)			
SONDADOR: GENESIO FERREIRA DA SILVA				AVANÇO A TRADO: 1,00				TEMPO 0'a 10' 10'a 20' 20'a 30'			
AJUDANTE: VALERIO DOS SANTOS GOMES				AVANÇO POR LAVAGEM: 5,27				DE:			
AJUDANTE: GEILSON GUEDES				FURO DESTRUTIVO:				PARA:			
AJUDANTE:				PROF. REVESTIMENTO: 2,00				AVANÇO (cm):			
RESPONSÁVEL TÉCNICO		FISCALIZAÇÃO		LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)				MOTIVO DE PARALISAÇÃO			
GEÓLOGO: DAVI MELEU		FISCAL: IGOR FELIPE		Seco EM 19/07/2025 INICIAL				SEGURANÇA DA EQUIPE			
ASSINATURA:		ASSINATURA:		Seco EM 21/07/2025 FINAL				X ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA			
CREA: 41.244/D-RS		CREA:						X IMPENETRÁVEL AO SPT			
								X COTA DE PROJETO			

Figura 104 – Perfis Individuais SP-04 (Campanha 2025).




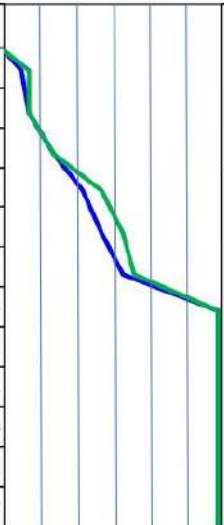
CONTRATANTE:			CONTRATADA:			SONDAGEM: 05			INÍCIO: 12/07/2025																	
						FURO: SP-05			TÉRMINO: 14/07/2025																	
						COORDENADAS E COTA																				
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO						E = 611.064,008			N = 7.760.660,976																	
OBRA: PROJETO PILHA NORTE - UNIDADE DE ITABIRITO						PROGRES. (m): -			COTA (m): 1.225,574																	
ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	CONFORME ABNT NBR-5484		PROFUNDIDADE	PENETRAÇÃO (Nº DE GOLPES / 15 cm)			RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO INICIAL/FINAL		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO						REVESTIMENTO									
			PESO: 65 Kg	ALTURA DE QUEDA: 75 cm																						
	REVESTIMENTO: Ø 2 1/2"		AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK			Φ INTERNO: 34,9 mm // Φ EXTERNO: 50,8 mm																				
(m)		(m)	CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA		(m)	1º	2º	3º	INICIAL	FINAL	0 10 20 30 40 50 60						(m)									
	1.213,35	12,22	SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, CINZA, MICÁCEO, ESTRATIFICADO, COM FRAGMENTOS DE ROCHA ALTERADA. MÉDIO ADURO.		1,00	TRADO																				
					1,45	2	3	4	5	7																
					2,45	4	3	4	7	7																
					3,45	7	7	7	14	14																
					4,45	11	11	16	22	27																
					5,45	12	15	18	27	33																
					6,45	16	17	19	33	36																
					7,20	13	35/05	-	48/20	35/05																
					8,17	18	30/02	-	38/17	30/02																
					9,16	35	10/01	-	45/16	10/01																
					10,21	25	23/06	-	48/21	23/06																
					11,17	28	30/02	-	58/17	30/02																
					12,22	30	24/07	-	54/22	34/07																
					12,22 M - LIMITE DE SONDAGEM, CONFORME CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PELA CONTRATANTE.																					
					OBSERVAÇÕES:																					
EQUIPE DE CAMPO					AVANÇOS (m)					LAVAGEM POR TEMPO (30min)																
SONDADOR: JULIO CESAR SILVA OLIVEIRA					AVANÇO A TRADO: 1,00					TEMPO																
AJUDANTE: EDEMES DOS SANTOS OLIVEIRA					AVANÇO POR LAVAGEM: 7,39					DE:																
AJUDANTE: GEILSON GUEDES					FURO DESTRUTIVO:					PARA:																
AJUDANTE: YURI DE PAULA BARBOSA					PROF. REVESTIMENTO: 4,00					AVANÇO (cm):																
RESPONSÁVEL TÉCNICO			FISCALIZAÇÃO		LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)					MOTIVO DE PARALISAÇÃO																
GEÓLOGO: DAVI MELEU			FISCAL: IGOR FELIPE		Sec o EM 12/07/2025 INICIAL					SEGURANÇA DA EQUIPE																
ASSINATURA:			ASSINATURA:		Sec o EM 14/07/2025 FINAL					X ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA																
CREA: 41.244/D-RS			CREA:							X IMPENETRÁVEL AO SPT																
										X COTA DE PROJETO																

Figura 105 – Perfis Individuais SP-05 (Campanha 2025).




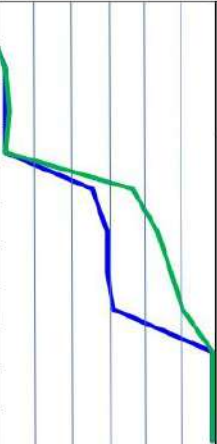
CONTRATANTE:			CONTRATADA:			SONDAGEM: 06		INÍCIO: 22/07/2025				
						FURO: SP-06		TÉRMINO: 22/07/2025				
						COORDENADAS E COTA						
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO						E = 611.159,980		N = 7.760.670,986				
OBRA: PROJETO PILHA NORTE - UNIDADE DE ITABIRITO						PROGRES. (m): -		COTA (m): 1.224,388				
ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	CONFORME ABNT NBR-6484		PROFUNDIDADE	PENETRAÇÃO (Nº DE GOLPES / 15 cm)	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO INICIAL/FINAL	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO		REVESTIMENTO		
			PESO: 65 Kg	ALTURA DE QUEDA: 75 cm								
	REVESTIMENTO: Φ 2 1/2"		AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK					SPT 30 cm INICIAIS				
		Φ INTERNO: 34,9 mm // Φ EXTERNO: 50,8 mm		SPT 30 cm FINAIS								
(m)		(m)	CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA		(m)	1º	2º	3º	INICIAL	FINAL	0 10 20 30 40 50 60	(m)
	1.222,89	1,50	SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, MARROM VARIEGADO.		1,00	TRADO						
			MUITO MOLE.		1,45	1	1	1	2	2		
					2,45	1	1	2	2	3		
					3,45	1	1	1	2	2		
					4,45	10	16	21	26	37		
					5,45	12	18	26	30	44		
			SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, VERMELHO.		6,45	11	19	29	30	48		
			MOLE A DURO, COM PASSAGEM MUITO MOLE AOS 3,00M.		7,45	12	20	31	32	51		
					8,20	19	20/05	-	39/20	20/05		
					9,18	21	20/03	-	41/18	20/03		
	1.214,23	10,16			10,16	20	20/01	-	40/16	20/01		
			10,16 M - LIMITE DE SONDAGEM, CONFORME CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PELA CONTRATANTE.									
OBSERVAÇÕES: Coleta de amostra Shelby entre 2,00 e 3,00m, em furo gêmeo ao SP-06.												
EQUIPE DE CAMPO					AVANÇOS (m)			LAVAGEM POR TEMPO (30min)				
SONDADOR: ORLANDO FERREIRA COSTA					AVANÇO A TRADO: 1,00			TEMPO		0'a 10' 10'a 20' 20'a 30'		
AJUDANTE: GENESIO FERREIRA DA SILVA					AVANÇO POR LAVAGEM: 5,47			DE:				
AJUDANTE: EDEMES DOS SANTOS OLIVEIRA					FURO DESTRUTIVO:			PARA:				
AJUDANTE: YURI DE PAULA BARBOSA					PROF. REVESTIMENTO: 3,00			AVANÇO (cm):				
RESPONSÁVEL TÉCNICO			FISCALIZAÇÃO		LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)			MOTIVO DE PARALISAÇÃO				
GEÓLOGO: DAVI MELEU			FISCAL: IGOR FELIPE		Seco EM 22/07/2025 INICIAL			SEGURANÇA DA EQUIPE				
ASSINATURA:			ASSINATURA:		Seco EM 23/07/2025 FINAL			X ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA				
CREA: 41.244/D-RS			CREA:					X IMPENETRÁVEL AO SPT				
								X COTA DE PROJETO				

Figura 106 – Perfis Individuais SP-06 (Campanha 2025).




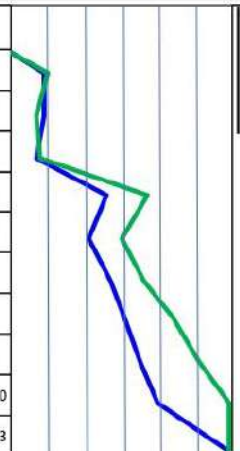
CONTRATANTE:			CONTRATADA:			SONDAGEM: 07			INÍCIO: 16/07/2025															
						FURO: SP-07			TÉRMINO: 17/07/2025															
						COORDENADAS E COTA																		
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO						E = 611.228,142			N = 7.760.589,284															
OBRA: PROJETO PILHA NORTE - UNIDADE DE ITABIRITO						PROGRES. (m): -			COTA (m): 1.242,835															
ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPESSURA DAS CAMADAS	CONFORME ABNT NBR-6484		PROFUNDIDADE	PENETRAÇÃO (Nº DE GOLPES / 15 cm)	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO INICIAL/FINAL	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO								REVESTIMENTO								
			PESO: 65 Kg ALTURA DE QUEDA: 75 cm REVESTIMENTO: Φ 2 1/2" AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK Φ INTERNO: 34,9 mm // Φ EXTERNO: 50,8 mm					— SPT 30 cm INICIAIS — SPT 30 cm FINAIS																
	(m)	(m)	CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA		(m)	1º	2º	3º	INICIAL	FINAL	0	10	20	30	40	50	60	(m)						
	1242,54	0,30	ARGILA SILTOSA, POUCO ARENOSA, MARROM, COM PEDREGULHOS.		1,00	TRADO																		
			SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, MARROM. MÉDIO.		1,45	4	5	5	9	10														
					2,45	5	4	3	9	7														
	1238,84	4,00			3,45	3	4	4	7	8														
			SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, CINZA/ MARROM VARIEGADO, MICACEO, ESTRATIFICADO. DURO, COM PASSAGEM MUITO RIJA AOS 5,00M.		4,45	12	14	23	26	37														
					5,45	10	11	19	21	30														
					6,45	11	16	20	27	36														
					7,45	13	18	26	31	44														
					8,45	12	23	28	35	51														
					9,35	15	25	20/05	40	45/20														
					10,18	20	23/03	-	43/18	23/03														
					10,18 M - LIMITE DE SONDAGEM, CONFORME CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PELA CONTRATANTE.																			
OBSERVAÇÕES:																								
EQUIPE DE CAMPO					AVANÇOS (m)					LAVAGEM POR TEMPO (30min)														
SONDADOR: JULIO CESAR SILVA OLIVEIRA					AVANÇO A TRADO: 1,00					TEMPO				0' a 10' 10' a 20' 20' a 30'										
AJUDANTE: VALERIO DOS SANTOS GOMES					AVANÇO POR LAVAGEM: 5,05					DE:														
AJUDANTE: GEILSON GUEDES					FURO DESTRUTIVO:					PARA:														
AJUDANTE: YURI DE PAULA BARBOSA					PROF. REVESTIMENTO: 3,00					AVANÇO (cm):														
RESPONSÁVEL TÉCNICO			FISCALIZAÇÃO		LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)					MOTIVO DE PARALISAÇÃO														
GEÓLOGO: DAVI MELEU			FISCAL: IGOR FELIPE		Seco EM 17/07/2025 INICIAL					SEGURANÇA DA EQUIPE														
ASSINATURA:			ASSINATURA:		Seco EM 18/07/2025 FINAL					X ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA														
CREA: 41.244/D-RS			CREA:							X IMPENETRÁVEL AO SPT														
										X COTA DE PROJETO														

Figura 107 – Perfis Individuais SP-07 (Campanha 2025).

CONTRATANTE:			CONTRATADA:			SONDAGEM:		08		INÍCIO:		03/07/2025											
						FURO:		SP-08		TÉRMINO:		04/07/2025											
						COORDENADAS E COTA																	
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO						E =		611.097,968		N =		7.760.601,067											
OBRA: PROJETO PILHA NORTE - UNIDADE DE ITABIRITO						PROGRES. (m):		-		COTA (m):		1.224,567											
ESTRATIGRAFIA	ELEVACÃO	ESPESSURA DAS CAMADAS	CONFORME ABNT NBR-6484		PROFUNDIDADE	PENETRAÇÃO (Nº DE GOLPES / 15 cm)			RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO INICIAL/FINAL		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO								REVESTIMENTO				
			PESO: 65 Kg ALTURA DE QUEDA: 75 cm REVESTIMENTO: Φ 2 1/2" AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK Φ INTERNO: 34,9 mm // Φ EXTERNO: 50,8 mm																				
	(m)	(m)	CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA		(m)	1º	2º	3º	INICIAL	FINAL									(m)				
	1.220,85	3,72	SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, AMARELO/ CINZA VARIEGADO, MICÁCEO, ESTRATIFICADO. RIJO A MUITO RIJO.		1,00	TRADO																	
					1,45	5	4	10	9	14													
					2,45	8	11	15	19	26													
					3,45	4	9	12	13	21													
					4,45	3	9	10	12	19													
	1.217,57	7,00	SILTE ARENO-ARGILOSO, AMARELO, COM PASSAGENS DE PEDREGULHOS. COMPACTO A MEDIANAMENTE COMPACTO.		5,45	5	8	9	13	17													
					6,45	4	7	11	11	18													
					7,45	3	6	8	9	14													
	1.215,57	9,00	SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, AMARELO, ESTRATIFICADO. RIJO.		8,00																		
					9,45	3	5	6	8	11													
	1.200,27	24,30	SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, CINZA VARIEGADO, MICÁCEO, ESTRATIFICADO, COM FRAGMENTOS DE ROCHA ALTERADA. RIJO A DURO.		10,45	4	6	7	10	13													
					11,45	3	4	10	7	14													
					12,45	7	14	16	21	30													
					13,45	5	16	18	21	34													
					14,45	9	15	20	24	35													
					15,45	4	10	15	14	25													
					16,45	5	11	17	16	28													
					17,45	8	13	12	21	25													
					18,45	6	16	21	22	37													
					19,45	7	17	24	24	41													
					20,39	10	20	32/09	30	52/24													
					21,45	13	26	31	39	57													
					22,45	9	21	29	30	50													
					23,34	14	24	26/04	38	50/19													
					24,30	22	31	-	53/30	31/15													
24,30 M - LIMITE DE SONDAGEM, CONFORME CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PELA CONTRATANTE.																							
OBSERVAÇÕES:																							
EQUIPE DE CAMPO					AVANÇOS (m)					LAVAGEM POR TEMPO (30min)													
SONDADOR: ORLANDO FERREIRA COSTA					AVANÇO A TRADO: 1,00					TEMPO								0' a 10'		10' a 20'		20' a 30'	
AJUDANTE: ADIVALDO DOS SANTOS SILVA					AVANÇO POR LAVAGEM: 12,27					DE:													
AJUDANTE: EDEMES DOS SANTOS OLIVEIRA					FURO DESTRUTIVO:					PARA:													
AJUDANTE: GEILSON GUEDES / YURI DE PAULA BARBOSA					PROF. REVESTIMENTO: 4,00					AVANÇO (cm):													
RESPONSÁVEL TÉCNICO			FISCALIZAÇÃO		LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)					MOTIVO DE PARALISAÇÃO													
GEÓLOGO: DAVI MELEJ			FISCAL: IGOR FELIPE		6,30 EM 04/07/2025 INICIAL					SEGURANÇA DA EQUIPE													
ASSINATURA:			ASSINATURA:		6,40 EM 05/07/2025 FINAL					X ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA													
CREA: 41.244/D-RS			CREA:							X IMPENETRÁVEL AO SPT													
										X COTA DE PROJETO													

Figura 108 – Perfis Individuais SP-08 (Campanha 2025).




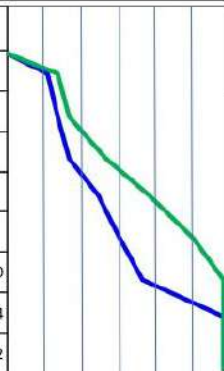

CONTRATANTE:			CONTRATADA:			SONDAGEM:			09			INÍCIO:			30/07/2025											
						FURO:			SP-09			TÉRMINO:			31/07/2025											
						COORDENADAS E COTA																				
PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO									E =			VER OBS. 1			N =			VER OBS. 1								
OBRA: PROJETO PILHA NORTE - UNIDADE DE ITABIRITO									PROGRES. (m):			-			COTA (m):			VER OBS. 1								
ESTRATIGRAFIA	ELEVACÃO	ESPESURA DAS CAMADAS	CONFORME ABNT NBR-6484		PROFUNDIDADE	PENETRAÇÃO (Nº DE GOLPES / 15 cm)			RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO INICIAL/FINAL		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO						REVESTIMENTO									
			PESO: 65 Kg	ALTURA DE QUEDA: 75 cm							— SPT 30 cm INICIAIS — SPT 30 cm FINAIS															
	(m)	(m)	CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA		(m)	1º	2º	3º	INICIAL	FINAL	0	10	20	30	40	50	60	(m)								
		0,92	ARGILA SILTOSA, POUCO ARENOSA, MARROM, COM PEDREGULHOS.		1,00	TRADO																				
					1,45	5	6	8	11	14																
					2,45	6	8	9	14	17																
					3,45	5	12	15	17	27																
			SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, CINZA VARIEGADO, MICÁCEO, COM FRAGMENTOS DE ROCHA ALTERADA. RIJO A DURO.		4,45	8	17	22	25	39																
					5,45	11	20	31	31	51																
					6,35	14	23	20/05	37	43/20																
					7,19	19	20/04	-	39/19	20/04																
					8,17	20	20/02	-	40/17	20/02																
		8,17	8,17 M - LIMITE DE SONDAGEM, CONFORME CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PELA CONTRATANTE.																							
OBSERVAÇÕES: 1 - Aguardando os dados de locação a serem fornecidos pela equipe de topografia. 2 - Amostras de 7,19 e 8,17m não recuperadas.																										
EQUIPE DE CAMPO					AVANÇOS (m)					LAVAGEM POR TEMPO (30 min)																
SONDADOR: ORLANDO FERREIRA COSTA					AVANÇO A TRADO: 1,00					TEMPO					0' a 10'				10' a 20'				20' a 30'			
AJUDANTE: GENESIO FERREIRA DA SILVA					AVANÇO POR LAVAGEM: 4,21					DE:																
AJUDANTE: YURI DE PAULA BARBOSA					FURO DESTRUTIVO:					PARA:																
AJUDANTE:					PROF. REVESTIMENTO: 2,00					AVANÇO (cm):																
RESPONSÁVEL TÉCNICO			FISCALIZAÇÃO			LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)					MOTIVO DE PARALISAÇÃO															
GEÓLOGO: DAVI MELEU			FISCAL: IGOR FELIPE			Seco EM 30/07/2025 INICIAL					X SEGURANÇA DA EQUIPE															
ASSINATURA:			ASSINATURA:			Seco EM 01/08/2025 FINAL					X ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA															
CREA: 41.244/D-RS			CREA:								X IMPENETRÁVEL AO SPT															
											X COTA DE PROJETO															


Figura 109 – Perfis Individuais SP-09 (Campanha 2025).

CONTRATANTE:



HERCULANO
MINERAÇÃO

CONTRATADA:



DM GEO
30 ANOS

SONDAGEM:

10

INÍCIO:

26/07/2025

FURO:

SP-10

TÉRMINO:

26/07/2025


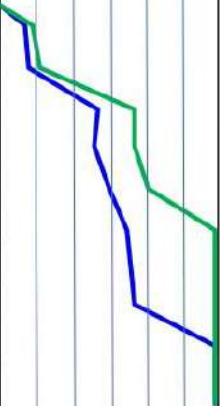
COORDENADAS E COTA

PERFIL INDIVIDUAL DE SONDAGEM À PERCUSSÃO

E – 611.113,310N – 7.760.840,263

OBRA: PROJETO PILHA NORTE - UNIDADE DE ITABIRITO

PROGRES. (m): -COTA (m): 1.258,248

ESTRATIGRAFIA	ELEVÇÃO	ESPSSURA DAS CAMADAS	CONFORME ABNT NBR 5484		PROFUNDIDADE	PENETRAÇÃO (Nº DE GOLPES / 15 cm)			RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO INICIAL/FINAL		GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO											REVESTIMENTO
			PESO: 65 Kg	ALTURA DE QUEDA: 75 cm		1º	2º	3º	INICIAL	FINAL	SPT 30 cm INICIAIS											
			REVESTIMENTO: Φ 2 1/2"	AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK							SPT 30 cm FINAIS											
	(m)	(m)	Φ INTERNO: 34,9 mm // Φ EXTERNO: 50,8 mm		(m)						0	10	20	30	40	50	60	(m)				
			CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA																			
	1.252,60	5,65	SILTE ARGILOSO, POUCO ARENOSO, VERMELHO, MICÁCEO. MÉDIO A DURO.		1,00	TRADO																
					1,45	3	4	5	7	9												
					2,45	3	5	6	8	11												
					3,45	9	18	19	27	37												
					4,45	10	16	21	26	37												
					5,45	12	18	23	30	41												
					6,36	14	21	21/06	35	42/21												
					7,34	13	23	20/04	36	43/19												
					8,33	15	22	20/03	37	42/18												
					9,16	18	22/01	-	40/16	22/01												
					10,16	20	19/01	-	39/16	19/01												
					10,16 M - LIMITE DE SONDAGEM, CONFORME CRITÉRIOS ESTABELECIDOS PELA CONTRATANTE.																	
OBSERVAÇÕES: Sondagem executada à seco devido a impossibilidade de levar água para lavagem até o local do furo.																						

EQUIPE DE CAMPO				AVANÇOS (m)				LAVAGEM POR TEMPO (30min)			
SONDADOR: ORLANDO FERREIRA COSTA				AVANÇO A TRADO: 1,00				TEMPO			
AJUDANTE: GENESIO FERREIRA DASILVA				AVANÇO POR LAVAGEM:				DE:			
AJUDANTE: ANTONIO GERALDO RODRIGUES JUNIOR				FURO DESTRUTIVO:				PARA:			
AJUDANTE: YURI DE PAULA BARBOSA				PROF. REVESTIMENTO:				AVANÇO (cm):			
RESPONSÁVEL TÉCNICO		FISCALIZAÇÃO		LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA (m)				MOTIVO DE PARALISAÇÃO			
GEÓLOGO: DAVI MELEU		FISCAL: IGOR FELIPE		Seco EM 26/07/2025 INICIAL				SEGURANÇA DA EQUIPE			
ASSINATURA:		ASSINATURA:		Seco EM 26/07/2025 FINAL				X ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA			
CREA: 41.244/D-RS		CREA:						X IMPENETRÁVEL AO SPT			
								X COTA DE PROJETO			

Figura 110 – Perfis Individuais SP-10 (Campanha 2025).

⇒ Instrumentação Instalada PDER Norte

Em todos os furos de sondagens executados foram instalados instrumentos de monitoramento hidrogeotécnicos, representados por piezômetros multiníveis, com a finalidade possibilitar o monitoramento das poro-pressões ao longo dos maciços investigados. O topo das tubulações de leitura de todos os instrumentos foi instalado cerca de 1,0 m acima do nível do terreno. A síntese das características dos instrumentos instalados e das observações iniciais realizadas é apresentada, a seguir:

- SM-01

Foram instalados 3 piezômetros nas profundidades de 80,0 m (o mais profundo, no horizonte de transição saprólito-rocha), 19,8 m (o intermediário, no horizonte de solo residual / saprólito) e 11,0 m (o mais raso, no contato entre o solo residual argiloso, mole e o solo residual / saprólito). Quando da realização dos testes de vida dos piezômetros, foram identificados níveis piezométricos distintos em cada um deles: 1,62 m no superior; 5,23 m no intermediário e 11,14 m no inferior, os quais foram utilizados para a determinação das poropressões. Em razão das diferenças nas elevações entre esses três níveis, admite-se que este pacote possa ser subdividido em três zonas saturadas distintas e não conectadas:

- ZS1 (zona saturada 1, superior): limitada ao segmento entre 1,60 m a 15,40 m de profundidade. Neste intervalo a pressão neutra (u) varia entre 0,0 kPa (u_{\min}) e 138,0 kPa (u_{\max});
- ZS2 (zona saturada 2, intermediária): segmento entre 15,40 m a 49,90 m. Neste pacote a pressão neutra (u) varia entre 102,0 kPa (u_{\min}) e 448,0 kPa (u_{\max});
- ZS3 (zona saturada 3, basal): de 49,90 m a 80,00 m. Neste intervalo a pressão neutra (u) varia entre 390,0 kPa (u_{\min}) e 689,0 kPa (u_{\max}).

- SM-02

Foram instalados três piezômetros, sendo o PZ-02A no fundo do furo (aos 71,9 m, no horizonte de transição saprólito-rocha) e os outros dois PZ-02B

(aos 20,0 m) e PZ-02C (aos 10,0 m) no horizonte de solo residual / saprólito. Os níveis piezométricos identificados previamente à execução dos ensaios de dissipação (testes de vida), em cada instrumento, foram: 2,56 m; 0,82 m e 0,79 m, respectivamente nos PZ02A, PZ-02B e PZ-02C, ou seja, carga hidráulica elevada em todos eles. Face à proximidade entre esses três níveis piezométricos admite-se que todo este pacote investigado se apresente homogeneamente saturado. Neste pacote a pressão neutra mínima (u_{min}) é 0,0 kPa e a máxima (u_{max}) é 711,0 kPa.

- **SM-03**

Foram instalados três piezômetros, neste furo. O PZ-03A, o mais profundo, foi instalado ao 85,0 m de profundidade (comprimento de 86,0 m) no material de transição saprólito-rocha, o PZ-03B, o intermediário, instalado aos 25,0 m de profundidade (comprimento de 26,0 m) no horizonte de saprólito e o PZ-03C, teve sua base posicionada aos 15,0 m de profundidade (comprimento de 16,0 m) também em horizonte de transição saprólito-rocha. Os níveis piezométricos identificados nestes instrumentos, imediatamente antes da realização do teste de vida (ensaios de dissipação) foram estabelecidos aos 4,55 m, 3,0 m e 2,5 m, respectivamente nos PZ-03A, PZ-03B e PZ-03C. A proximidade entre os três níveis piezométricos dá a indicação de que todo este pacote investigado se apresenta saturado, com a superfície freática posicionada aos 2,5 m de profundidade, aproximadamente. Deste modo, a poro pressão varia entre a máxima de 825,0 kPa e a mínima de 0,0 kPa.

- **SM-04**

Ao final da perfuração foram instalados três piezômetros, no interior deste furo de sondagem; o inferior (PZ-04A) instalado em uma delgada zona de transição saprólito-rocha, no fundo do furo (base do instrumento posicionada aos 121,5 m de profundidade), o intermediário (PZ-04B) aos 60,0 m de profundidade em uma porção totalmente saprolitizada e o superior (PZ-04C) aos 20,0 m de profundidade, em maciço rochoso são a pouco decomposto e pouco fraturado. Diferentemente dos piezômetros múltiplos instalados nos demais furos, os níveis piezométricos iniciais identificados nos aqui instalados foram observados nas

elevações: 13,81 m, 14,79 m e 16,13 m, respectivamente nos instrumentos PZ-04A, PZ-04B e PZ-04C (ou seja, em elevações crescentes no sentido do mais alto para o mais baixo). Apesar da proximidade entre os três níveis piezométricos indicarem que todo este pacote se apresente homogeneamente saturado (a partir dos 13,81 m), as poro-pressões mais elevadas nos instrumentos instalados nas porções mais interiores do maciço rochoso dão a indicação da existência de cargas hidráulicas mais elevadas confinadas nestas porções mais profundas. Deste modo, este pacote foi subdividido em três zonas distintas:

- ZS1 (zona saturada 1, superior): limitada ao segmento entre 16,13 m e 40,0 m de profundidade (ponto médio entre as bases dos piezômetros PZ-04C e PZ-04B). Neste intervalo a pressão neutra (u) varia entre 0,0 kPa (u_{\min}) e 239,0 kPa (u_{\max});
- ZS2 (zona saturada 2, intermediária): segmento entre 40,0 m a 90,75 m. Neste pacote a pressão neutra (u) varia entre 252,0 kPa (u_{\min}) e 760,0 kPa (u_{\max});
- ZS3 (zona saturada 3, basal): intervalo entre 90,75 m e 121,50 m e pressão neutra (u) variando entre 769,0 kPa (u_{\min}) e 1.077,0 kPa (u_{\max}).

- **SM-05**

Foram instalados três piezômetros: PZ-05A aos 83,0 m de profundidade (comprimento de 84,0 m) no horizonte de saprólito, PZ-05B aos 23,0 m (comprimento de 24,0 m) no horizonte de solo residual / saprólito e PZ-05C aos 13,0 m de profundidade (comprimento de 14,0 m), também em solo residual / saprólito. Os níveis piezométricos iniciais, identificados em cada instrumento instalado, previamente à realização dos respectivos ensaios de dissipação (testes de vida), foram: 17,38 m (no PZ-05A, o mais profundo), 7,5 m (no PZ-05B, o intermediário) e 5,56 m (para o PZ-05C, o mais raso). Em razão da proximidade entre os níveis piezométricos apresentados pelos instrumentos mais raso e intermediário e, também devido ao maior desnível apresentado pela piezometria inicial entre o instrumento intermediário e o mais profundo, admite-se que ocorram

duas zonas saturadas distintas, dissociadas. A zona saturada superior limitada entre as profundidades de 5,56 m (nível piezométrico identificado no piezômetro superior, antes da execução do teste de dissipação) e 53,0 m (ponto médio entre as bases dos piezômetros intermediário e inferior) apresenta pressão neutra mínima (u_{\min}) de 0,0 kPa e máxima (u_{\max}) de 455,0 kPa. Já a zona saturada inferior, limitada ao segmento situado entre o ponto médio entre as bases dos piezômetros PZ-05B e PZ-05A (profundidade 53,0 m) e a profundidade de instalação da base do PZ-05A (83,0 m) apresenta pressão neutra mínima (u_{\min}) de 352,0 kPa e máxima de 652,0 kPa.

- **SM-08**

Foram instalados três piezômetros: PZ-08A, PZ-08B e PZ-08C, cujas bases foram posicionadas nas profundidades de 97,35 m (em delgado horizonte de solo residual / saprólito), 40,0 m (em saprólito) e 20,0 m (em solo residual / saprólito), respectivamente. As leituras iniciais dos níveis piezométricos, realizadas previamente à execução dos testes de vidas desses instrumentos, indicaram as elevações de 24,43 m, 16,90 m e 14,75 m, respectivamente para o PZ-08A, PZ-08B e PZ-08C. Uma análise preliminar das elevações desses níveis piezométricos indica que ocorrem dois níveis freáticos distintos (ou melhor, dois pacotes saturados, distintos e não conectados): o superior (zona saturada 1 ou ZS1), cuja base é limitada pelo ponto médio entre as bases dos piezômetros PZ-08B e PZ-08A (elevação 68,68 m) e o topo admitido como a elevação do nível piezométrico do PZ-08C (elevação 14,75 m). Para este pacote a subpressão máxima admitida é de 518,0 kPa e a mínima é de 0,0 kPa. Já o pacote inferior limitado superiormente pelo ponto médio entre as bases dos PZ-08A e PZ-08B (El. 68,68 m) e, inferiormente, pela base do PZ-08A (El. 97,35 m) apresenta o nível piezométrico 24,43 m. Para este pacote a subpressão máxima admitida é de 729,0 kPa (ou carga hidráulica máxima é de 42,60 m) e a mínima é de 443,0 kPa. O desnível entre os níveis piezométricos relacionados aos dois pacotes é de cerca de 10,00 m.

Tabela 30 – Características gerais dos instrumentos instalados na fundação da PDER Norte.

Furo N°	Coordenadas (m)		Prof. Furo ⁽¹⁾ (m)	Instrumentos Instalados	
	Norte	Este		N°	Base da Célula ⁽²⁾ (m)
SM-01	7.760.615,00	611.140,00	81,05	PZ-01A	81,00
				PZ-01B	20,80
				PZ-01C	12,00
SM-02	7.760,727,00	611.072,00	72,05	PZ-02A	72,90
				PZ-02B	21,00
				PZ-02C	12,00
SM-03	7.760.838,00	611.030,00	85,02	PZ-03A	86,00
				PZ-03B	26,00
				PZ-03C	16,00
SM-04	7.760.955,00	610.982,00	121,50	PZ-04A	122,50
				PZ-04B	61,00
				PZ-04C	21,00
SM-05	7.760.713,00	611.172,00	83,07	PZ-05A	84,00
				PZ-05B	24,00
				PZ-05C	14,00
SM-08	7.760.646,00	611.041,00	97,35	PZ-08A	98,35
				PZ-08B	41,00
				PZ-08C	21,00

Observações:

- 1) Profundidades em relação à superfície do terreno (boca do furo);
- 2) Base da célula em relação ao topo do tubo de ascensão.

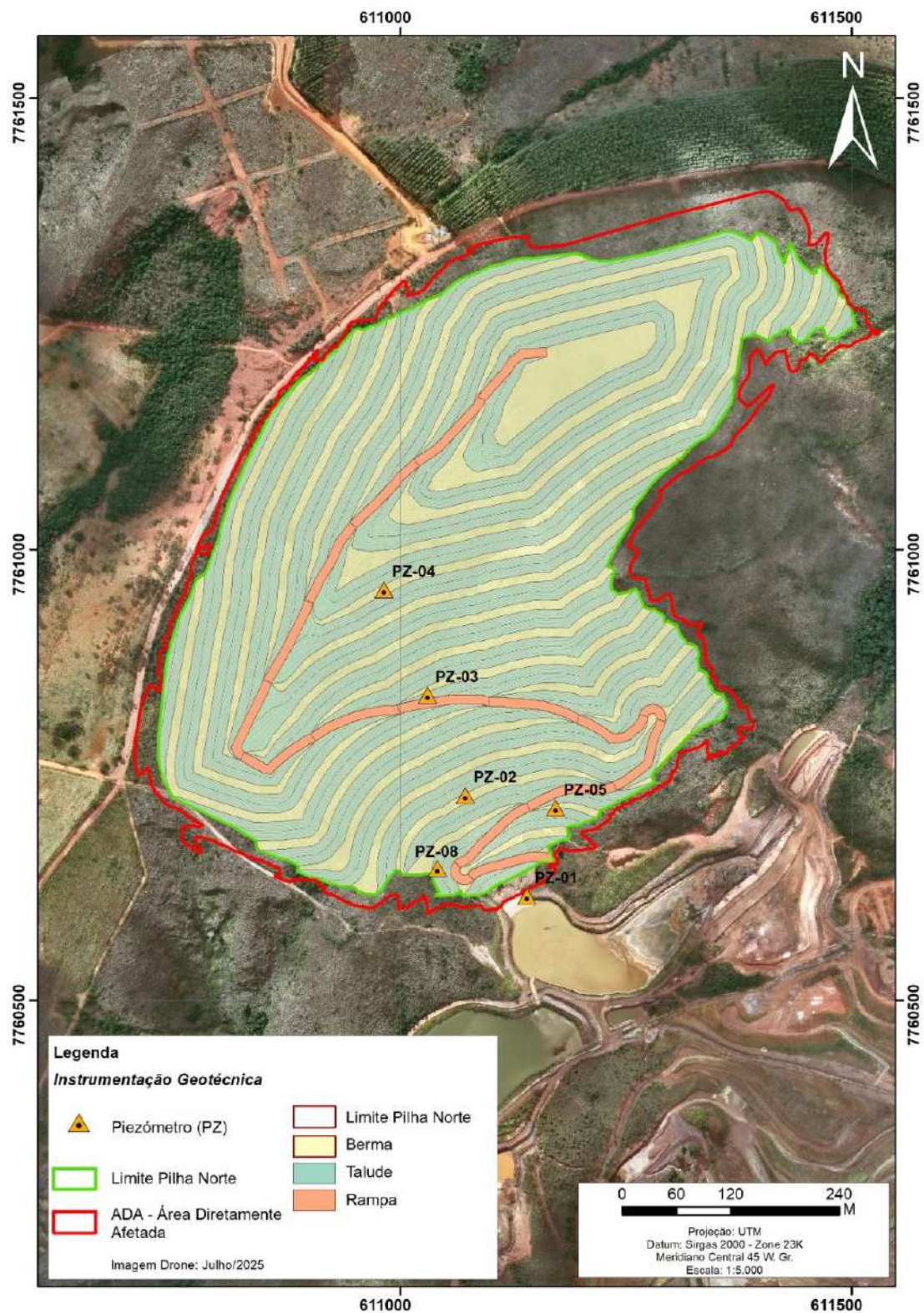


Figura 111 – Locação das instrumentações existentes (PDER Norte).

⇒ Ensaios de Laboratório – Caracterização PDER Norte

• Granulometria

Conforme pode ser observado na curva granulometria obtida a partir de amostra coletada em furo de sondagem, por amostra indeformada, apresenta granulometria de um silte argiloso.

Do ponto de vista granulométrico as diferenças são claras, com a presença de elevado percentual de argilas e de siltes, superior a 50%.

Tabela 31 – Ensaio de Granulometria.

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)
0025	27,5	54,1	14,7	3,7

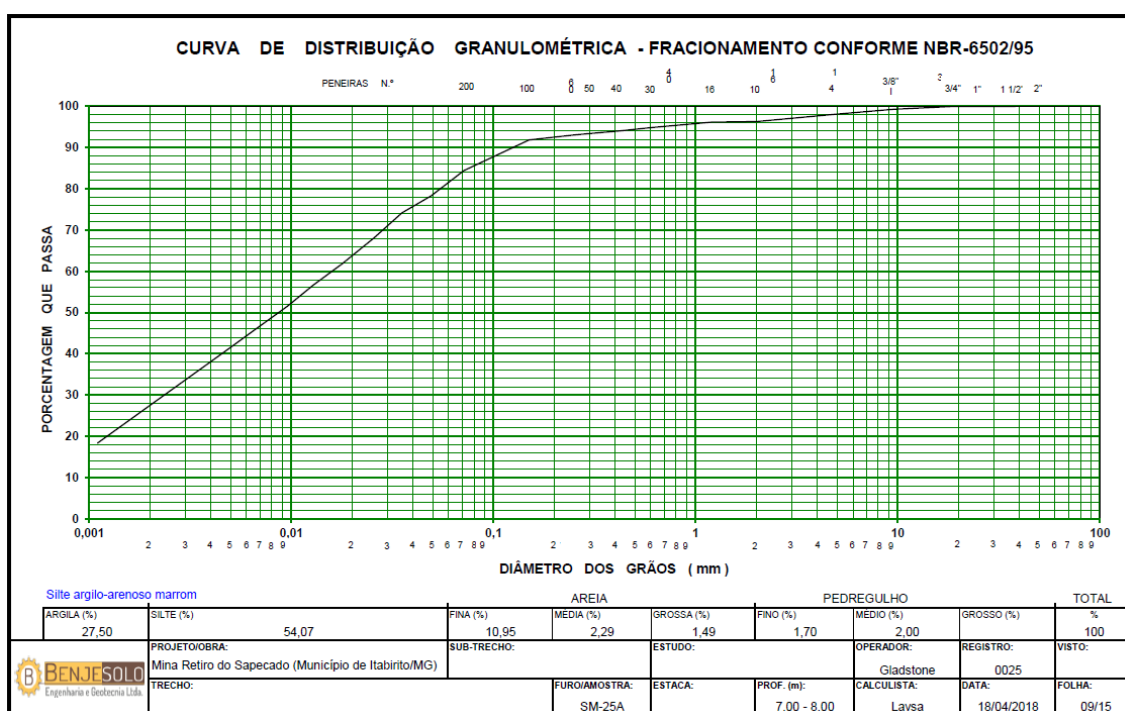


Figura 112 – Granulometria – SM-25A – Amostra 0025.

• Mineralogia e Densidades

A densidade seca é tipicamente superior a 1,70 g/cm³.

Tabela 32 – Umidade Natural e Densidades.

Amostra	Posição	Profundidade	Umidade Natural	Densidade aparente seca natural (g/cm ³) γ_d (kN/m ³)	Densidade dos grãos (g/cm ³) γ_s (kN/m ³)	Grau de saturação "in situ" ¹	Peso específico natural γ_{nat} (kN/m ³) ²
0025	SM-25A	7,00 – 8,00	25,5	1,711 16,8	3,521 35	83,3%	21,1

• Índices Físicos

A partir dos resultados de umidades e densidades naturais verifica-se uma porosidade da ordem de 50%, verificando-se um peso específico saturado de cerca de 22,0 kN/m³.

Tabela 33 – Índices Físicos.

Amostra	Índice de vazios ³ (e)	Porosidade ⁴ (n)	Peso específico saturado γ_{sat} (kN/m ³)	Peso específico submerso γ_{sub} (kN/m ³)
0025	1,06	51%	21,9	11,9

• Plasticidade

A amostra foi caracterizada como não plástica.

Tabela 34 – Limites.

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)
0025	-	-	NP

• Resistência

Amostra escavada da B2/B3, região ao pé da PDER Norte, material referente ao evento de 2014 e armazenado na porção de montante da área da

¹ $S = (\gamma_s \gamma_d w) / [\gamma_w (\gamma_s - \gamma_d)]$

² $\gamma_{nat} = \gamma_d (1 + w)$

³ $e = \gamma_s / \gamma_d - 1$

⁴ $n = e / (1 + e)$

Tromba. O corpo de prova submetido a tensão confinante de 100,0 kPa apresentou o seguinte comportamento de forma mais destacada:

Tabela 35 – Resistência.

Amostra	Tipo de Ensaio	Tensão Confinante (kPa)	Horizonte	Características do Ensaio	ϕ' (°) ($c' = 0$ kPa)
0025	CIU	100	SM-25A 7,00 – 8,00 m	Desenvolvimento de excessos de poropressão positivos até 1% de deformação axial, passando a desenvolver sucção a partir deste momento. Deformação de pico igual a 16%. Ensaio realizado até 30% de deformação. Não ocorre equilíbrio da tensão desviadora	42,1

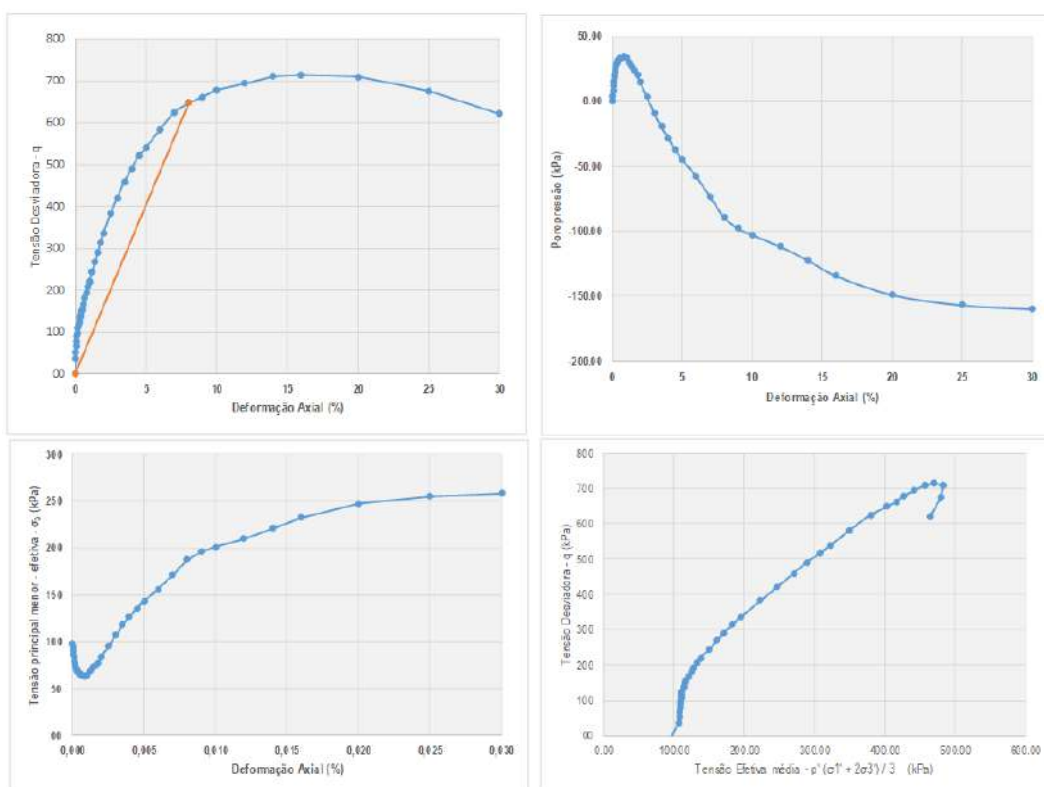


Figura 113 – Ensaio Triaxial – SM-25A | Amostra 0025 – 7,00 a 8,00 m.

4.3.8.8 ESTUDOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

⇒ **Existência de surgências**

Durante a fase de prospecção geotécnica e caracterização da área designada para a implantação da PDER Sul, procedeu-se a um mapeamento geológico-geotécnico de campo abrangente. Esta etapa crítica compreendeu o reconhecimento e percorrimto sistemático da totalidade da poligonal de implantação da estrutura e de sua zona de influência direta. O objetivo primário desta investigação foi a identificação e georreferenciamento de quaisquer manifestações superficiais de água subterrânea, tais como afloramentos ou nascentes.

É crucial destacar que, ao término desta campanha de mapeamento detalhado, não foram detectadas surgências na área da PDER Sul, o que contribui substancialmente para a confirmação das condições hidrogeológicas favoráveis à estabilidade e segurança geotécnica da futura estrutura.

Em contraste, o mapeamento executado na área designada para a PDER Norte identificou a presença de uma surgência. As coordenadas geográficas precisas deste afloramento foram devidamente registradas e georreferenciadas. Consequentemente, foi instituído um protocolo de monitoramento visual com o objetivo de avaliar a vazão e determinar o regime hidrológico, perene ou intermitente, deste ponto específico, fornecendo dados para a caracterização da área.

⇒ **Climatologia**

A Mineração Herculano está localizada no município de Itabirito, na Região Metropolitana de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais. A área insere-se em uma região com predominância do clima tropical de altitude, classificado como Cwb segundo a classificação de Köppen-Geiger. Esse tipo climático é característico de regiões elevadas do estado e se distingue por apresentar verões chuvosos e invernos secos, com temperaturas amenas ao longo do ano.

A temperatura média anual na área gira em torno de 18 °C. Os meses de inverno, que compreendem o período entre maio e setembro, apresentam

temperaturas mais amenas, com médias mensais entre 17 °C e 19 °C, e mínimas que podem atingir valores próximos a 12 °C. No verão, entre novembro e março, as médias sobem para cerca de 22 °C a 23 °C, com máximas ultrapassando os 26 °C.

A precipitação média anual é de aproximadamente 1.400 mm, com uma marcante sazonalidade. O regime pluviométrico concentra-se nos meses mais quentes do ano, principalmente entre novembro e março, período que pode registrar volumes superiores a 200 mm/mês, sendo dezembro geralmente o mês mais chuvoso. Em contrapartida, os meses de maio a setembro compõem o período seco, com precipitações significativamente reduzidas, muitas vezes inferiores a 20 mm mensais.

A umidade relativa do ar acompanha esse comportamento sazonal, apresentando valores médios anuais em torno de 80%. Durante o inverno, a umidade tende a diminuir, atingindo os níveis mais baixos nos meses de junho e julho.

Com relação à radiação solar, a região de Itabirito apresenta uma média anual de cerca de 2.160 horas de insolação. A maior incidência ocorre no período seco, quando a cobertura de nuvens é reduzida.

A velocidade média do vento em Itabirito apresenta variações sazonais moderadas ao longo do ano. Os meses de maior intensidade de vento ocorrem entre agosto e novembro, com destaque para setembro, quando a velocidade média horária atinge 14,9 km/h. Durante esse período, a direção predominante dos ventos é de leste, com frequência máxima de até 67% em agosto. Nos meses de menor intensidade, entre novembro e julho, a velocidade média horária diminui para cerca de 11,1 km/h em abril.

Os dados utilizados para essa caracterização são baseados em registros meteorológicos da região de Belo Horizonte, situada a cerca de 55,0 km de Itabirito, cujas condições climáticas são representativas para a área de estudo. As informações foram obtidas a partir de bases públicas, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o portal Climate-Data.org.

Tabela 36 – Normais climatológicas.

Mês	Temp. Média (°C)	Temp. Mínima (°C)	Temp. Máxima (°C)	Precipitação (mm)	Umidade Relativa (%)
Janeiro	22,6	18,6	27,0	216,0	74
Fevereiro	22,8	18,5	27,5	121,0	71
Março	22,1	18,2	26,7	150,0	76
Abril	21,1	16,6	26,0	59,0	72
Mai	19,0	14,0	24,4	35,0	69
Junho	17,9	12,6	23,7	11,0	68
Julho	17,7	12,1	23,7	9,0	64
Agosto	19,0	13,0	25,3	12,0	57
Setembro	20,9	15,3	27,0	51,0	57
Outubro	22,3	17,4	27,8	82,0	60
Novembro	21,7	18,0	26,2	194,0	72
Dezembro	22,1	18,5	26,4	265,0	77

Fonte: INMET

⇒ **Análise de Precipitação**

a) Inventário das Estações Pluviométricas

Inicialmente, definiu-se uma metodologia de determinação da estação pluviométrica com maior representatividade quanto ao regime espacial da área. Essa metodologia preconiza as seguintes etapas:

- Seleção das estações em operação, de responsabilidade da Agência Nacional das Águas (ANA). Os registros das estações encontram-se disponíveis, gratuitamente, no Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB) da ANA, URL www.ana.gov.br; e
- Levantamento das estações que se encontram em um raio máximo de 30 km a partir de um ponto médio da estrutura e que tenham algum nível de significância estatístico.

A tabela a seguir apresenta as estações pluviométricas inventariadas com suas respectivas características.

Tabela 37 – Estações pluviométricas inventariadas.

Código	Nome	Coordenadas (UTM)		Município	Período de Observação	Distância Aproximada PDER Sul (km)
		Norte (m)	Este (m)			
2043002	Lagoa Grande	7.768.283,772	610.423,502	Nova Lima	1941 / 2023	8,5
2043004	Rio do Peixe	7.772.831,602	615.710,440	Nova Lima	1940 / 2022	13,8

Código	Nome	Coordenadas (UTM)		Município	Período de Observação	Distância Aproximada PDER Sul (km)
		Norte (m)	Este (m)			
2043042	Represa das Codornas	7.769.853,936	615.753,318	Nova Lima	1977 / 2022	11,1
2043043	Represa do Miguelão	7.774.165,679	609.676,848	Nova Lima	1977 / 2022	14,4
2043060	Itabirito Linógrafo	7.756.162,280	625.259,374	Itabirito	1984 / 2018	14,7

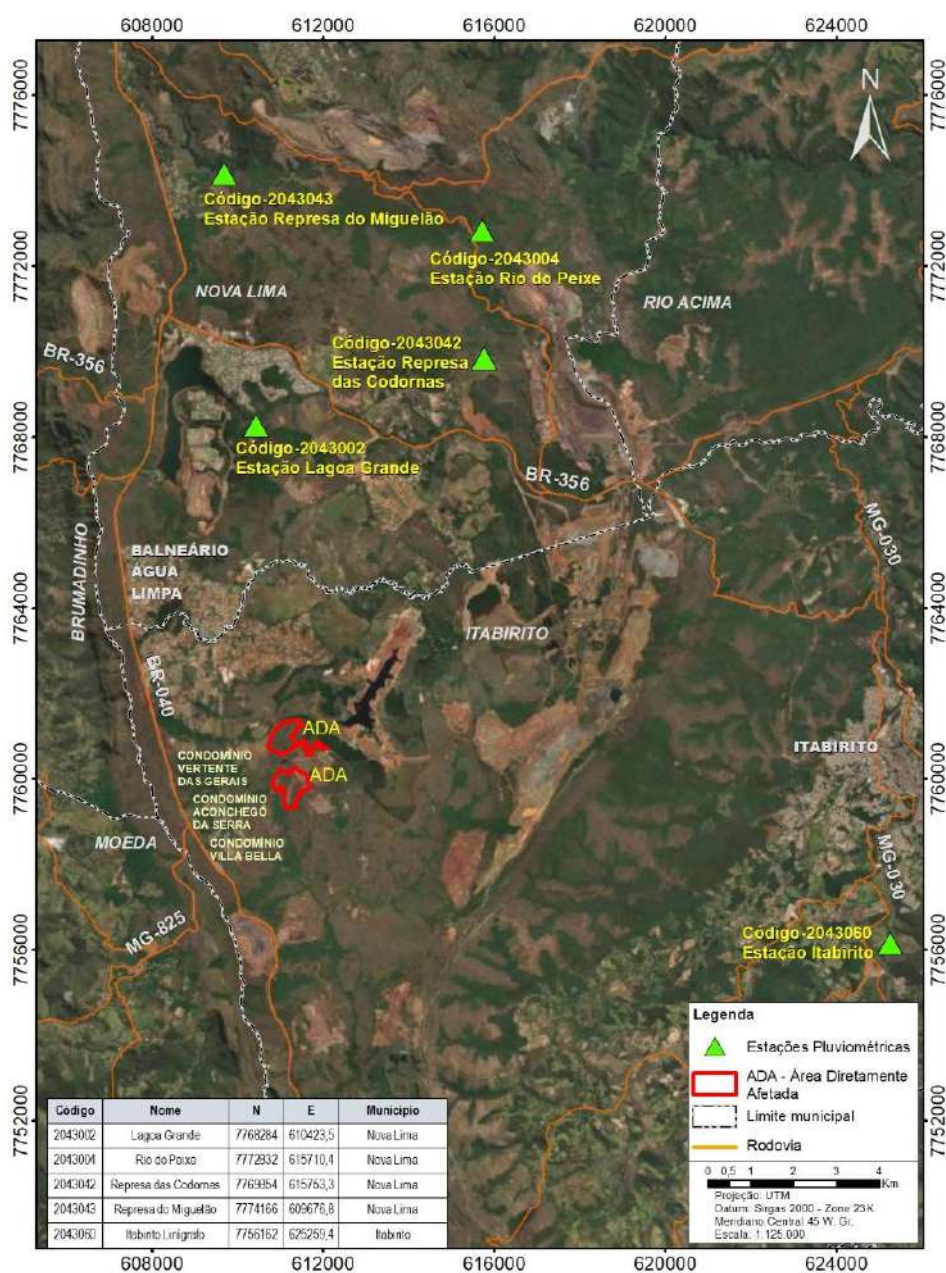


Figura 114 – Localização das Estações Pluviométricas.

Conforme mencionado acima as estações selecionadas dentro da região meteorologicamente homogênea, foram consideradas representativas da pluviometria incidente sobre a área epigrafada. As alturas diárias de chuva pertinentes a tais estações, foram disponibilizadas pelo Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (Hidroweb / ANA).

Com base nessas informações os dados assim coletados foram submetidos à análise de consistência de séries pluviométricas, adotando-se para tal o método conhecido com o de Dupla Massa, desenvolvido pela Geological Survey.

Dessa forma, o grau de homogeneidade das alturas de chuva máximas anuais de cada estação, foi avaliada com base no desenvolvimento da envoltória gerada pela plotagem em gráfico cartesiano das alturas totais anuais acumuladas, em ordenadas, contra as alturas pertinentes à base de comparação, em abscissa.

Adotou-se como base de comparação a série formada pelos valores médios dos totais precipitados a cada ano, para outras quatro estações.

As envoltórias da análise de consistência da curva de dupla acumulação são apresentadas nos gráficos das figuras a seguir:

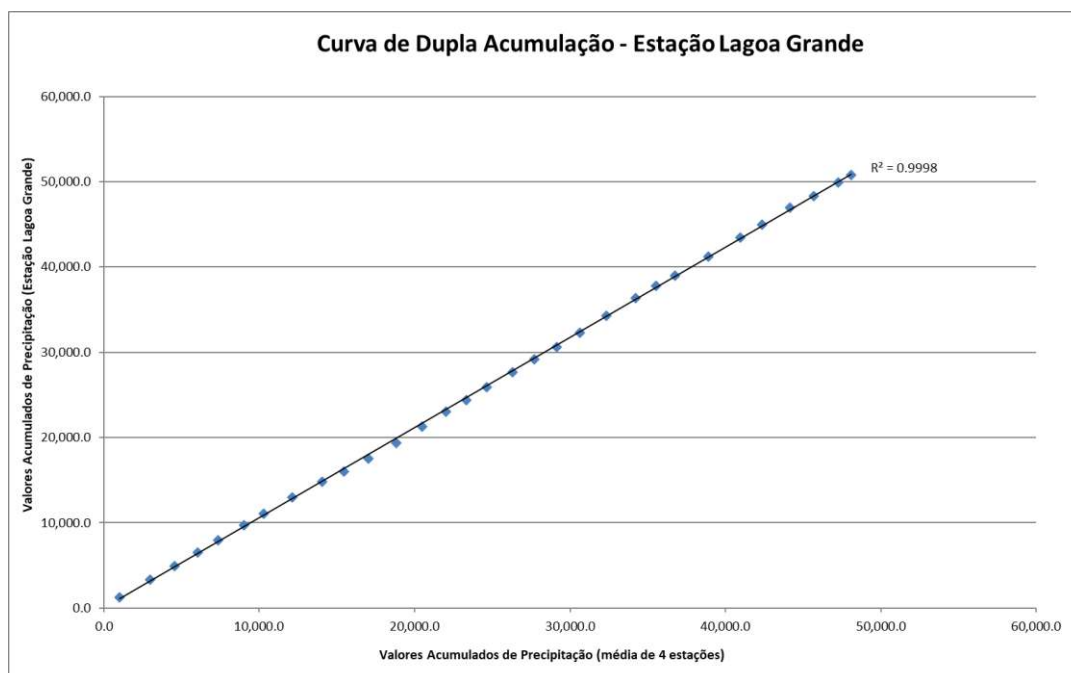


Figura 115 – Curva de Dupla Acumulação – Estação Lagoa Grande.

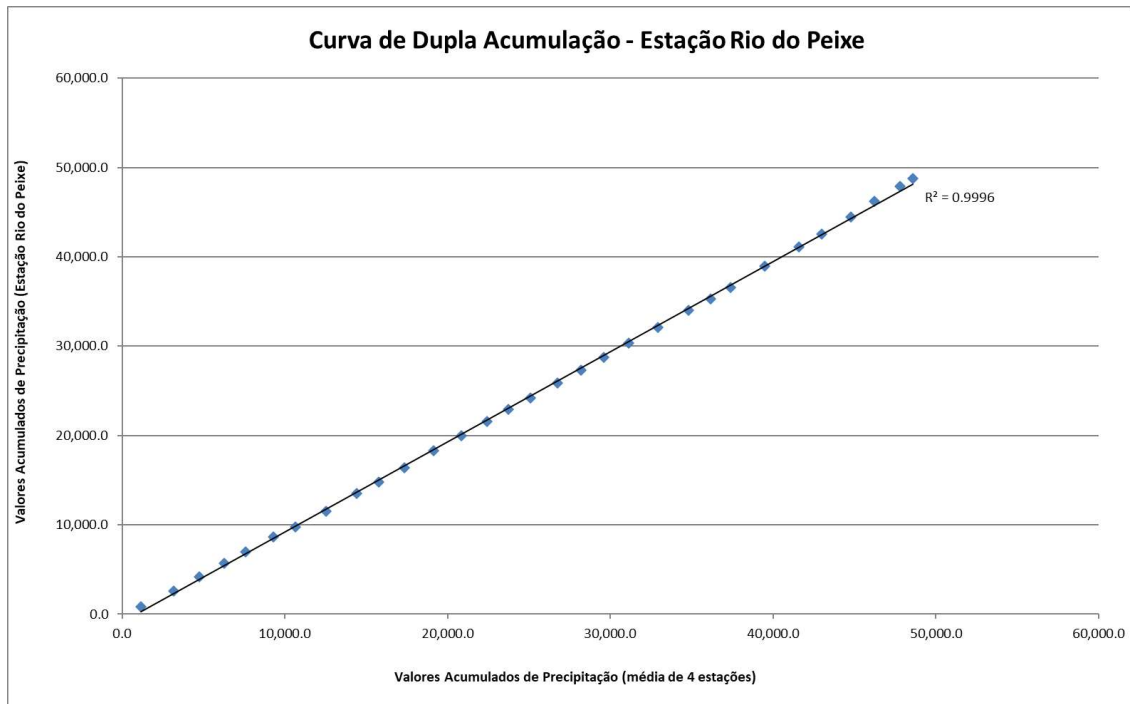


Figura 116 – Curva de Dupla Acumulação – Estação Rio do Peixe.

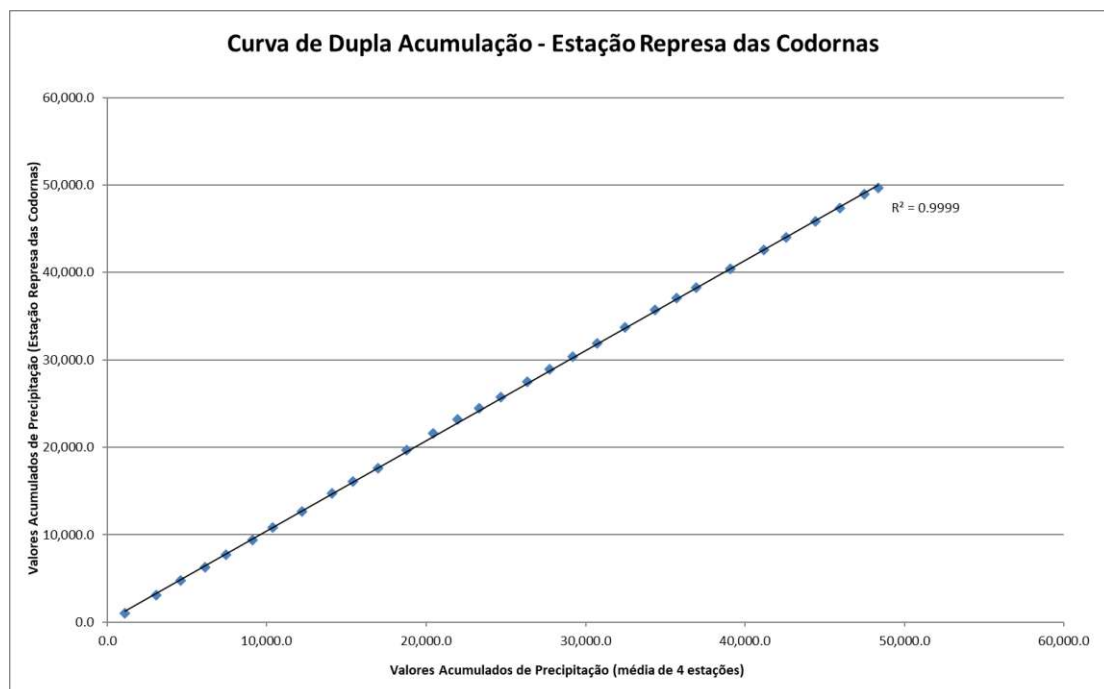


Figura 117 – Curva de Dupla Acumulação – Estação Represa das Codornas.

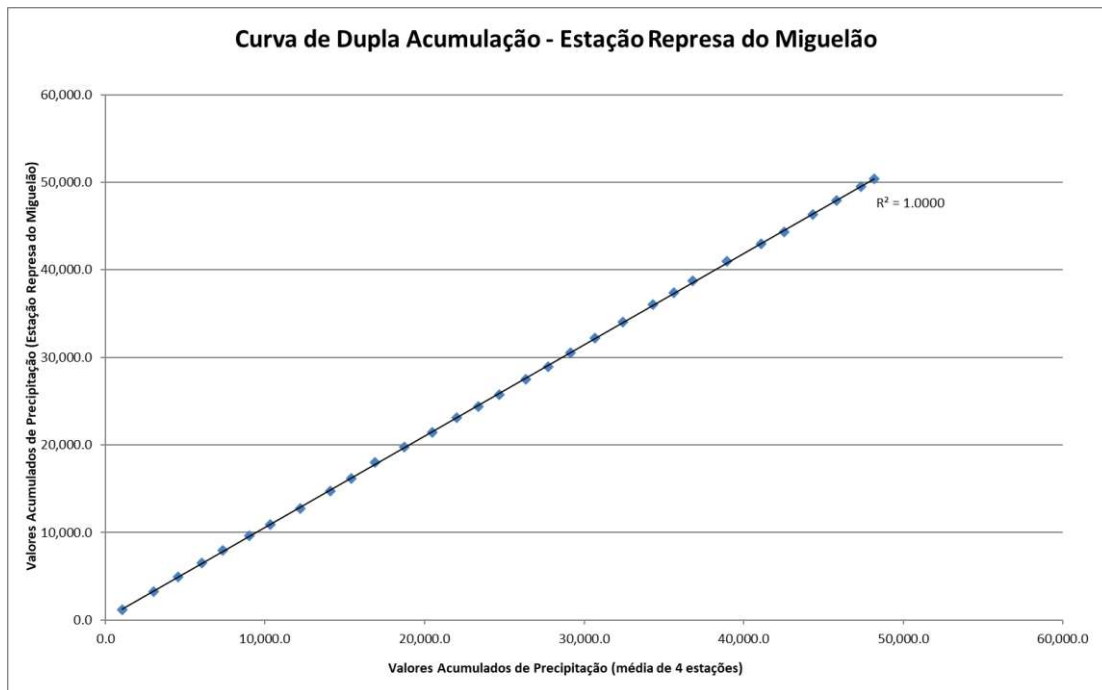


Figura 118 – Curva de Dupla Acumulação – Estação Represa do Miguelão.

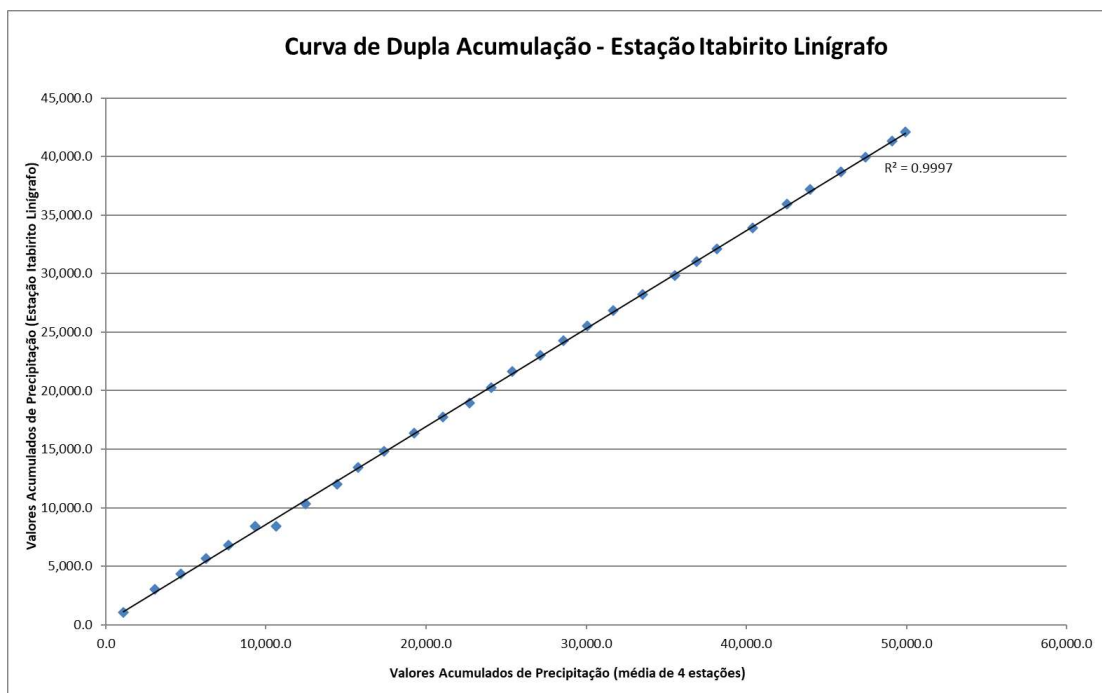


Figura 119 – Curva de Dupla Acumulação – Estação Itabirito Linígrafo.

A envoltória apresentada na Figura 115 possui declividade de 1,00, caracterizando, dessa forma, a proporcionalidade entre as alturas pluviométricas observadas na estação Lagoa Grande e aquelas obtidas nas demais estações que constituem a série de comparação. Isso certifica os dados da estação consistida e desobriga a exigência de qualquer tipo de correção.

Diante do resultado da análise de consistência apresentado acima e tomando-se como referência pelo critério de proximidade em relação ao sítio epigrafado, confirmou-se a estação Lagoa Grande como representativa para as precipitações sobre a área epigrafada.

Assim, as alturas diárias máximas anuais observadas na Estação Lagoa Grande, com base no ano hidrológico para a região Sudeste (outubro a setembro do ano subsequente) são apresentadas na forma numérica na tabela a seguir e gráfica (curva cronológica). Além disso, o histograma de frequências delas originado, durante o período de observação.

Tabela 38 – Estação Lagoa Grande – Altura de Chuva (mm) – Diária Máxima Anual.

Item	Ano hidrológico	Máxima (mm)	Item	Ano hidrológico	Máxima (mm)
1	1941/1942	83,8	43	1983/1984	71,3
2	1942/1943	79,0	44	1984/1985	76,2
3	1943/1944	89,0	45	1985/1986	56,8
4	1944/1945	130,0	46	1986/1987	72,1
5	1945/1946	98,5	47	1987/1988	99,3
6	1946/1947	70,4	48	1988/1989	83,1
7	1947/1948	96,5	49	1989/1990	65,1
8	1948/1949	165,1	50	1990/1991	79,4
9	1949/1950	86,4	51	1991/1992	75,2
10	1950/1951	146,8	52	1992/1993	121,2
11	1951/1952	71,9	53	1993/1994	79,8
12	1952/1953	90,2	54	1994/1995	140,8
13	1953/1954	55,9	55	1995/1996	150,2
14	1954/1955	126,2	56	1996/1997	148,2
15	1955/1956	59,9	57	1997/1998	65,8
16	1956/1957	68,6	58	1998/1999	65,0
17	1957/1958	92,5	59	1999/2000	125,1
18	1958/1959	82,6	60	2000/2001	120,8
19	1959/1960	64,8	61	2001/2002	80,7
20	1960/1961	118,4	62	2002/2003	75,9
21	1961/1962	89,9	63	2003/2004	114,7
22	1962/1963	78,0	64	2004/2005	71,4

Item	Ano hidrológico	Máxima (mm)	Item	Ano hidrológico	Máxima (mm)
23	1963/1964	108,2	65	2005/2006	57,1
24	1964/1965	62,2	66	2006/2007	56,8
25	1965/1966	120,4	67	2007/2008	73,9
26	1966/1967	90,2	68	2008/2009	87,5
27	1967/1968	76,2	69	2009/2010	90,8
28	1968/1969	73,7	70	2010/2011	70,0
29	1969/1970	72,4	71	2011/2012	75,4
30	1970/1971	63,0	72	2012/2013	76,7
31	1971/1972	54,1	73	2013/2014	88,1
32	1972/1973	74,3	74	2014/2015	85,8
33	1973/1974	46,2	75	2015/2016	95,0
34	1974/1975	64,9	76	2016/2017	134,5
35	1975/1976	47,4	77	2017/2018	68,8
36	1976/1977	60,2	78	2018/2019	91,1
37	1977/1978	105,2	79	2019/2020	138,1
38	1978/1979	79,2	80	2020/2021	81,5
39	1979/1980	87,1	81	2021/2022	202,9
40	1980/1981	71,6	82	2022/2023	-
41	1981/1982	78,0	83	2023/2024	89,3
42	1982/1983	71,2			

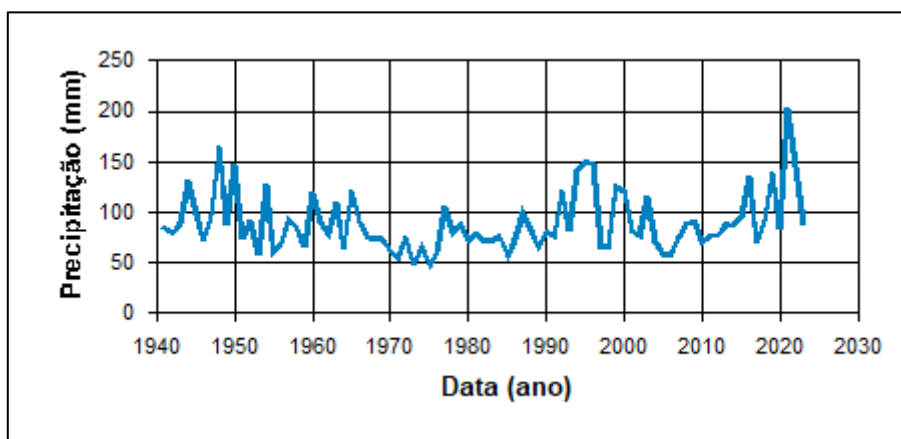


Figura 120 – Estação Lagoa Grande – Curva Cronológica.

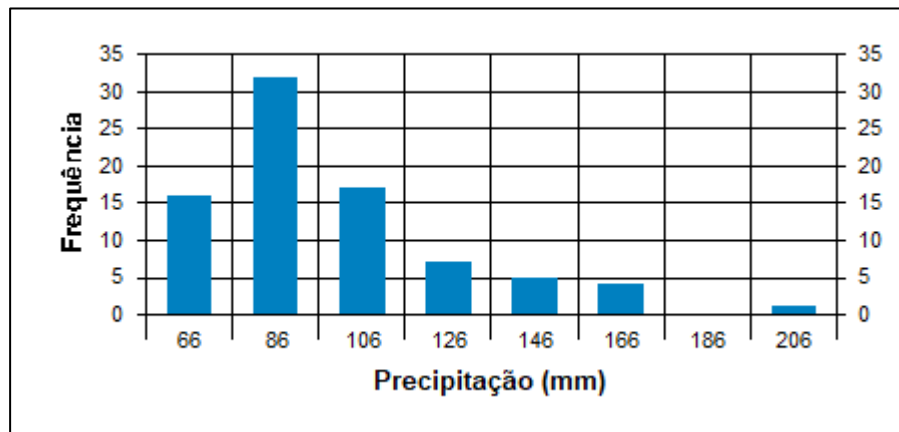


Figura 121 – Estação Lagoa Grande – Histograma de Frequências.

A estatística de base para esta estação indica os valores mostrados na tabela a seguir:

Tabela 39 – Estação Lagoa Grande – Estatística de Base.

Altura diária anual máxima	202,9
Altura diária anual mínima	46,2
Média	88,4
Desvio padrão	28,86
Coefficiente de assimetria	1,45

Conforme pode ser observado, a estação pluviométrica de Lagoa Grande, código 02043002, trata-se daquela mais representativa e acertada para os estudos e simulações no empreendimento, uma vez que:

- Encontra-se apenas a 8,50 km de distância da estrutura, sem quaisquer acidentes topográficos de grande relevância que os separem, tendo, desta forma microclimas bastante similares;
- Conta com série histórica bastante extensa, abrangendo medidas de janeiro de 1941/1942 até 2023/2024, contando com alcance suficiente para caracterizar adequadamente as normais climáticas da área em estudo;
- Conta com dados atualizados, contemplando as últimas duas décadas, verificando eventuais alterações decorrentes de fenômenos meteorológicos recentes e efeitos do aquecimento global;

- Trata-se daquela estação com maiores precipitações médias dentre àquelas inventariadas, contando com um dos eventos máximos mais expressivos da região (uma precipitação de 202,9 mm em 1 dia, ocorrido em Jan/22);

Destaca-se ainda que a escolha da estação de Lagoa Grande atende ao critério estabelecido na norma ABNT NBR 13.028/2024 de utilização prioritariamente de estações de referência com mais de 20 anos de dados consistidos.

b) Definição das Chuvas Intensas

Uma vez selecionada a estação representativa do regime pluviométrico, buscou-se a definição das chuvas intensas, adotando-se para isso o método de análise de frequência dos eventos máximos anuais, e, na sequência, a desagregação das alturas máximas para chuva de um dia em chuvas de 24 horas e de durações menores.

c) Análise de Frequência das Precipitações Máximas Anuais

A série constituída pelas alturas de chuva máximas anuais apresentada na Tabela 38, foi submetida à aplicação de um teste estatístico para a análise preliminar e identificação da eventual presença de pontos extremos (“outliers”) no seio da amostra utilizando-se o método Grubbs & Beck. Tais pontos anômalos, para mais ou para menos, em relação à tendência do conjunto, podem ter influência na determinação dos parâmetros da distribuição probabilística selecionada para representar a amostra.

A rotina de cálculo utilizada pelo teste estatístico mencionado acima encontra-se inserida no ambiente do “software” ALEA (Análise de Frequência Local dos Eventos Aleatórios). Na realização do teste foi detectada a presença de um ponto extremo (“outlier”) para o nível de significância de 10%, justamente o ponto referente à precipitação de janeiro de 2022, registrada como a máxima histórica da estação.

Com base no resultado apresentado pela análise preliminar, procedeu-se o estudo para definição da distribuição de probabilidade teórica que melhor se adapta à análise de frequência das alturas de chuva máximas anuais com duração de um dia, utilizando-se para isso o apoio do “software” SEAF (Sistema Especialista em Análise de Frequência). Tal estudo indicou como resultado as distribuições apresentadas na tabela a seguir, ordenadas de acordo com o decréscimo do valor de confiança. As envoltórias obtidas pela plotagem dos quantis de precipitação, em milímetros, versus tempo de retorno, em anos, representativas dessa distribuição é mostrada na Figura 122.

Tabela 40 – Distribuição de Probabilidade.

Distribuição de Probabilidade	Confiança (%)
GEV	96,3
LogPearson III	85,5
Gumbel	62,5

A determinação dos parâmetros das distribuições na Análise de Frequência das alturas de chuva máximas anuais, com duração de um dia, foi realizada com a utilização do Método dos Momentos, com auxílio da ferramenta matemática dada pelo “software” ALEA.

d) Ajustes de Frequência

Com base nos resultados apresentados na tabela anterior, na envoltória graficada na figura a seguir e no teste de identificação de “outliers” realizados, adotou-se a distribuição GEV, como a distribuição adaptada à amostra da estação Lagoa Grande, para a determinação das alturas de chuva de intensidade máxima para a série histórica epigrafada.

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, aceita-se a hipótese de que a amostra de máximos anuais ter sido extraída de uma população GEV a um nível de significância de 20%.

Da distribuição adotada, GEV, extraiu-se os quantis, em milímetros, pertinentes aos tempos de retorno, em anos, mostrados na tabela abaixo:

Tabela 41 – Quantis – GEV.

TR (anos)	Quantis
10.000	318,6
5.000	295,9
1.000	247,1
500	227,3
200	201,9
100	183,4
50	166,5
25	148,0
10	125,3
5	108,0
2	83,0

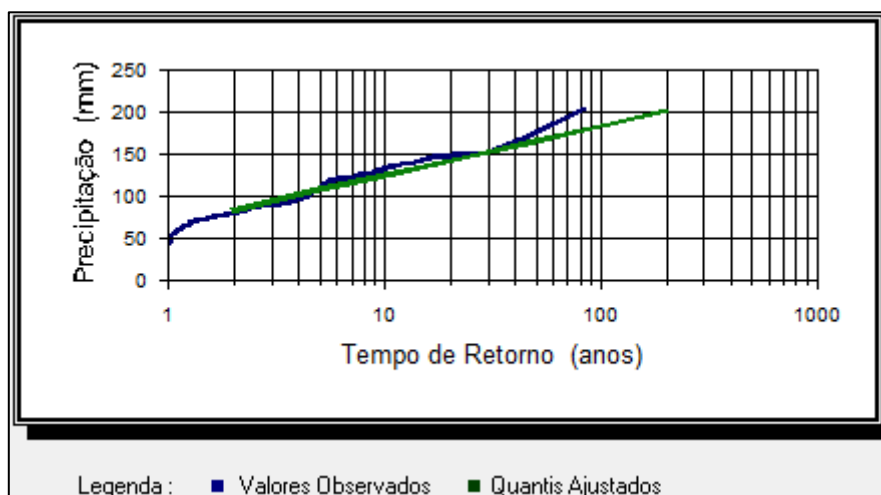


Figura 122 – Precipitação x Tempo de Retorno – Distribuição GEV.

e) Desagregação das Chuvas Intensas

Os elementos de precipitação analisados até essa etapa são relativos às chuvas de um dia (alturas pluviométricas). Na prática trabalha-se normalmente com chuvas máximas correspondentes a 24 horas e com durações menores, portanto, surge a necessidade de correlacioná-las. Assim, a transformação da chuva de um dia em chuva de 24 horas é feita à custa da utilização de um coeficiente de majoração de 15%, recomendado pelo DAEE/CETESB (1980). A desagregação para chuvas de menores durações foi realizada pela utilização de coeficientes dados pela equação $C_d = e^{1,5 \times \ln((\ln d)/7,27)}$, proposta por SILVEIRA (2000), onde:

C_d = coeficiente de desagregação

d = duração da chuva, em minuto.

Com base nisso, os tempos de duração (horas e minutos), os coeficientes de desagregação e as alturas de chuva correspondentes, em milímetros.

Tabela 42 – Altura Pluviométrica Total (mm) – Distribuição GEV.

Duração	Coef. Desagreg	Período de Retorno (anos)						
		10.000	5.000	1.000	500	200	100	50
1 dia	–	318,60	295,9	247,1	227,3	201,9	183,4	166,5
Fator Majoração	–	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
1dia / 24 h	1,150	366,4	340,3	284,2	261,4	232,2	210,9	191,5
24 h / 12 h	0,856	313,6	291,3	243,2	223,8	198,8	180,5	163,9
24 h / 10 h	0,820	300,4	279,0	233,0	214,3	190,4	172,9	157,0
24 h / 8 h	0,780	285,8	265,4	221,6	203,9	181,1	164,5	149,4
24 h / 6 h	0,724	265,3	246,4	205,7	189,2	168,1	152,7	138,6
24 h / 4 h	0,659	241,5	224,2	187,3	172,3	153,0	139,0	126,2
24 h / 3 h	0,599	219,5	203,8	170,2	156,6	139,1	126,3	114,7
24 h / 2 h	0,539	197,5	183,4	153,2	140,9	125,1	113,7	103,2
24 h / 1 h	0,420	153,9	142,9	119,3	109,8	97,5	88,6	80,4
1 h / 30 min	0,740	113,9	105,8	88,3	81,2	72,2	65,6	59,5
30 min / 25 min	0,910	103,6	96,2	80,4	73,9	65,7	59,7	54,2
30 min / 20 min	0,810	92,2	85,7	71,5	65,8	58,5	53,1	48,2
30 min / 15 min	0,700	79,7	74,0	61,8	56,9	50,5	45,9	41,7
30 min / 10 min	0,540	61,5	57,1	47,7	43,9	39,0	35,4	32,1
30 min / 5 min	0,340	38,7	36,0	30,0	27,6	24,5	22,3	20,2

4.3.8.9 ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS

A geração de sedimentos em empreendimentos minerários é um desafio ambiental e operacional significativo, exigindo estratégias de mitigação eficazes. De acordo com as "Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos em obras de mineração" (2011), de CICALLELLI, a taxa média de geração de sedimentos no Brasil varia tipicamente entre 300 e 600 m³/ha/ano. É uma prática comum no país a adoção do limite superior dessa faixa para o cálculo da contribuição de sedimentos em projetos de mineração, visando uma abordagem mais conservadora e segura no planejamento.

Nesse contexto, os esforços para minimizar a geração de sedimentos concentram-se principalmente em duas frentes: a concepção e implementação de um sistema de drenagem superficial eficiente e a vegetação dos taludes.

Um projeto de drenagem superficial bem elaborado é crucial para controlar o escoamento da água da chuva, direcionando-a de forma a reduzir sua velocidade e, conseqüentemente, seu poder erosivo. Isso evita a formação de sulcos e ravinas, que são as principais fontes de desprendimento e transporte de sedimentos.

Paralelamente, a revegetação dos taludes com espécies adequadas desempenha um papel fundamental. A cobertura vegetal atua como uma barreira natural, protegendo o solo do impacto direto das gotas de chuva e da ação do vento, além de fixar o solo com suas raízes, aumentando sua estabilidade e resistência à erosão.

É importante ressaltar que, à medida que as superfícies da pilha de estéril e rejeito são envelopadas com camadas de estéril e subsequentemente revegetadas, as taxas de contribuição de sedimentos serão reduzidas de forma gradual até serem praticamente eliminadas. Esse processo de estabilização e recuperação da área, através da cobertura vegetal, garante uma diminuição progressiva do impacto erosivo, culminando na reabilitação ambiental da área.

4.3.8.10 ANÁLISES DE ESTABILIDADE

A segurança e a estabilidade de estruturas geotécnicas são cruciais na mineração, especialmente em se tratando de pilhas de codisposição de estéril e rejeito. Estas estruturas, que integram o descarte de materiais estéreis (rocha removida para acessar o minério) e rejeitos (subprodutos finos do processamento mineral), representam um desafio complexo de engenharia. A disposição conjunta desses materiais visa otimizar o uso do espaço e, em alguns casos, melhorar as características geotécnicas da pilha. Para este projeto executivo, a pilha de codisposição será parcialmente construída como preenchimento de uma cava exaurida, o que adiciona uma camada de complexidade às interações entre os materiais e o substrato.

A interação entre estéril e rejeito, com suas distintas propriedades físicas e mecânicas, granulometria, permeabilidade, resistência ao cisalhamento e compressibilidade, exige uma análise rigorosa para garantir a integridade da estrutura a longo prazo. Este item apresenta as análises de estabilidade da PDER Sul e Norte. O objetivo principal é avaliar a segurança da estrutura diante das condições operacionais e ambientais, considerando os diferentes cenários de carregamento, as variações do nível d'água e as solicitações sísmicas. A compreensão aprofundada do comportamento geotécnico da pilha e sua fundação é fundamental para prevenir falhas, proteger o meio ambiente e assegurar a segurança das comunidades vizinhas.

⇒ **Métodos de Análise de Estabilidade**

A análise de estabilidade de pilhas de codisposição, especialmente quando parte da estrutura preenche uma cava exaurida, exige a aplicação de metodologias robustas que considerem a heterogeneidade dos materiais e as condições de contorno específicas. Para este projeto, serão empregados os seguintes métodos, visando uma avaliação abrangente e confiável.

a) Métodos de Equilíbrio Limite (MEL)

São as abordagens mais tradicionais e amplamente utilizadas para a análise de taludes. Baseiam-se na divisão da massa de solo em fatias ou blocos e na aplicação das equações de equilíbrio estático para determinar o Fator de Segurança (FS). Por sua simplicidade e rapidez computacional, os métodos de equilíbrio limite são eficazes para análises preliminares e para a identificação de superfícies críticas de ruptura. Métodos como Bishop Simplificado, Spencer ou Morgenstern-Price serão aplicados, por considerarem as forças inter-fatias, o que é relevante para a interação entre estéril e rejeito, e por permitirem a definição de diferentes zonas de materiais com propriedades geotécnicas distintas.

b) Métodos Numéricos (Elementos Finitos – MEF)

Essenciais para pilhas de grande porte e complexidade como esta, os métodos numéricos permitem uma representação mais detalhada do

comportamento do maciço, modelando as tensões e deformações no interior da pilha. Eles são capazes de simular o processo construtivo em etapas (aterro em camadas), a interação solo-estrutura, as condições de fluxo de água (regime transiente e permanente) e o comportamento não linear dos materiais. Para a pilha em questão, a capacidade de simular a interação entre o material de preenchimento e as paredes da cava exaurida, a influência da pressão de poros e a propagação de tensões é crucial para garantir a segurança estrutural.

c) Análise Sísmica

Para garantir a segurança da estrutura sob condições extremas, especialmente em regiões de atividade sísmica, será realizada a análise sísmica. Esta avaliação considerará a resposta da pilha a eventos sísmicos, utilizando métodos pseudo-estáticos (aplicação de forças sísmicas equivalentes) ou dinâmicos (simulação da propagação de ondas sísmicas), quando aplicável. A presença de rejeitos saturados na pilha aumenta o risco de liquefação sob carregamento sísmico, tornando esta análise indispensável para a integridade da estrutura.

⇒ Metodologia aplicada

A análises de estabilidade foram realizadas pelo método de equilíbrio limite, considerando-se os seguintes critérios:

- Análises bidimensionais;
- Materiais isotrópicos e homogêneos;
- Profundidade mínima do círculo de ruptura igual a 1 m⁵;
- Seção de estabilidade, considerando o trecho instrumentado da estrutura. A localização da seção em planta é apresentada na sequência.
- Análise para seções circulares, com otimização da superfície de busca;

⁵ Considerou-se que rupturas menores que 5 m de profundidade seriam bastante localizadas e se configurariam como erosões superficiais. É importante considerar que tais processos erosivos podem se desenvolver e condicionar processos de maior porte, sendo necessária sua correção imediata.

- Para a otimização considerou-se, no máximo, 2000 iterações; número de pontos na superfície de pesquisa inicial igual a 8 e igual a 16 no final; e ângulo côncavo máximo no lado solicitante igual a 5° e igual a 1° no lado resistente.
- Não foram avaliadas superfícies planares ou em cunha por inexistir evidências de descontinuidades de fundação ou evidência de processos de mobilização que justifiquem a aplicabilidade desta metodologia;
- Foram realizadas as análises utilizando-se o método de Morgenstern-Price.
- Fator de segurança mínimo de 1,50 para a análise da ruptura do talude global na seção crítica da pilha em relação: à altura, características de fundação e às condições de percolação – conforme NBR 13.029 (ABNT, 2024);
- Fator de segurança mínimo de 1,50 para a análise da ruptura do talude entre bermas na seção crítica da pilha em relação: à altura, características de fundação e às condições de percolação – conforme NBR 13.029 (ABNT, 2024).

4.4 CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

O atlas “Biodiversidade em Minas Gerais - um atlas para sua conservação” (DRUMMONT et al., 2005), se estabelece como instrumento norteador das ações compensatórias, orientando sobre as normas, diretrizes e critérios de áreas com potenciais biológicos em Minas Gerais e define estratégias para a conservação ambiental destas áreas, sendo estas identificadas em mapas.

O atlas dá referência às áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade, agindo como um importante instrumento que guia as tomadas de decisões e planejamento de ações e de atividades relacionadas à proteção e à manutenção de espécies nativas, sendo algumas ameaçadas de extinção e/ou endêmicas (espécies que só ocorrem em um determinado local). Também visa apresentar informações como a variedade de espécies que estão representadas em áreas prioritárias, consolidando e disseminando dados sobre a biodiversidade.

Em conformidade à Deliberação Normativa COPAM nº 55, de 13 de junho de 2002, o mencionado documento é apoio para estudos ambientais de empreendimentos, obras ou atividades consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, ou que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, a ser elemento de análise no Licenciamento Ambiental. Ao mesmo tempo em que identifica áreas prioritárias para a definição e validação de qualquer nova Unidade de Conservação pelo Estado, valendo também para aquelas decorrentes de licenciamento ambiental.

A fim de se conter a perda da biodiversidade e/ou a redução do potencial para pesquisa científica, tem-se a necessidade de subsidiar o planejamento para a criação de áreas protegidas, havendo o fortalecimento das ações, programas e projetos que proponham a proteção da fauna e flora, assim como a preservação em Unidades de Conservação.

Depois de definidas as áreas prioritárias pelo Atlas estas foram classificadas nas categorias de importância biológica: especial, extrema, muito alta e potencial.

“Importância biológica especial: áreas com ocorrência de espécie (s) restrita (s) à área e/ou ambiente (s) único (s) no Estado;

Importância biológica extrema: áreas com alta riqueza de espécies endêmicas, ameaçadas ou raras no Estado e/ou fenômeno biológico especial;

Importância biológica muito alta: áreas com média riqueza de espécies endêmicas, ameaçadas ou raras no Estado e/ou que representem extensos remanescentes significativos, altamente ameaçados ou com grau de conservação.

Importância biológica potencial: áreas insuficientemente conhecidas, mas com provável importância biológica, sendo, portanto, prioritárias para investigação científica.”

O empreendimento minerário da Herculano Mineração situa-se no Município de Itabirito, no Estado de Minas Gerais. Por meio das informações fornecidas pelo atlas foi possível conferir a posição do empreendimento frente às

áreas prioritárias para conservação, como pode ser visualizado na imagem a seguir.

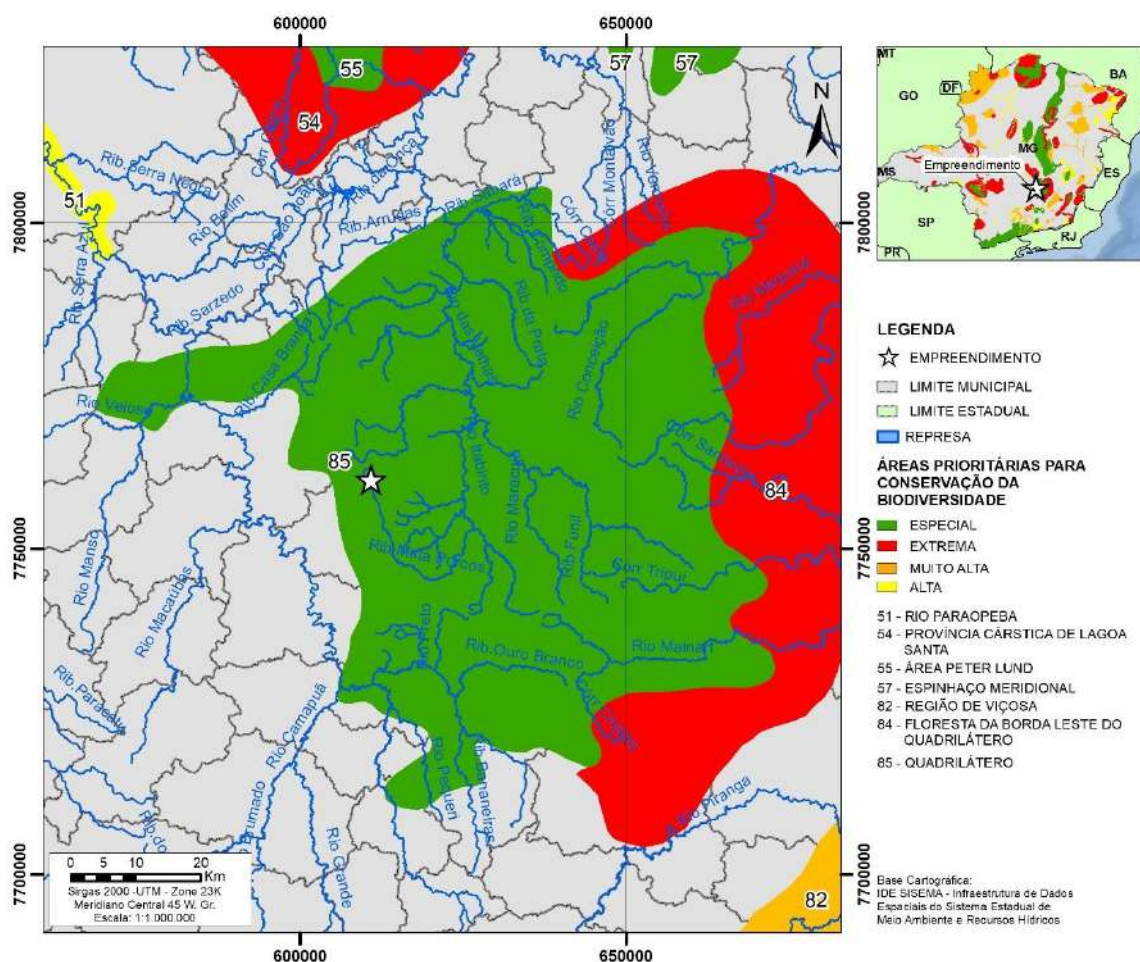


Figura 123 - Área do empreendimento representada no mapa das Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade em Minas Gerais.

No atlas o mapa-síntese das áreas prioritárias apresenta as 112 áreas mais importantes para conservação da biodiversidade no estado de Minas Gerais. Sendo estas assim definidas pela sobreposição e análise dos mapas gerados pelos grupos temáticos, classificados num contexto multidisciplinar.

A área objeto do presente licenciamento situa-se em área prioritária para conservação da biodiversidade em Minas Gerais, sendo ela o Quadrilátero Ferrífero. Esta é classificada como de importância biológica especial, pois apresenta alta incidência de espécies endêmicas de anfíbios e plantas e possui alta

riqueza de vertebrados, sendo considerado um ambiente único no Estado (campos ferruginosos). A região recebe ações prioritárias para investigação científica por apresentar grande importância para a diversidade biológica local. Tem como prioridade a conservação da biodiversidade, assim a urgência dessa ação é considerada como de curtíssimo prazo.

Com base nas informações contidas no mencionado atlas, a região do Quadrilátero Ferrífero é sujeita às atividades antrópicas de mineração, expansão urbana, agricultura e queimada. E o mesmo faz recomendações específicas, como a implantação de planos de manejo, criação de unidades de conservação, inventários, recuperação e educação ambiental visando proteção da região do Quadrilátero Ferrífero.

As variáveis utilizadas para gerar os indicadores do fator condicionante fauna foram obtidas da base de dados do IEF, que orientou a publicação “Biodiversidade em Minas Gerais: um Atlas para a sua conservação” (DRUMMONT et al., 2005). Nesta são apresentadas áreas prioritárias para a conservação dos diferentes grupos faunísticos (Ictiofauna, Mastofauna, Avifauna, Herpetofauna e Invertebrados) com base na riqueza estimada, ocorrência de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, entre outras variáveis operacionais.

Para cada área prioritária para conservação da fauna no Estado, fez-se a reclassificação dos critérios de prioridade para conservação, associando às áreas valores de integridade, o que em princípio poderia indicar a possibilidade de perda futura de componentes faunísticos. Neste caso, se a área é considerada prioritária para conservar a fauna em função do grau de endemismos, espécies ameaçadas e riqueza total de espécies, presume-se que a ocupação indiscriminada desta poderá acarretar em perda de biodiversidade. A correspondência entre as classes definidas no Atlas de Áreas Prioritárias para a Conservação e no ZEE-MG (IDE SISEMA) é apresentada a seguir:

Quadro 5 - Conversão de classes para o sistema utilizado no ZEE-MG (IDE SISEMA) – Fauna.

Classes no Atlas Biodiversitas (Classificação anterior)	Classes no ZEE-MG (Classificação atual)
Nenhuma	Baixa
Potencial	Média
Alta	Alta
Muito Alta	Muito Alta
Extrema	Muito Alta
Especial	Muito Alta

Já para cada área prioritária para conservação da flora no Estado fez-se a reclassificação dos critérios de prioridade para conservação, associando às áreas valores de vulnerabilidade, principalmente a perda futura de vegetação nativa. Neste caso, se a área é prioritária para conservar a flora em função do grau de endemismos e riqueza total de espécies, presume-se que a ocupação indiscriminada da área poderá acarretar em perda de biodiversidade. A correspondência entre as classes definidas no Atlas da Biodiversitas e no ZEE-MG (IDE SISEMA) é apresentada abaixo:

Quadro 6 - Conversão de classes para o sistema utilizado no ZEE-MG (IDE SISEMA) – Flora.

Classes no Atlas Biodiversitas (Classificação anterior)	Classes no ZEE-MG (Classificação atual)
Nenhuma	Muito Baixa
Corredor	Baixa
Potencial	Média
Alta	Alta
Muito Alta	Muito Alta
Extrema	Muito Alta
Especial	Muito Alta

A seguir será apresentada a posição do empreendimento frente às áreas prioritárias para conservação de cada grupo temático analisado e verificado no IDE-SISEMA.

a) Invertebrados

Há evidências de que seja muito alto o número de espécies de invertebrados em Minas Gerais e ressalta que a diversidade deste grupo é o reflexo

da ocorrência dos biomas Cerrado, Mata Atlântica e da Caatinga no Estado. Porém estes animais são pouco estudados, o que reflete nas poucas informações existentes sobre a taxonomia deste grupo e em sua pequena representação nas listas estaduais e nacional de espécies ameaçadas de extinção.

Conforme o ZEE/MG, para cada área prioritária para conservação de invertebrados no Estado, fez-se a reclassificação dos critérios de prioridade para conservação, associando às áreas valores de vulnerabilidade, principalmente a perda futura de biodiversidade de invertebrados. Nesse caso, se a área é prioritária para conservar o grupo em função do grau de endemismos e riqueza total de espécies, presume-se que a ocupação indiscriminada da área poderá acarretar em perda de biodiversidade deste grupo faunístico.

Assim, pôde-se verificar que o empreendimento está inserido entre três áreas prioritárias para conservação deste grupo, sendo uma área classificada como de baixa prioridade, outra como de média prioridade e a outra de muito alta prioridade para conservação de invertebrados, mas, conforme demonstrado no mapa a seguir, há pela ADA o predomínio de áreas de muito alta prioridade para a conservação deste grupo (ZEE-MG / IDE SISEMA):

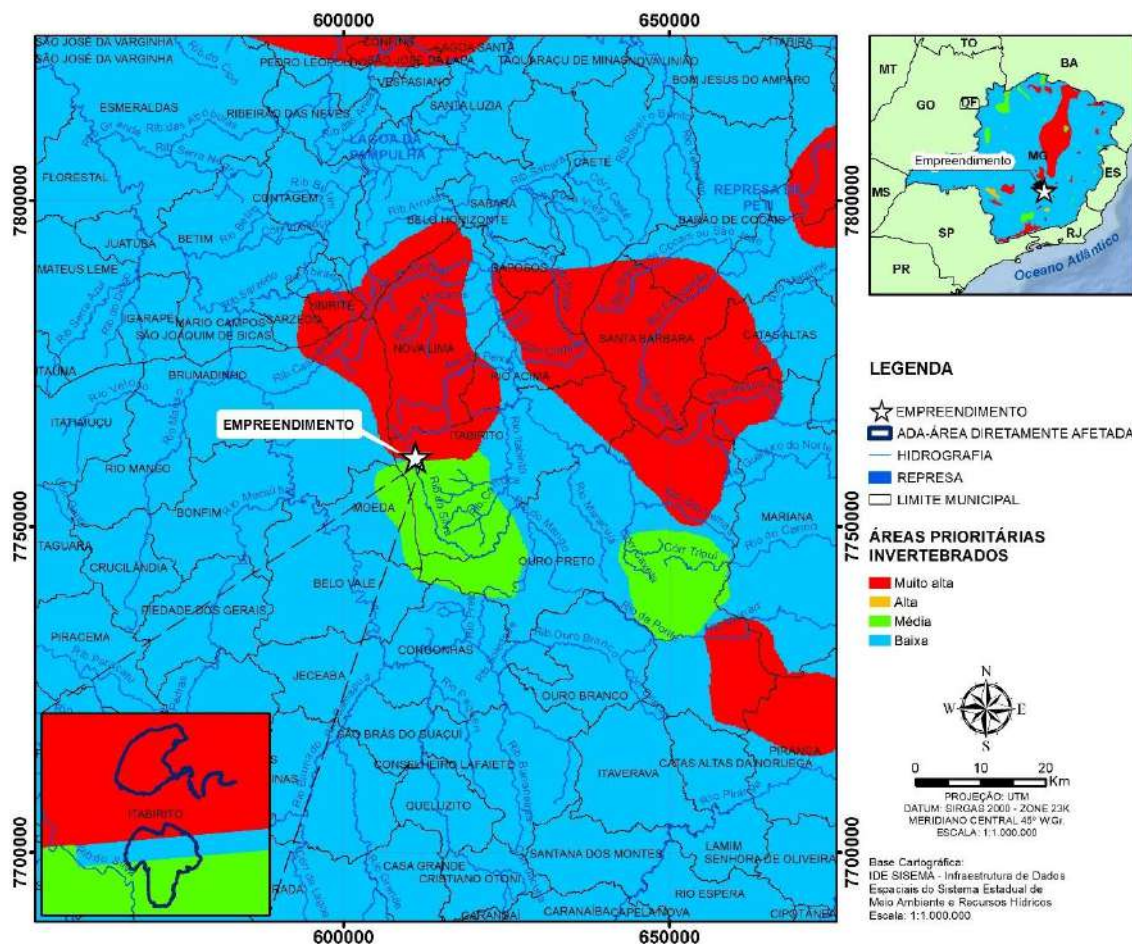


Figura 124 - Localização do empreendimento representada no mapa de áreas prioritárias para a conservação de invertebrados em Minas Gerais.

b) Répteis e Anfíbios

O Estado pode ser considerado um dos mais privilegiados na composição de seus recursos naturais, devido aos biomas inseridos em seu território. Sua heterogeneidade é expressa em diferentes formações vegetais, rochosas e sistemas hídricos que, em conjunto, favorecem a ocorrência de uma grande diversidade de anfíbios e répteis.

De acordo com o ZEE/MG, para cada área prioritária para conservação da herpetofauna no estado, fez-se a reclassificação dos critérios de prioridade para conservação associando às áreas valores de vulnerabilidade, principalmente a perda futura de biodiversidade. Neste caso, se a área é prioritária para conservar o grupo em função do grau de endemismos e riqueza total de espécies, presume-se

que a ocupação indiscriminada da área poderá acarretar em perda de biodiversidade.

Assim, verifica-se que o empreendimento se localiza em área classificada como de muito alta prioritária para a conservação deste grupo, conforme pode ser visto na figura a seguir (ZEE-MG / IDE SISEMA).

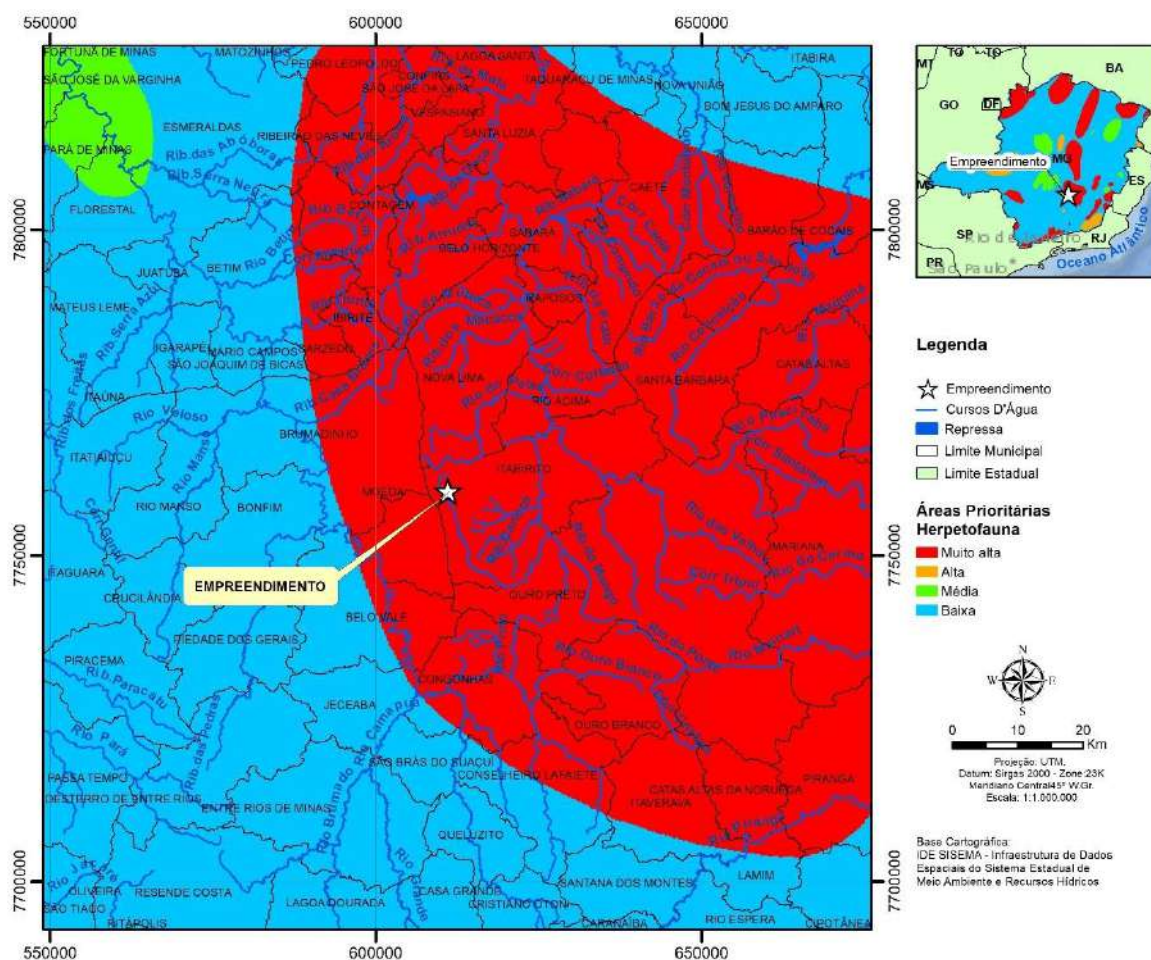


Figura 125 - Localização do empreendimento representada no mapa de áreas prioritárias para a conservação de répteis e anfíbios em Minas Gerais.

c) Aves

Minas Gerais abriga uma fauna de aves bastante rica e diversificada devido aos biomas que engloba. Porém, apesar da grande riqueza que apresenta, grande número de espécies encontra-se sob algum tipo de ameaça de extinção no Estado.

Conforme o ZEE/MG, para se estabelecer o nível de vulnerabilidade do

indicador avifauna, fez-se a reclassificação dos critérios de prioridade para conservação associando às áreas valores de vulnerabilidade, principalmente a perda futura de biodiversidade de aves. Neste caso, se a área é prioritária para conservar o grupo em função do grau de endemismos, presença de espécies ameaçadas e riqueza total de espécies, presume-se que existe risco de perda de biodiversidade deste caso ocorra a ocupação indiscriminada da área.

Portanto, pela figura a seguir, é possível verificar que o empreendimento se localiza em área considerada como de muito alta prioritária para a conservação deste grupo (ZEE-MG / IDE SISEMA).

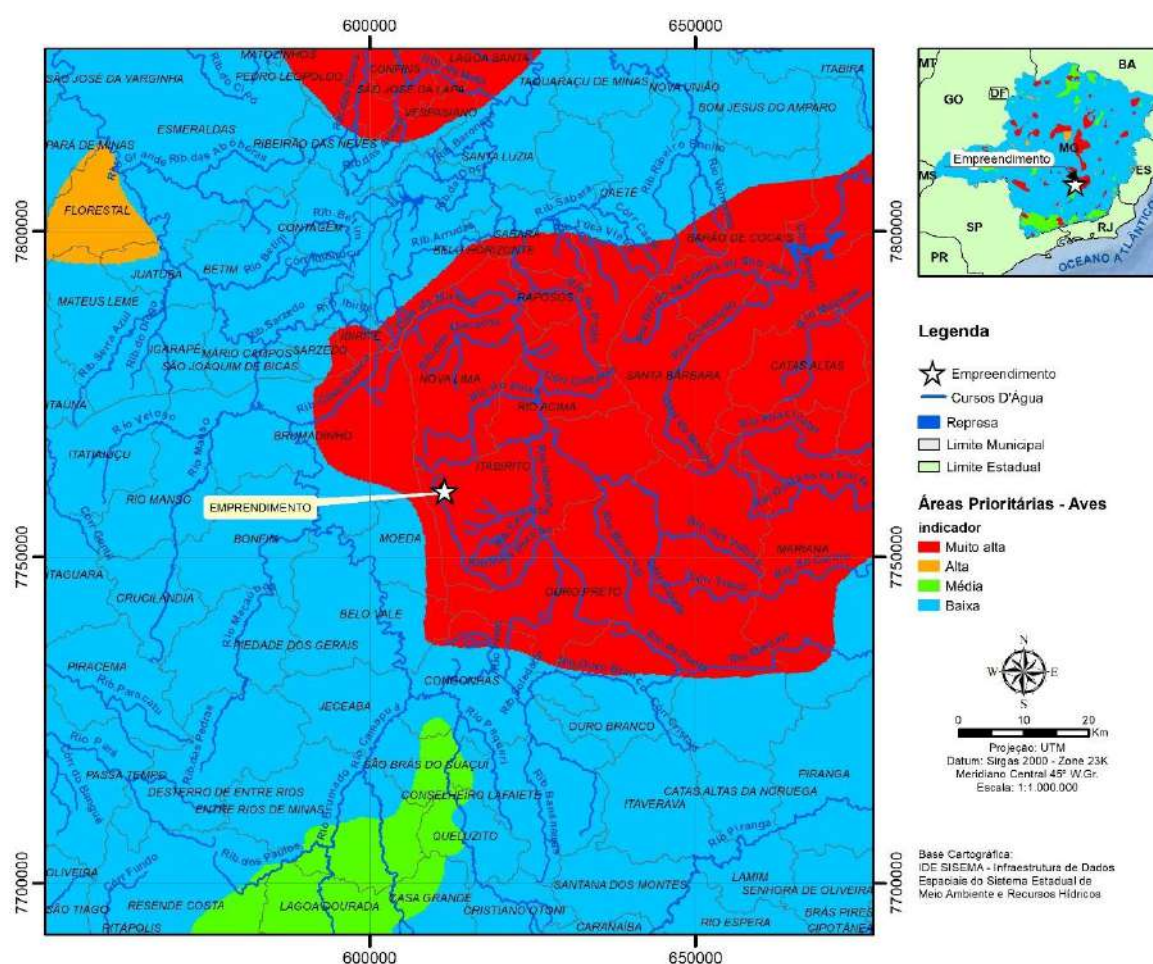


Figura 126 - Localização do empreendimento representada no mapa de áreas prioritárias para a conservação de aves em Minas Gerais.

d) **Mamíferos**

O Estado de Minas Gerais, devido aos biomas que abriga, possui uma fauna muito diversificada, mas perda e a fragmentação de habitat, resultantes de atividades humanas, constituem as maiores ameaças aos mamíferos terrestres no Brasil. Estes animais são de difícil visualização, o que se deve, principalmente, ao fato de terem hábitos discretos, principalmente se influenciados por pressões antrópicas, sendo seus hábitos, em sua maioria, crepusculares e noturnos.

De acordo com o ZEE-MG, para cada área prioritária para conservação de mamíferos no estado, fez-se a reclassificação dos critérios de prioridade para conservação associando-se às áreas valores de vulnerabilidade, principalmente a perda futura de biodiversidade de mamíferos. Neste caso, se a área é considerada prioritária para conservar o grupo em função do grau de endemismos, presença de espécies ameaçadas e riqueza total de espécies presume-se que a ocupação indiscriminada desta área poderá acarretar em perda de biodiversidade deste grupo faunístico.

Assim, verifica-se que empreendimento se localiza em área de baixa prioridade para a conservação deste grupo, conforme pode ser verificado na figura a seguir (ZEE-MG / IDE SISEMA).

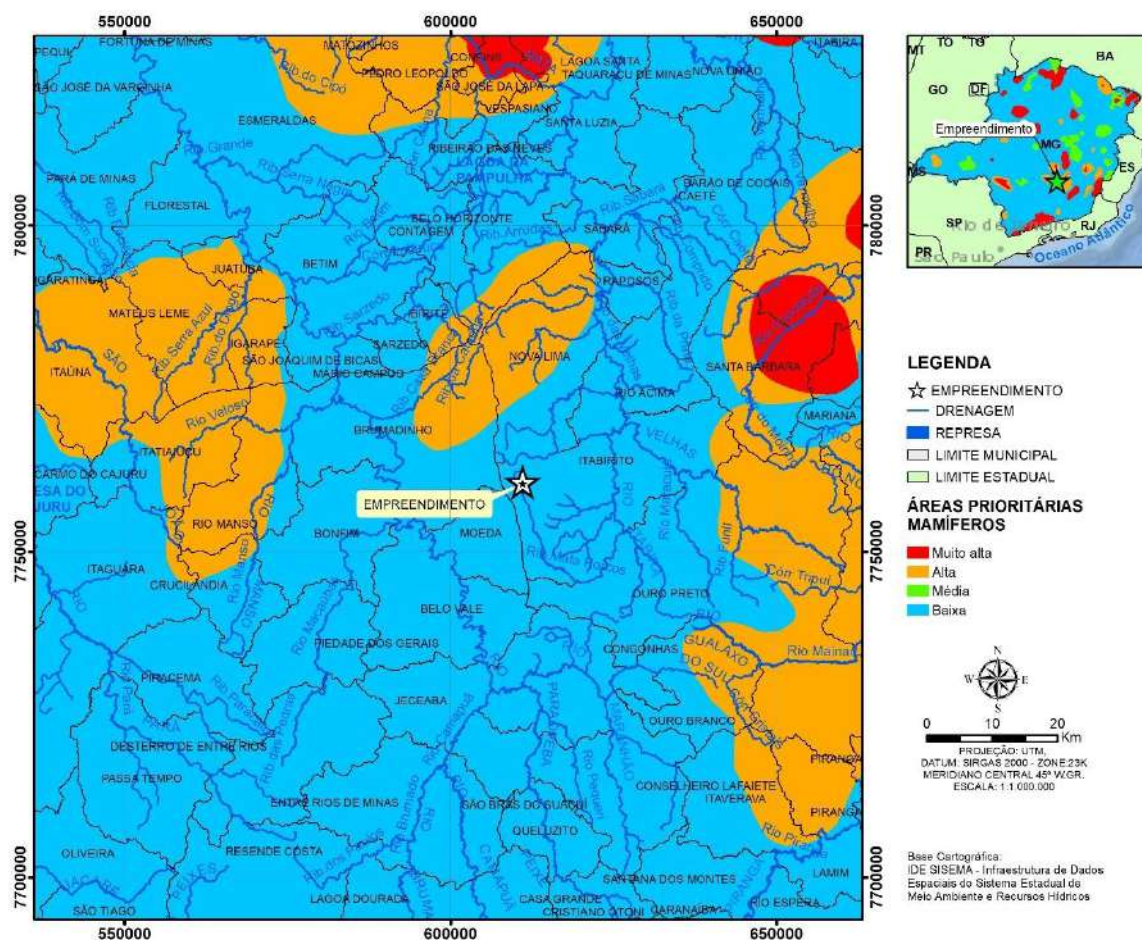


Figura 127 – Localização do empreendimento representada no mapa de áreas prioritárias para a conservação de mamíferos em Minas Gerais.

e) Peixes

Minas Gerais abriga as bacias hidrográficas do rio São Francisco, Grande, Paranaíba, Doce e Jequitinhonha. Estas bacias drenam cerca de 90% da área do Estado, o que lhe confere um enorme potencial hídrico.

Conforme o ZEE/MG, para cada área prioritária para conservação de peixes no estado fez-se a reclassificação dos critérios de prioridade para conservação, associando às áreas valores de vulnerabilidade, principalmente a perda futura de biodiversidade de peixes. Neste caso, se a área é prioritária para conservar o grupo em função do grau de endemismos e riqueza total de espécies presume-se que a ocupação indiscriminada da área poderá acarretar em perda de biodiversidade deste grupo faunístico.

Portanto, verifica-se que o empreendimento se localiza em área de baixa prioridade para a conservação deste grupo, conforme pode ser verificada pela figura a seguir (ZEE-MG / IDE SISEMA).

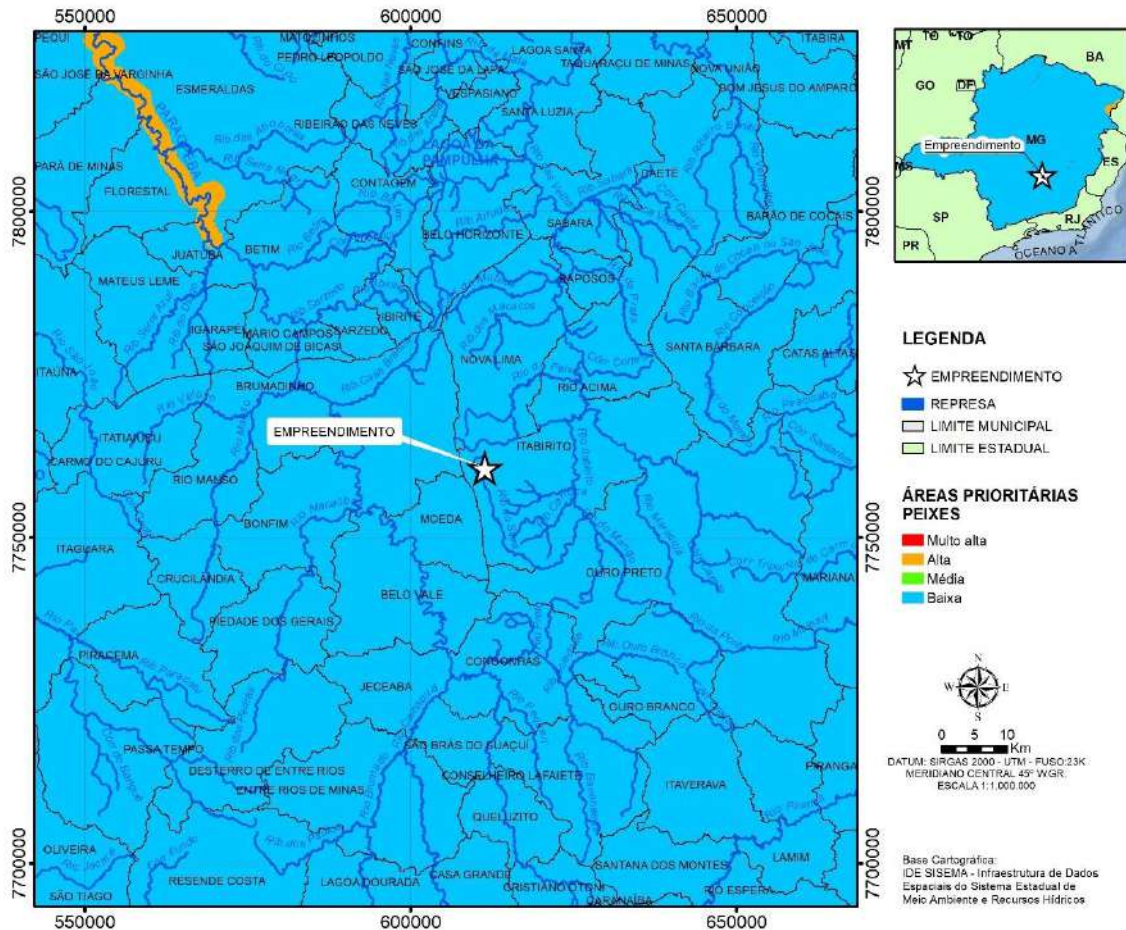


Figura 128 - Localização do empreendimento representada no mapa de áreas prioritárias para a conservação de peixes em Minas Gerais.

f) Flora

As diferentes formas de relevo em Minas Gerais propiciam paisagens variadas, recobertas por vegetações características, adaptadas aos biomas que ocorrem no Estado. O atlas frisa que, como resultado desta variedade de paisagens, o Estado possui uma riqueza extraordinária de flora, apresentada em diferentes tipologias que ocupam grandes espaços territoriais como as florestas

estacionais semidecíduais montana e submontana, a floresta estacional decidual, a caatinga, o cerrado com suas diferentes fisionomias e o campo rupestre.

De acordo com o ZEE/MG, com relação às áreas com prioridade para conservação da flora, o fator apresenta certa coincidência com as áreas mais bem preservadas do Estado. Essas áreas geralmente possuem maior riqueza de espécies, diversidade, endemismos, etc.

Assim, verifica-se que o empreendimento está inserido em área de muito alta prioridade para a conservação da flora, conforme pode ser verificado no próximo mapa (ZEE-MG / IDE SISEMA).

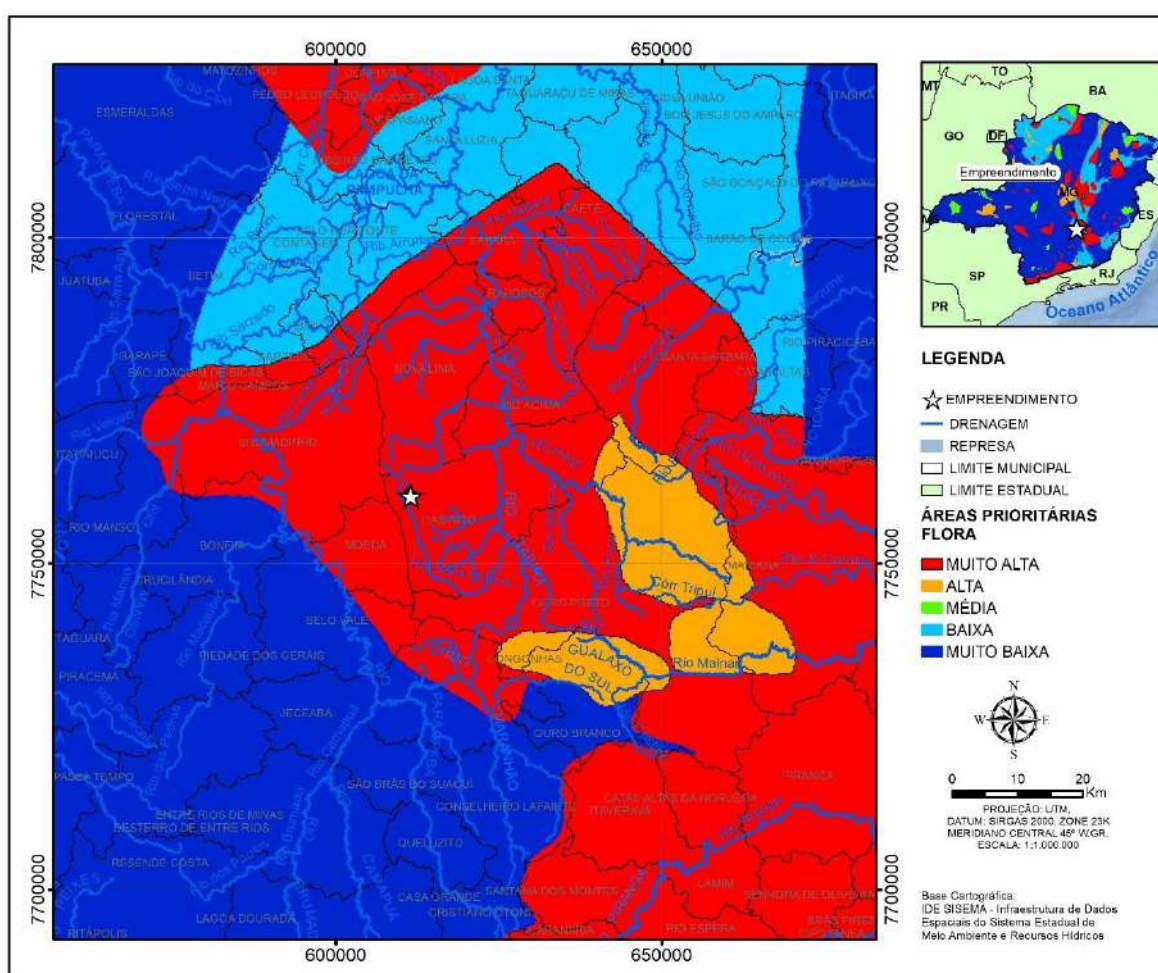


Figura 129 - Localização do empreendimento representada no mapa de áreas prioritárias para a conservação da flora em Minas Gerais.

4.5 ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DE MINAS GERAIS

O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) é um dos instrumentos previstos na Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) instituída pela Lei Federal nº 6.938/1981. Seguindo as diretrizes metodológicas estabelecidas no Programa ZEE do Ministério do Meio Ambiente (MMA), é o zoneamento obtido a partir do cruzamento de informações sobre a potencialidade social e a vulnerabilidade natural de um território.

Em Minas Gerais, os estudos do ZEE-MG foram concluídos em 2008, realizados por meio de convênio de cooperação firmado entre o SISEMA e a Universidade Federal de Lavras (UFLA). O ZEE-MG resultou em um macro diagnóstico do Estado, capaz de contribuir para a definição de áreas estratégicas para o desenvolvimento sustentável, subsidiando o planejamento e a orientação das políticas públicas e ações sobre o meio ambiente.

Com os metadados disponibilizados no site do IDE-SISEMA, o objetivo geral do ZEE-MG é o de orientar investimentos do Governo e da sociedade civil segundo as peculiaridades regionais, além de:

- Fornecer diagnósticos gerais e uma perspectiva global sobre a realidade do Estado, elaborar bases para os modelos ambientais (naturais e antrópicos) e os cenários exploratórios, e ainda permitir a elaboração de diagnósticos ambientais e prognósticos de impactos positivos e negativos.
- Incentivar estudos qualitativos e quantitativos sobre os recursos naturais para aumentar a capacidade de análise dos projetos, além de permitir a avaliação estratégica do desenvolvimento das políticas setoriais do Estado, definindo áreas prioritárias para desenvolvimento, conservação e preservação ambiental.
- Fornecer banco de dados e Sistema de Informações Geográficas (SIG) de acesso público, em linguagem universal e de fácil uso, contendo informações temáticas primárias e secundárias.

O empreendimento da Herculano Mineração está localizado no município de Itabirito, no estado de Minas Gerais. Portanto, neste item serão

apresentadas as informações sobre o Zoneamento Ecológico Econômico da área diretamente afetada pelo empreendimento.

4.5.1 Vulnerabilidade Natural

Entende-se como vulnerabilidade natural a incapacidade de uma unidade espacial resistir e/ou recuperar-se após sofrer impactos negativos decorrentes de atividades antrópicas consideradas normais, isto é, não passíveis de licenciamento ambiental pelo órgão competente.

Assume-se que, se uma unidade espacial apresenta um dado nível de vulnerabilidade ambiental a uma atividade antrópica normal, ela também terá um nível igual ou superior para uma atividade econômica passível de licenciamento. Deve-se ressaltar que a vulnerabilidade natural é referente à situação atual do local. Obviamente, áreas altamente antropizadas são menos vulneráveis a novas atividades humanas do que áreas ainda não antropizadas.

Fator condicionante corresponde a um conjunto de indicadores, pontuados de acordo com critérios estatísticos e possui a condição de representar uma mudança para melhor ou para pior de uma determinada realidade. Os fatores condicionantes da vulnerabilidade natural, utilizados neste Zoneamento foram:

- Integridade da Flora;
- Integridade da Fauna;
- Susceptibilidade dos solos à contaminação;
- Susceptibilidade dos solos à erosão;
- Susceptibilidade geológica à contaminação das águas subterrâneas;
- Disponibilidade natural de água;
- Condições climáticas.

Após a definição da vulnerabilidade para cada fator condicionante, essas foram superpostas com um mesmo peso de ponderação, a fim de gerar a carta síntese de vulnerabilidade natural.

O mapa de vulnerabilidade natural de Minas Gerais foi elaborado a partir da reclassificação ponderada dos mapas de fatores condicionantes do componente físico e biótico do estudo.

Assim, a figura a seguir mostra que o local de implantação do empreendimento insere-se em áreas com vulnerabilidade natural “MUITO ALTA”. Assim, conforme as diretrizes do ZEE-MG, as áreas que apresentam sérias restrições quanto à utilização dos recursos naturais, pelo fato de que os mesmos se encontram altamente vulneráveis às ações antrópicas. Uma combinação de fatores condicionantes determina esse nível de vulnerabilidade natural demandando avaliações cuidadosas para implantação de qualquer empreendimento. As estratégias de desenvolvimento dessas áreas devem apontar para ações que não causem impactos ambientais.

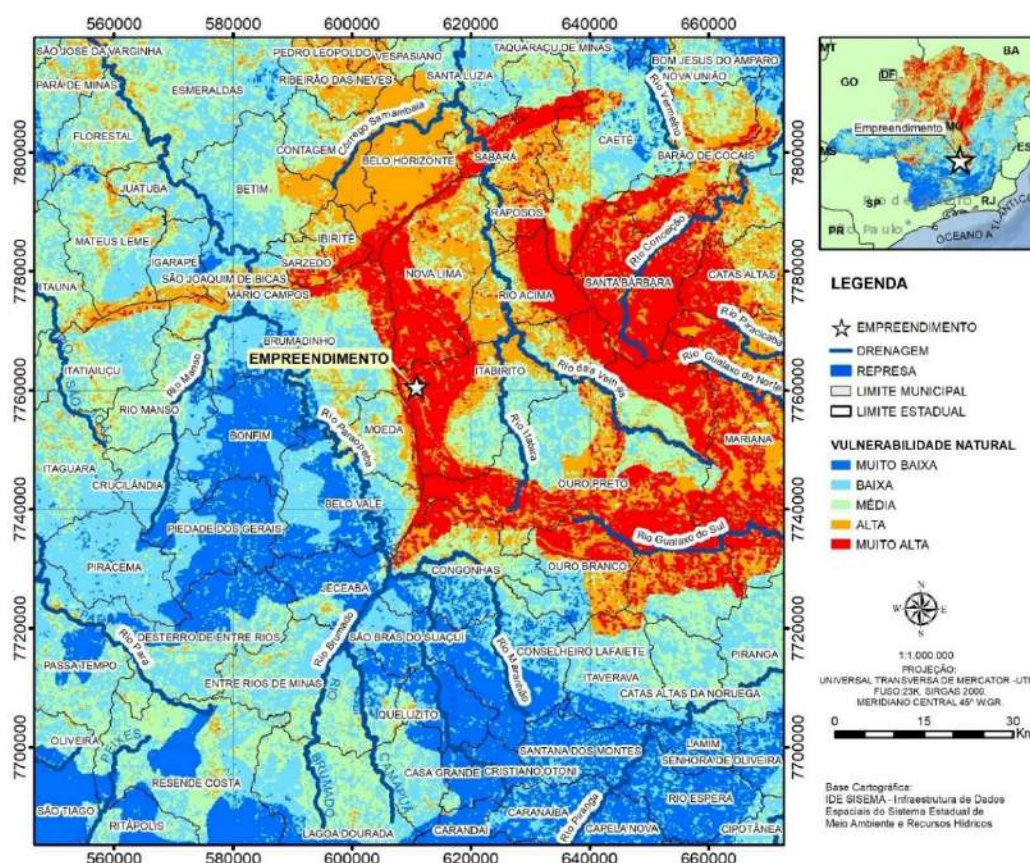


Figura 130 - Vulnerabilidade Natural da Área Diretamente Afetada – ADA pelo empreendimento.

4.5.2 *Potencial Social*

A potencialidade social pode ser definida como o conjunto de condições atuais, medido pelas dimensões produtiva, natural, humana e institucional, que determina o ponto de partida de um município ou de uma microrregião para alcançar o desenvolvimento sustentável.

Fatores condicionantes da potencialidade social:

- Infraestrutura de transporte;
- Atividades econômicas;
- Utilização das terras;
- Estrutura fundiária;
- Recursos minerais;
- Ocupação econômica;
- Demografia;
- Condições Sociais;
- Capacidade institucional;
- Organizações jurídicas;
- Organizações financeiras;
- Organizações de fiscalização e de controle;
- Organizações de ensino e de pesquisa;
- Organizações de segurança pública.

Por sua vez, cada potencial (produtivo, natural, humano e institucional) é constituído por um conjunto de fatores condicionantes, formando-se uma estrutura metodológica de potencialidade social para diagnosticar a realidade dos municípios.

O componente natural é constituído pelos seguintes fatores condicionantes: Utilização das terras, ICMS Ecológico, Estrutura Fundiária e Recursos Minerais.

A seguir são apresentadas a figura com o mapa de “Potencialidade Social” para a área do empreendimento.

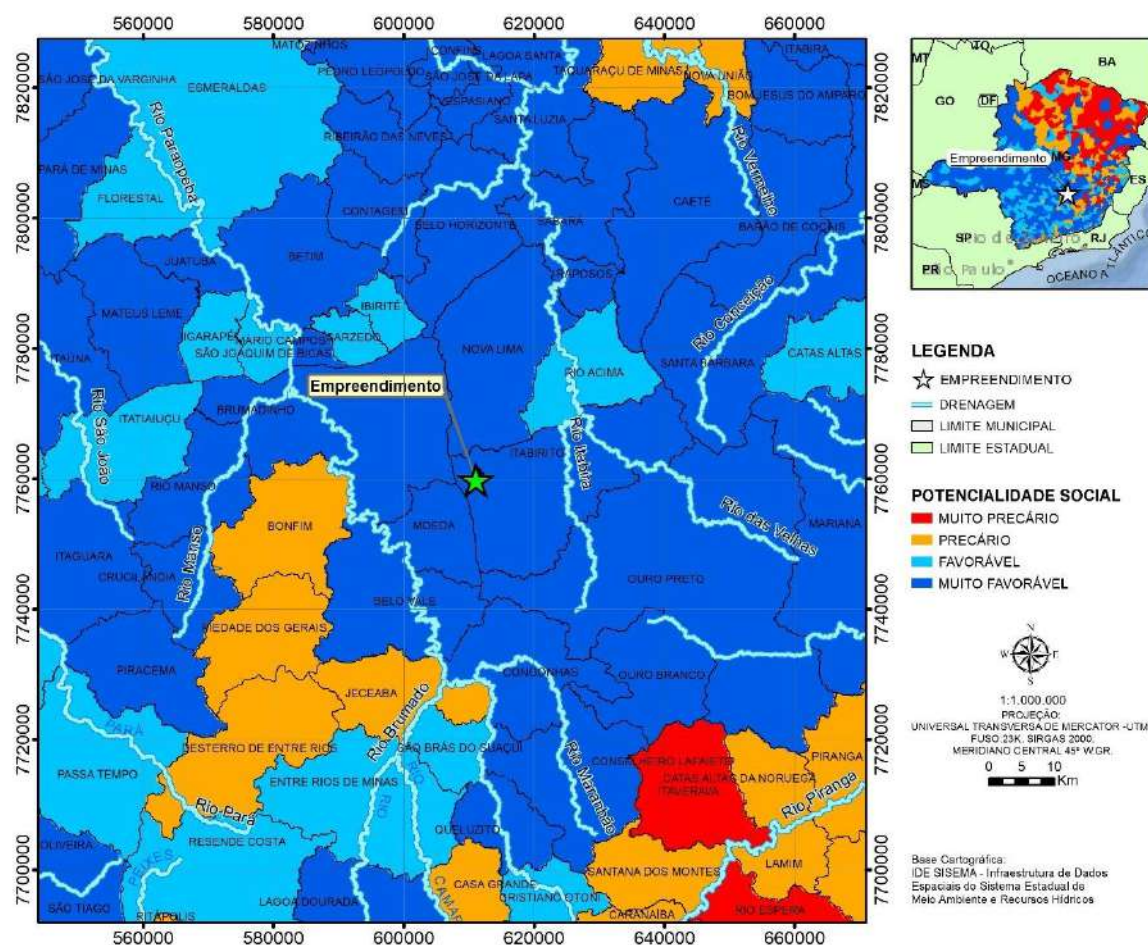


Figura 131 - Potencialidade Social da Área Diretamente Afetada – ADA pelo empreendimento.

O ponto de partida de potencialidade social dos municípios e microrregiões do estado de Minas Gerais deve ser identificado por meio da categorização dos municípios, o que poderá permitir ao gestor público avaliar e direcionar a aplicação de recursos de forma adequada a cada realidade.

Tabela 43– Categorias de potencialidade social dos municípios de Minas Gerais.

Categoria/pontos	Tipo de potencialidade social
A = 5	Ponto de Partida em Condições <u>Muito Favoráveis</u>
B = 4	Ponto de Partida em Condições <u>Favoráveis</u>
C = 3	Ponto de Partida em Condições <u>Pouco Favoráveis</u>
D = 2	Ponto de Partida em Condições <u>Precárias</u>
E = 1	Ponto de Partida em Condições <u>Muito Precárias</u>

Assim, verifica-se que a potencialidade social da área do empreendimento é considerada “MUITO FAVORÁVEL” (Categoria A). A potencialidade “muito favorável” engloba os municípios que possuem condições gerais semelhantes, como ponto de partida muito favorável para o desenvolvimento sustentável, em comparação com todos os municípios do Estado de Minas Gerais. Esta situação, na qual estes municípios se encontram, se traduz na capacidade que possuem de oferecer resposta superior aos investimentos realizados em áreas estratégicas ou em setores específicos. Sendo assim, correspondem a municípios que possuem capacidades nos níveis estratégico, tático e operacional de serem facilmente estimulados a alavancarem o desenvolvimento sustentável local. Ressalta-se que as prioridades de desenvolvimento desses municípios encontram-se, principalmente, no nível estratégico.

4.5.3 Índice Ecológico-Econômico

O Índice Ecológico-Econômico (IEE) é o resultado da combinação lógico-intuitiva dos vários níveis de potencialidade social com os de vulnerabilidade natural. As possíveis combinações permitem agrupar áreas semelhantes quanto à severidade dos problemas ambientais e dos potenciais sociais que nelas podem ser encontrados.

Assim, o IEE fornece subsídios para que a proposta de zoneamento seja balizada por fatores determinantes do ambiente natural e social. Dessa forma foram estabelecidas seis zonas de desenvolvimento, conforme discriminadas a seguir:

- AA = Terras de baixa vulnerabilidade em locais de alto potencial social
- AB = Terras de alta vulnerabilidade em locais de alto potencial social
- BA = Terras de baixa vulnerabilidade em locais de médio potencial social
- BB = Terras de alta vulnerabilidade em locais de médio potencial social
- CA = Terras de baixa vulnerabilidade em locais de baixo potencial social
- CB = Terras de alta vulnerabilidade em locais de baixo potencial social

Para a categoria de vulnerabilidade natural (Muito Alta) e potencialidade social (Muito Favorável) apresentadas na área do empreendimento, a ZEE-MG

considera a área como zona de desenvolvimento *AB*, que representa áreas de *alta vulnerabilidade natural* em locais de *alto potencial social*.

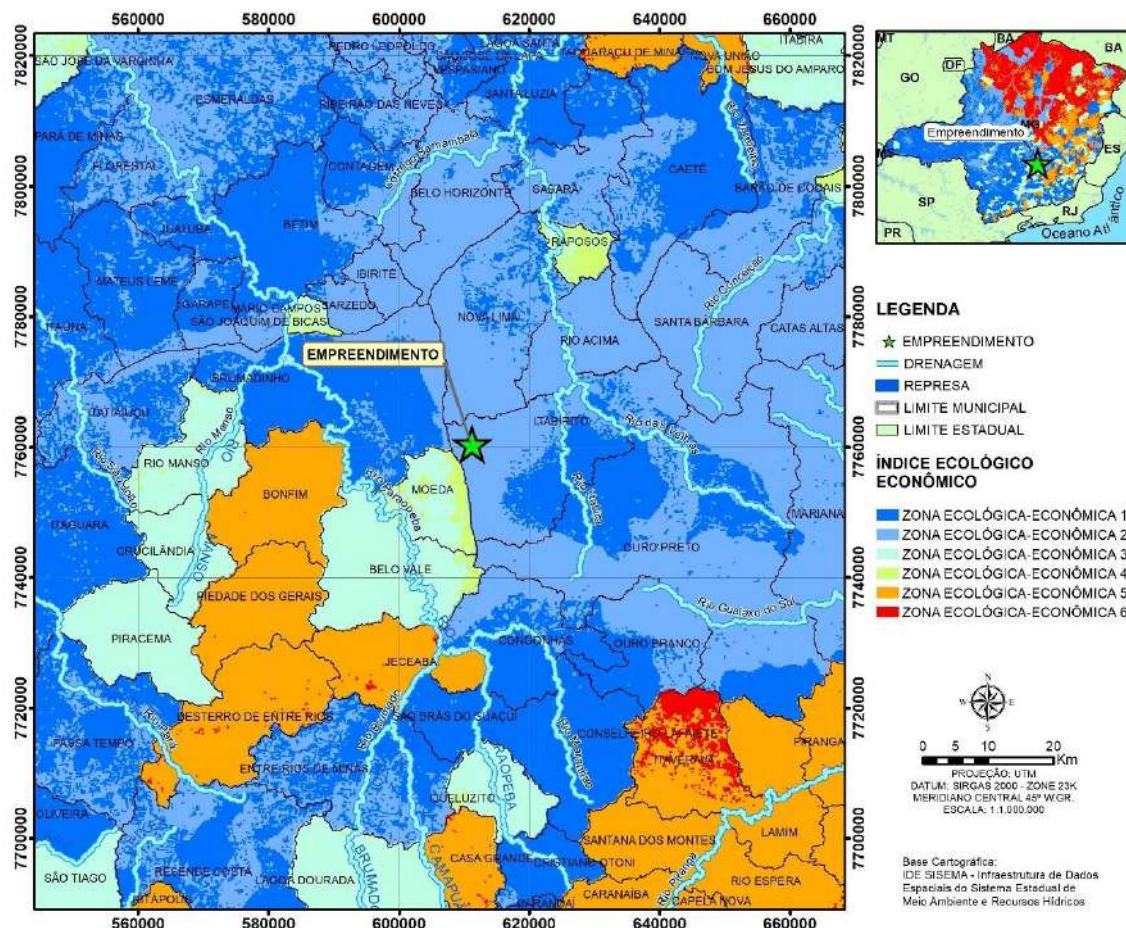


Figura 132 - Zona Ecológico-Econômica da Área Diretamente Afetada - ADA.

Assim, o empreendimento localiza-se na Zona Ecológico-Econômica 2 como representado acima, a qual é formada pela classe AB do Índice Ecológico-Econômico (IEE). Estas são áreas de elevado potencial social que pressupõem condições de gerenciar empreendimentos de maior porte e causadores de maiores impactos socioambientais. Caracterizam-se por possuírem capacidades nos níveis estratégico, tático e operacional e de serem facilmente estimuladas para alavancar o desenvolvimento sustentável local. Nessa zona, os locais são mais vulneráveis ambientalmente, e os empreendedores devem procurar estabelecer maior gama de ações preventivas e mitigadoras de impactos.

4.6 ÁREAS PROTEGIDAS

As áreas protegidas correspondem à importantes instrumentos de conservação *in situ* da biodiversidade, isso se deve ao fato de serem áreas fundamentais à manutenção da integridade de espécies, populações e ecossistemas, incluindo, também, os sistemas e meios tradicionais de sobrevivência de populações humanas.

4.6.1 Unidades de Conservação

As Unidades de Conservação (UC) são áreas com características naturais relevantes, com a função de assegurar a representatividade de amostras significativas e ecologicamente viáveis das diferentes populações, habitats e ecossistemas do território nacional e das águas jurisdicionais, preservando o patrimônio biológico existente.

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) foi instituído pela Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Ele estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação federais, estaduais e municipais no Brasil. A referida Lei define Unidade de Conservação como um espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes.

Em agosto de 2002 o Decreto nº 4.340 regulamentou artigos da Lei do SNUC referentes à criação de Unidade de Conservação; definição de limites do subsolo e do espaço aéreo da unidade de conservação; criação e funcionamento de mosaico de unidades de conservação; plano de manejo; a definição das atribuições dos conselhos consultivo e deliberativo das Unidades de Conservação, legitimando a maior participação da sociedade civil na gestão das unidades; a definição dos critérios para a gestão compartilhada de UCs com organizações da sociedade civil de interesse público (OSCIP); autorização para exploração de bens e serviços em unidades de conservação; compensação por significativo impacto ambiental; reassentamento de populações tradicionais residentes em unidades de

conservação; reavaliação de unidade de conservação de categoria inexistente no SNUC; e funcionamento das Reservas da Biosfera.

As Unidades de Conservação são criadas por ato do Poder Público tendo-se a necessidade de estudos técnicos prévios e consulta pública que permitam identificar a localização, a dimensão e os limites mais adequados para a unidade, conforme se dispuser em regulamento, porém, para a criação de Estação Ecológica ou Reserva Biológica a referida consulta não é obrigatória. Cabe ressaltar que a desativação ou a redução do limite das unidades só pode ser feita mediante lei específica, observando-se também que o subsolo e o espaço aéreo, sempre que influírem na estabilidade do ecossistema, integram os limites das unidades.

Ainda de acordo com o SNUC, as unidades de conservação, com exceção de Área de Proteção Ambiental (APA) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), devem possuir uma zona de amortecimento e, quando conveniente, corredores ecológicos, com estabelecimento de normas específicas pelo órgão responsável pela sua administração, regulamentando a ocupação e o uso dos recursos da zona de amortecimento e dos corredores ecológicos da unidade de conservação.

No caso do licenciamento de empreendimento de significativo impacto ambiental, assim considerado pelo órgão ambiental competente, baseado no estudo de impacto ambiental e seu respectivo relatório (EIA/RIMA), fica o empreendedor obrigado a apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do Grupo de Proteção Integral definida pelo órgão ambiental licenciador, podendo, inclusive, ser contemplada a criação de novas unidades de conservação. Caso o empreendimento venha afetar unidade de conservação específica ou sua zona de amortecimento, o licenciamento só será concedido mediante autorização do órgão responsável por sua administração, e a unidade atingida, seja do grupo de Proteção Integral ou não, será uma das beneficiárias da compensação.

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação é composto pelo conjunto de unidades de conservação federais, estaduais, municipais e

particulares, distribuídas em doze categorias de manejo. Cada uma dessas categorias se diferencia quanto à forma de proteção e usos permitidos.

Tabela 44 – Tipologias e categorias de unidades de conservação de acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (Lei nº 9.985/2000).

Unidades de Proteção Integral	Unidades de Uso Sustentável
Estação Ecológica	Área de Proteção Ambiental
Reserva Biológica	Área de Relevante Interesse Ecológico
Parque Nacional	Floresta Nacional
Monumento Natural	Reserva Extrativista
Refúgio de Vida Silvestre	Reserva de Fauna
	Reserva de Desenvolvimento Sustentável
	Reserva Particular do Patrimônio Natural

Fonte: SNUC, 2000.

Segundo o SNUC, as unidades de proteção integral objetivam “preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto de seus recursos naturais”, ou seja, usos que não envolvam o consumo, coleta, dano ou destruição de tais recursos. Já as unidades de uso sustentável objetivam “compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais”, onde o uso sustentável refere-se à “exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos renováveis e dos processos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável”. Assim, as unidades de conservação formam uma rede, na qual cada categoria contribui de uma forma específica para a conservação dos recursos naturais.

Desta forma, as Unidades de Conservação de Proteção Integral são:

- **Estação Ecológica:** área destinada à preservação da natureza e à realização de pesquisas científicas.
- **Reserva Biológica:** área destinada à preservação da diversidade biológica, onde podem ser efetuadas medidas de recuperação de ecossistemas alterados e de preservação e recuperação do equilíbrio natural, da diversidade biológica e dos processos ecológicos naturais.
- **Parque Nacional:** área destinada à proteção dos ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, onde podem ser

realizadas atividades de recreação, educação e interpretação ambiental, e desenvolvidas pesquisas científicas.

- **Monumento Natural:** área que tem como objetivo básico a preservação de lugares singulares, raros e de grande beleza cênica. Permite a existência de propriedades privadas em seu interior.
- **Refúgio de Vida Silvestre:** ambiente natural onde se asseguram condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória. Permite a existência de propriedades privadas em seu interior.

Já as Unidades de Conservação de Uso Sustentável são:

- **Área de Proteção Ambiental:** área, em geral, extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos naturais, estéticos e culturais importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações.
- **Área de Relevante Interesse Ecológico:** área de pequena extensão, com pouca ou nenhuma ocupação humana e com características naturais singulares, cujo objetivo é manter ecossistemas naturais de importância regional ou local e regular o uso admissível dessas áreas. Permite a existência de propriedades privadas em seu interior.
- **Floresta:** área com cobertura florestal onde predominam espécies nativas, cujo principal objetivo é o uso sustentável e diversificado dos recursos florestais e a pesquisa científica.
- **Reserva Extrativista:** área natural com o objetivo principal de proteger os meios, a vida e a cultura de populações tradicionais, cuja subsistência baseia-se no extrativismo e, ao mesmo tempo, assegurar o uso sustentável dos recursos naturais existentes.
- **Reserva de Fauna:** área com populações animais de espécies nativas, terrestres ou aquáticas, onde são incentivados estudos técnicos científicos sobre o manejo econômico sustentável dos recursos faunísticos.

- **Reserva de Desenvolvimento Sustentável:** área natural onde vivem populações tradicionais que se baseiam em sistemas sustentáveis de exploração dos recursos naturais.
- **Reserva Particular do Patrimônio Natural:** área privada criada para proteger a biodiversidade a partir de iniciativa do proprietário.

As Unidades de Conservação de Uso Sustentável podem ser transformadas total ou parcialmente em unidades do grupo de Proteção Integral, por instrumento normativo do mesmo nível hierárquico do que criou a unidade, desde que obedecidos os procedimentos de consulta pública.

4.6.2 *Áreas de Proteção Especial - APE*

Pouco mencionada nos estudos sobre áreas protegidas, a Área de Proteção Especial – APE pode ser considerada uma tipologia de área assim classificada, sendo oriunda da Lei Federal nº 6.766, de 1979, referente ao Parcelamento do Solo Urbano, que permanece à margem da política ambiental mineira. Porém a referida lei não define os objetivos de manejo e as restrições de uso da área, desta forma compete aos Estados disciplinar a aprovação municipal de loteamentos nas áreas consideradas de interesse especial.

De acordo com a norma, aos Estados caberá disciplinar a aprovação pelos Municípios de loteamentos ou desmembramentos quando localizados em áreas de interesse especial, tais como de “proteção aos mananciais ou ao patrimônio cultural, histórico, paisagístico e arqueológico”, assim definidas por legislação estadual ou federal (BRASIL, 1979, art. 13).

As Áreas de Proteção Especial – APEs, as quais, conforme mencionado acima, são definidas e demarcadas pelo Governo do Estado de Minas Gerais, têm por finalidade a proteção das áreas de captação de águas destinadas ao abastecimento público.

4.6.3 Corredor Ecológico

Corredores Ecológicos são ferramentas fundamentais de planejamento de paisagem, desenhadas para mitigar a fragmentação dos ecossistemas ao estabelecer uma ligação estratégica entre diferentes áreas naturais.

Essa conectividade é essencial, pois permite o deslocamento de animais, a dispersão de sementes e o aumento da variabilidade genética. Com isso, garantem a conservação da biodiversidade e promovem o desenvolvimento ambiental.

Desta forma, alinhado a esse propósito, o Instituto Estadual de Florestas (IEF) iniciou a implementação desses corredores nos biomas de Minas Gerais.

Assim, foi instituído o Corredor Ecológico Serra da Moeda-Arêdes, oficializado pelo Decreto nº 48.776, de 09 de fevereiro de 2024.

Este corredor tem a missão de interligar os ambientes campestres e florestais de duas unidades de conservação: o Monumento Natural Estadual da Serra da Moeda e a Estação Ecológica Estadual de Arêdes. Tendo como objetivo o favorecimento do fluxo gênico entre as populações de flora e fauna, fortalecendo a vida silvestre local.

Com uma área total de 464,70 hectares e um perímetro de 53,88 km, o corredor também tem como objetivo crucial conservar e recuperar as Áreas de Preservação Permanente (APP) na região. Cabe ressaltar que a ADA do projeto de expansão não se insere nos limites deste Corredor Ecológico.

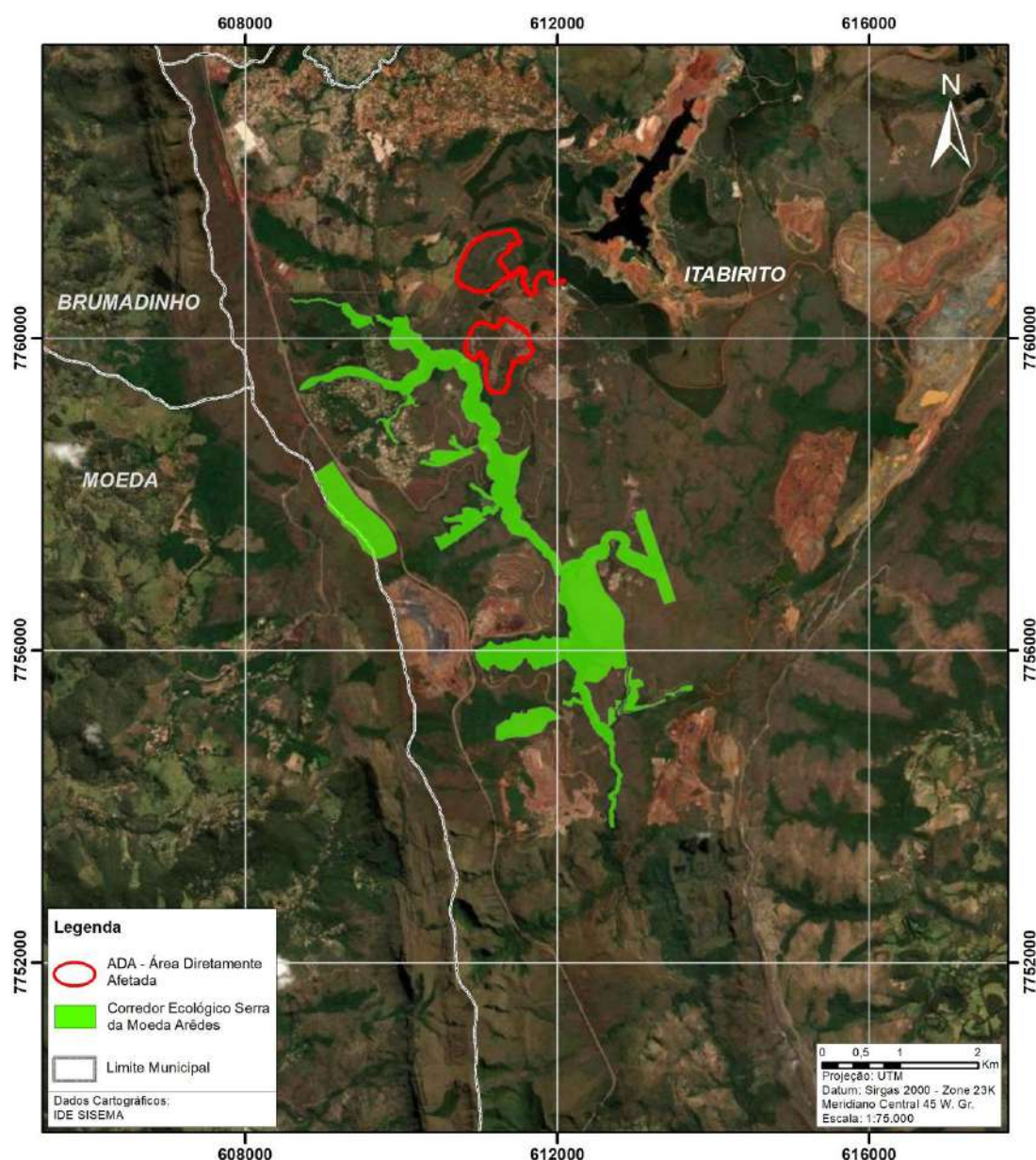


Figura 133 – Localização da ADA em relação à localização do Corredor Ecológico Serra da Moeda Arêdes.

4.6.4 Unidades de Conservação e APE próximas à Região do Empreendimento

A área de ampliação do empreendimento, denominado Projeto Pellet Feed, está inserida no município de Itabirito, Minas Gerais. Neste município e em seu entorno existem áreas protegidas, as quais podem ser conferidas no quadro a seguir.

Quadro 7 - Informações sobre as unidades de conservação e APE existentes no entorno da região do empreendimento.

	Tipo	Âmbito	Nome	Cidade (s)	Legislação	Distância em que se encontra em relação ao objeto de licenciamento
Unidade de Conservação de Uso Sustentável	APA	Estadual	APA Sul RMBH	Belo Horizonte, Brumadinho, Caeté, Ibirité, Itabirito, Nova Lima, Raposos, Rio Acima e Santa Bárbara	Decreto nº 35.624 de 08/06/94 e Decreto nº 37.812 de 08/03/96	9,78 metros
	RPPN	Estadual	do Andaime	Rio Acima	Portaria nº 82 de 18/06/2004	13 km
	RPPN	Estadual	Serra da Moeda	Brumadinho	IEF 03 de 05/01/07 e 184 de 29/09/09	6,5 km
Unidade de Conservação de Proteção Integral	ESEC	Estadual	de Arêdes	Itabirito	Decreto nº 45.397, de 14/06/10	27 metros
	REBIO	Municipal	Campos Rupestres de Moeda Norte	Moeda e Itabirito	Decreto Municipal nº 09 de 2008	2,7 km
	REBIO	Municipal	Campos Rupestres de Moeda Sul	Moeda e Itabirito	Decreto Municipal nº 10 de 2008	2,5 km
	MONA	Municipal	Mãe D'Água	Brumadinho	Decreto municipal 087/2012; Decreto 059/2013; Decreto municipal 138/2013	2,7 km
	MONA	Estadual	Pico do Itabirito	Itabirito	Lei nº 10.726, de 12/5/1992	6 km
	MONA	Estadual	Serra da Moeda	Moeda e Itabirito	Decreto nº 45.472, de 21/09/10	2,1 km
Área de Proteção Especial	APE	Estadual	Ouro Preto / Mariana	Ouro Preto e Mariana	Decreto nº 21.224/1981	16,2 km

Referências: Áreas protegidas classificadas com base na Lei nº 9.985/00 (SNUC); Lei Estadual 19.484/2011, que altera a Lei nº 14.309, de 19 de junho de 2002, que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Lei Federal nº 6.766, de 1979.

Legenda: *A ADA está inserida nos limites da unidade; APA – Área de Proteção Ambiental; ESEC – Estação Ecológica; RPPN – Reserva Particular de Patrimônio Natural; MONA – Monumento Natural; REBIO – Reserva Biológica. APE – Área de Proteção Especial.

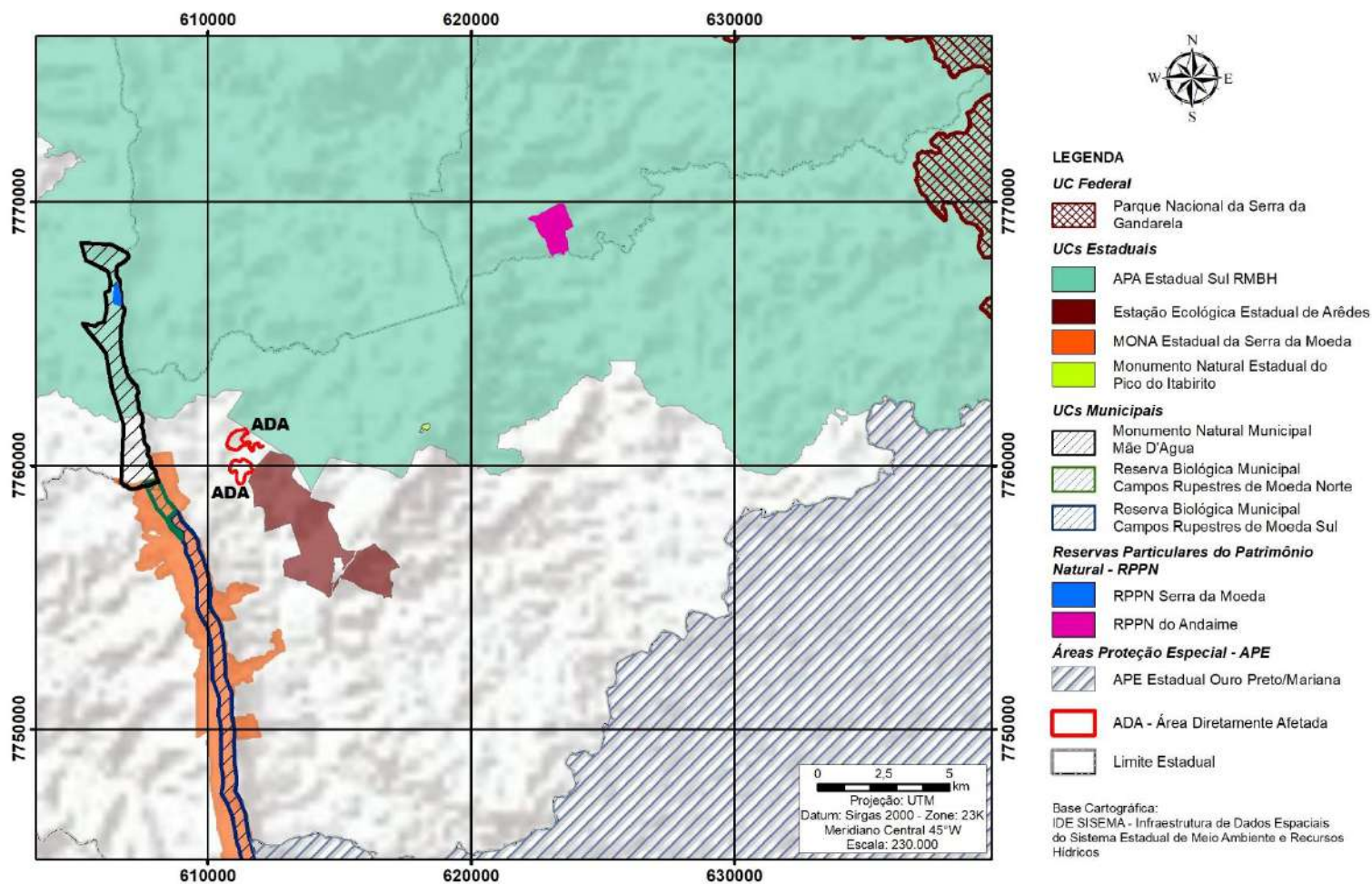


Figura 134 – Unidades de Conservação e APE situadas no entorno da região do empreendimento.

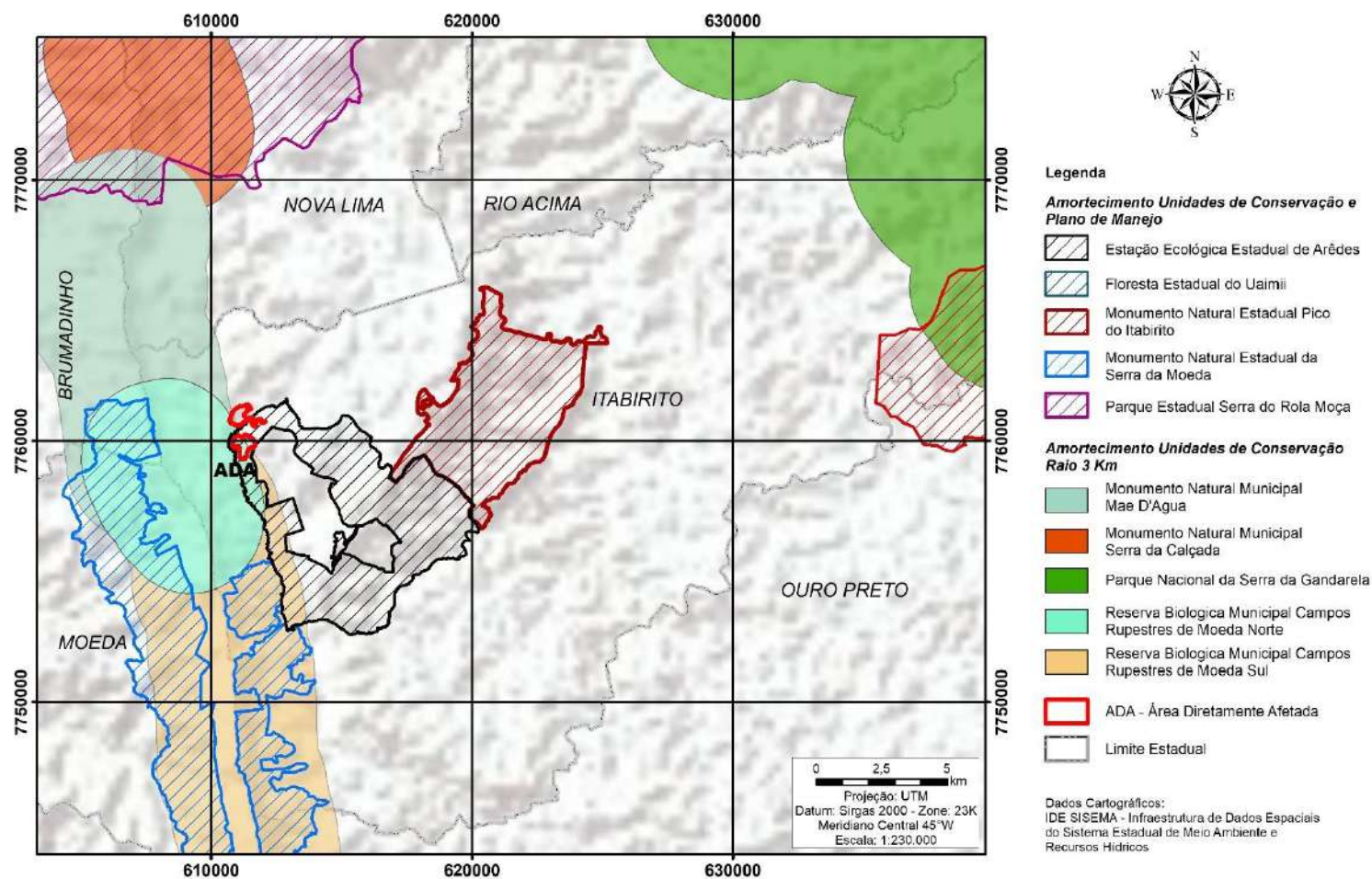


Figura 135 – Localização do empreendimento frente às Zonas de amortecimento de UCs definidas em Plano de Manejo e Zonas de amortecimento de UCs definidas por raio de 3 km.

Dentre as mencionadas áreas protegidas, será apresentada a seguir uma breve descrição das áreas protegidas que se encontram mais próximas à área do empreendimento, sendo elas a APA SUL, Estação Ecológica de Arêdes, Monumento Natural Serra da Moeda, Monumento Natural Serra da Moeda, Reserva Biológica Campos Rupestres de Moeda Norte e Reserva Biológica Campos Rupestres de Moeda Sul.

Com relação às zonas de amortecimento, a área do empreendimento insere-se na Zona de amortecimento da Estação Ecológica Estadual de Arêdes, sendo esta definida em Plano de Manejo, e ainda em outras três Zonas de Amortecimento definidas por raio de 3 km, sendo elas a do Monumento Natural Municipal Mãe D'Água, a da Reserva Biológica Municipal Campos Rupestres de Moeda Sul e a da Reserva Biológica Municipal Campos Rupestres de Moeda Norte.

a) APA

As Áreas de Proteção Ambiental (APAs) integram o grupo de Unidades de Conservação de Uso Sustentável. Seu estabelecimento tem por objetivo a proteção da diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. São áreas geralmente extensas, apresentando certo grau de ocupação humana, com importantes características abióticas, bióticas, estéticas ou culturais e são constituídas por terras públicas ou privadas. Em áreas de domínio público a realização de pesquisa científica e visitação pública possuem condições estabelecidas pelo órgão gestor da unidade, já em áreas de propriedade privada as condições para a realização de pesquisa e visitação são estabelecidas pelo proprietário, respeitando as exigências e restrições e legais.

De acordo com a Lei nº 6.902, de 27/04/81, que dispõe sobre a criação de Áreas de Proteção Ambiental, assim como de Estações Ecológicas, em cada APA, dentro dos princípios constitucionais que regem o exercício do direito de propriedade, o Poder Executivo estabelecerá normas limitando ou proibindo a implantação e o funcionamento de indústria potencialmente poluidora, que seja capaz de afetar mananciais de água; a realização de obras de terraplenagem e a abertura de canais quando importarem em sensível alteração das condições ecológicas locais; a execução de atividades capazes de provocar acelerada erosão

das terras ou acentuado assoreamento das coleções hídricas, assim como aquelas que ameacem extinguir na área as espécies raras da biota regional.

→ **APA SUL RMBH**

A APA Sul foi estabelecida pelo Decreto Estadual nº 35.624, de 8 de junho de 1994, como resultado da negociação entre vários setores atuantes na região através de debates e seminários ocorridos com o apoio do COPAM. Com o Decreto, a área da unidade de conservação contemplou, em parte ou na totalidade do território, os municípios de Belo Horizonte, Ibirité, Brumadinho, Nova Lima, Caeté, Itabirito, Raposos, Rio Acima e Santa Bárbara. Em 2001, além dos municípios já citados, foram incluídas à área de proteção ambiental as regiões situadas nos municípios de Barão de Cocais, Catas Altas, Mário Campos e Sarzedo, através da Lei Estadual nº 13.960. Desta forma, esta unidade corresponde a uma unidade de conservação estadual que abrange 13 municípios do Estado de Minas Gerais, estando os mesmos inseridos no Quadrilátero Ferrífero. Nesta Unidade estão presentes as bacias hidrográficas do Rio São Francisco e a do Rio Doce, importantes para o abastecimento de água de Belo Horizonte e sua região metropolitana.

Esta área de proteção ambiental tem por objetivo a proteção e conservação da biodiversidade, especialmente os recursos hídricos necessários ao abastecimento da população da Região Metropolitana de Belo Horizonte e áreas adjacentes.

A ADA do presente projeto de licenciamento não se encontra inserida nos limites desta unidade de conservação. E cabe ressaltar que esta categoria de unidade de conservação não possui zona de amortecimento.

b) Estação Ecológica

As Estações Ecológicas estão inseridas no grupo de Unidades de Conservação de Proteção Integral e são de posse e domínio público. Esta categoria visa à preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas quando não acarretar riscos à sobrevivência das populações das espécies locais e com a devida autorização do administrador da unidade. A visitação pública é proibida, exceto quando ocorrer com objetivos educacionais conforme previsto no Plano de Manejo.

São criadas pela União, Estados e Municípios em terras de seus domínios e não podem ser reduzidas nem utilizadas para fins diversos daqueles para os quais foram criadas.

→ EE de Arêdes

A Estação Ecológica de Arêdes, criada em 2010, compreende uma área de aproximadamente 1.157,86 hectares localizada no município de Itabirito. As áreas desta unidade foram, por meio do decreto de criação da unidade, declaradas de utilidade pública e de interesse social.

São essenciais aos objetivos de conservação e manejo desta unidade o complexo arqueológico de Arêdes e todas as suas ocorrências e vestígios; os antigos conjuntos de ruínas das Fazendas Arêdes e Águas Quentes; os remanescentes florestais e campestres em diferentes estágios de sucessão ecológica; os mananciais que convergem para a bacia hidrográfica onde ocorre captação de água para abastecimento humano; e o desenvolvimento de pesquisas em restauração de ecossistemas modificados conforme disposto no § 4º do art. 8º da Lei Federal nº 9.985 de 18 de julho de 2000.

A ADA do presente projeto de licenciamento não se encontra inserida nesta Unidade de Conservação, porém encontra-se em sua Zona de Amortecimento.

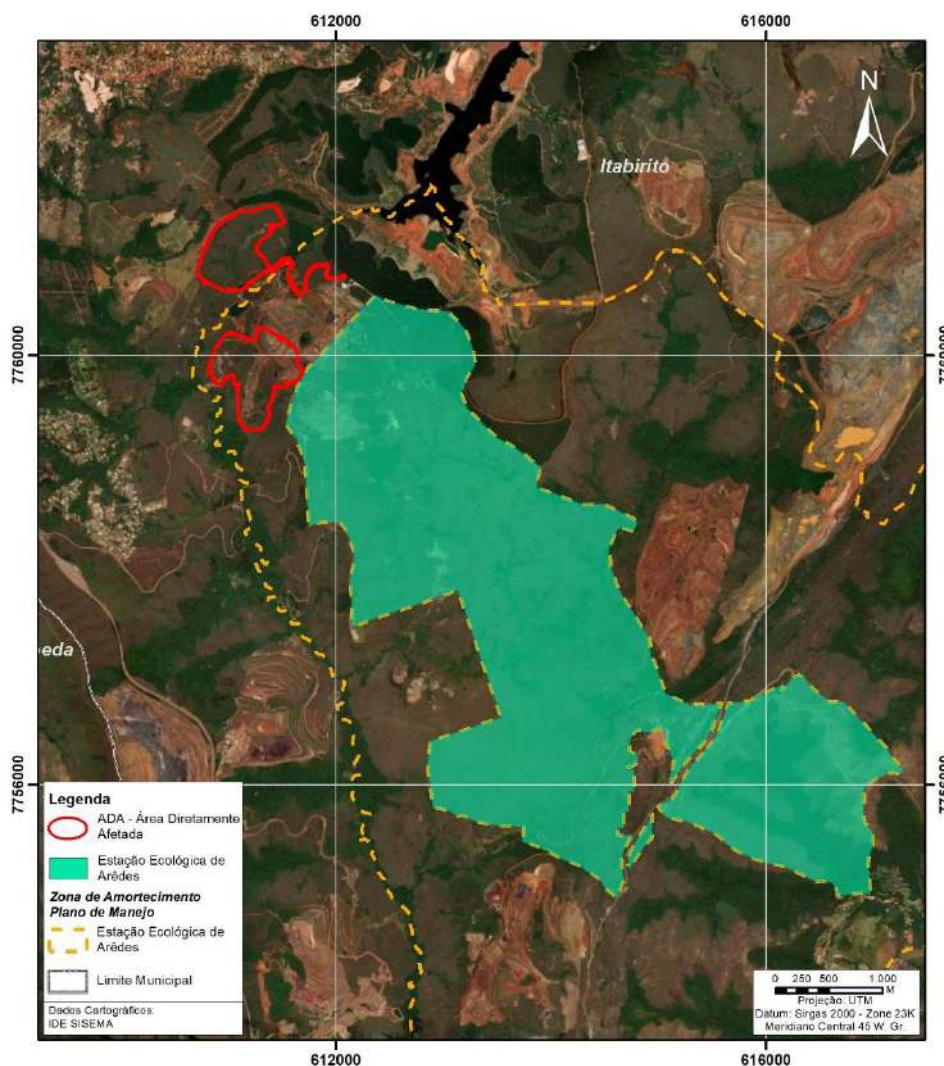


Figura 136 – Localização do empreendimento frente à Zona de amortecimento, definida em Plano de Manejo, da Estação Ecológica de Arêdes.

c) Monumento Natural

Esta categoria de unidade de conservação pertence ao grupo de Unidades de Conservação de Proteção Integral. De acordo com o SNUC, estas unidades têm como objeto básico a preservação de sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica. São constituídos por áreas públicas ou particulares, desde que haja a possibilidade de serem compatibilizados os objetivos da unidade com a utilização da terra e dos recursos naturais do local pelos proprietários, caso contrário a área deve ser desapropriada conforme dispõe a lei. Quanto à visitação pública, a mesma está sujeita às condições e restrições estabelecidas no Plano de Manejo da Unidade, às normas estabelecidas pelo IEF e àquelas previstas no regulamento (IEF, 2012).

→ MN Mãe D'Água

O Monumento Natural Mãe D'Água está localizado na Serra da Moeda e situa-se no município de Brumadinho, MG. Esta unidade foi criada pelo Decreto Municipal nº 087/2012, sendo posteriormente ampliada por meio do Decreto Municipal 059/2013, visando a proteção de nascentes utilizadas para o abastecimento humano, dessedentação de animais e irrigação.

A Área Diretamente Afetada pelo empreendimento não se localiza no interior desta unidade de conservação, mas encontra-se nos limites de sua zona de amortecimento.

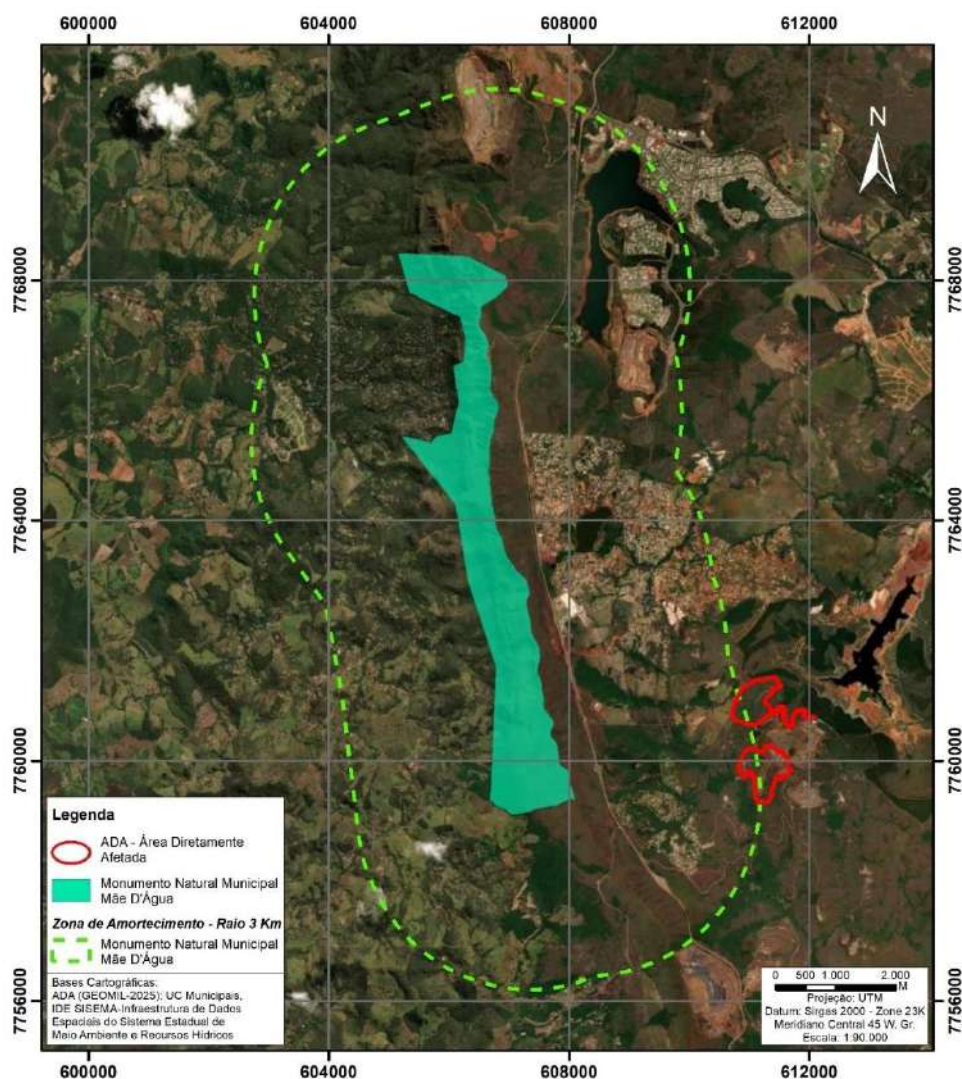


Figura 137 – Localização do empreendimento frente à Zona de amortecimento, definida pelo raio de 3km, do Monumento Natural Municipal Mãe D'Água.

→ MN Serra da Moeda

O Monumento Natural da Serra da Moeda foi criado pelo Decreto Estadual nº 45.472 em 21 de setembro de 2010, com uma área de 2.372,56 ha. Situa-se nos municípios de Itabirito (à leste) e Moeda (à oeste). Os objetivos desta unidade de conservação são a proteção do patrimônio espeleológico, a conectividade biológica e hidrológica, a proteção de nascentes e ressurgências, assim como a conformação de um corredor ecológico com a Estação Ecológica Estadual de Arêdes.

A ADA não se encontra inserida nos limites desta unidade de conservação nem em sua Zona de Amortecimento.

d) Reserva Biológica

As Reservas Biológicas (REBIOS) pertencem ao grupo de Unidade de Conservação de Proteção Integral. A criação destas unidades objetiva a preservação integral da comunidade biológica e outros atributos naturais existentes em seus limites. São instituídas pelo poder público, onde não é permitida a interferência humana direta ou modificações ambientais. Assim, a visitação pública é proibida, exceto quando houver objetivo educacional.

As REBIOS federais são administradas pelo ICMBio. Na esfera estadual e municipal, a administração fica a cargo dos respectivos órgãos ambientais.

→ REBIO Campos Rupestres de Moeda Norte

A Reserva Biológica Campos Rupestres de Moeda Norte foi criada em 2008 por meio do Decreto Municipal 09/2008. São áreas naturais criadas pelo poder público para preservar a biota e os atributos naturais do ambiente.

A ADA do empreendimento não está nos limites desta UC, mas encontra-se nos limites de sua Zona de Amortecimento definida por raio de 3 km.

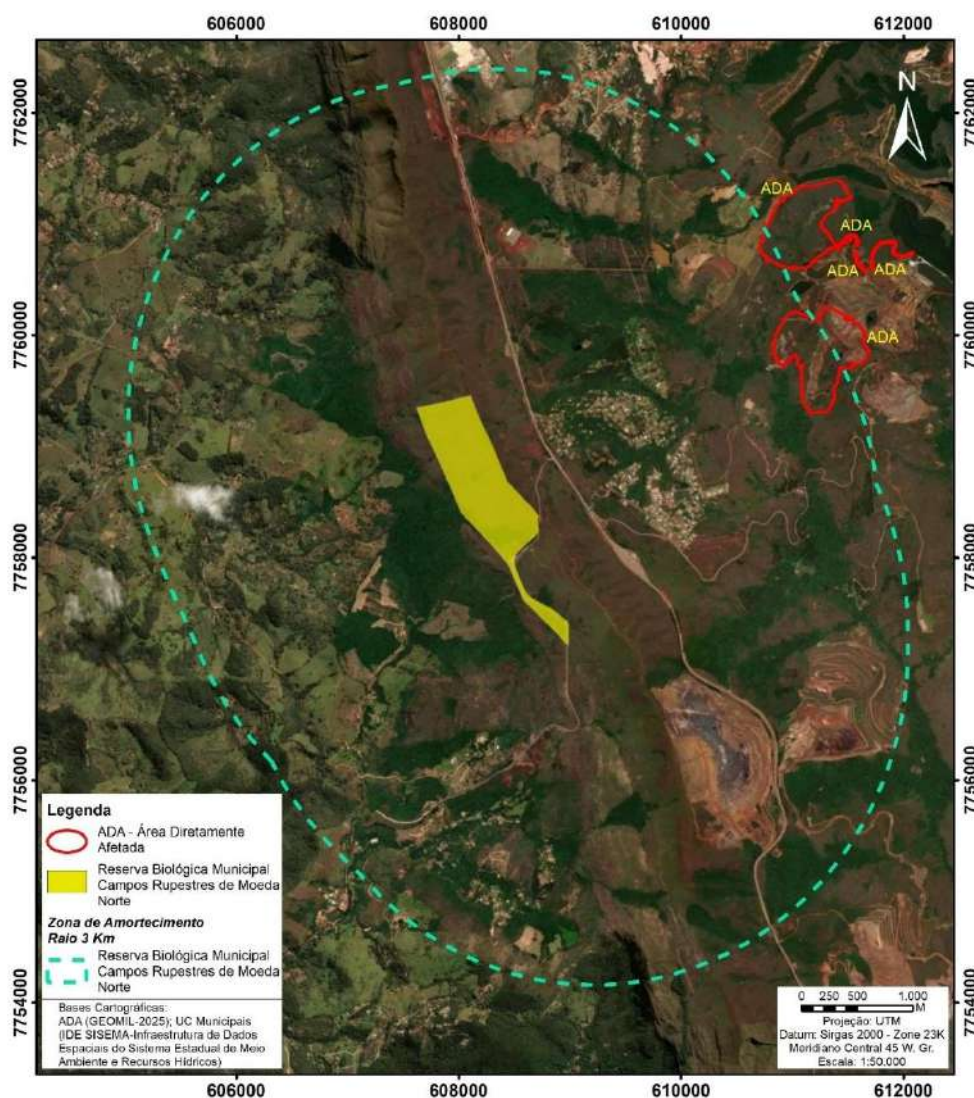


Figura 138 – Localização do empreendimento frente à Zona de amortecimento da Reserva Biológica Campos Rupestres de Moeda Norte.

→ **REBIO Campos Rupestres de Moeda Sul**

A Reserva Biológica Campos Rupestres de Moeda Sul foi criada em 2008 por meio do Decreto Municipal 10/2008. O objetivo desta UC é a proteção da flora, fauna, recursos hídricos e genéticos, assim como o manejo de recursos naturais, visto que apresentam um importante instrumento para a sobrevivência de muitas espécies.

A ADA do empreendimento não está nos limites desta UC, mas encontra-se nos limites de sua Zona de Amortecimento definida por raio de 3 km.

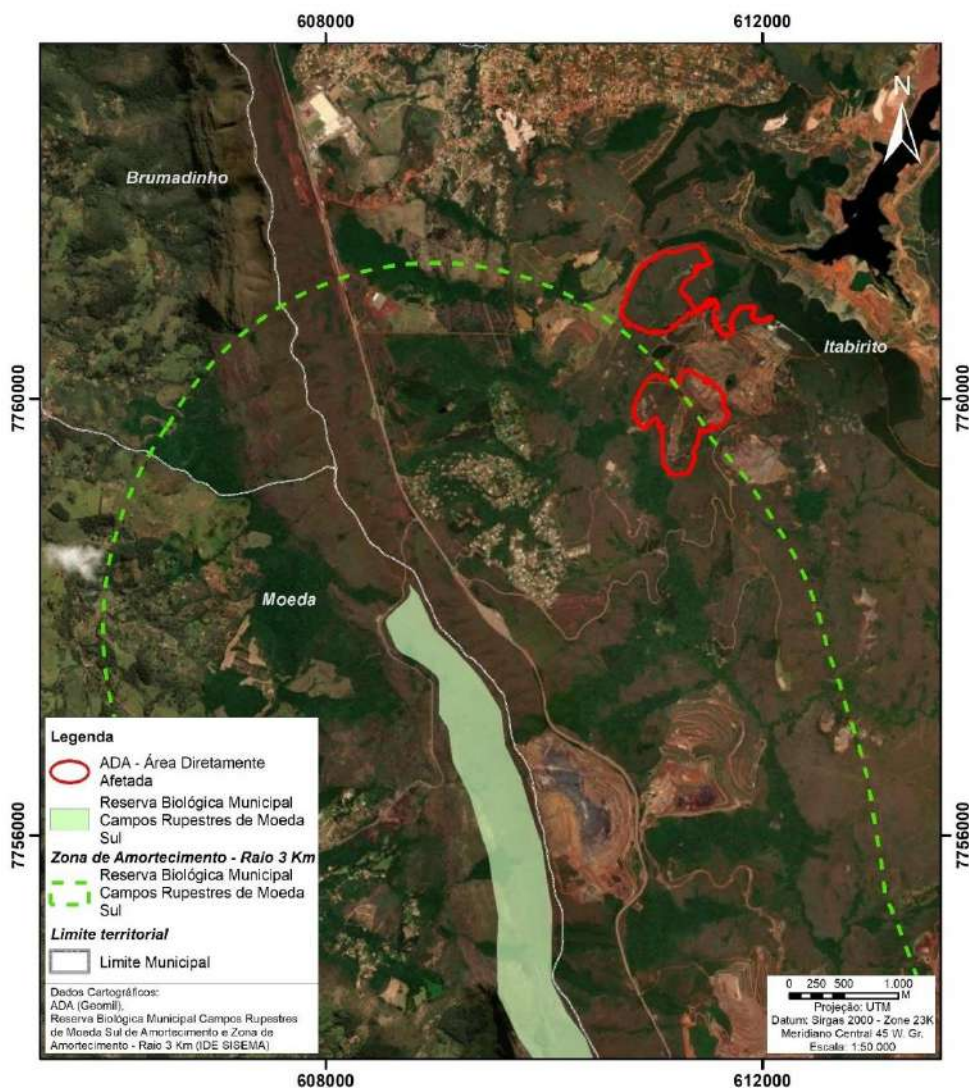


Figura 139 – Localização do empreendimento frente à Zona de amortecimento da Reserva Biológica Campos Rupestres de Moeda Sul.

4.7 LEGISLAÇÃO INCIDENTE SOBRE O EMPREENDIMENTO

4.7.1 Aspectos Constitucionais Relacionados

O Artigo nº 225 estabelece o direito de todos ao meio ambiente ecologicamente equilibrado:

“Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para às presentes e futuras gerações.”

§ 1.º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao poder público:

I - preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas;

II - preservar a diversidade e a integridade do patrimônio genético do País e fiscalizar as entidades dedicadas à pesquisa e manipulação de material genético;

III - definir, em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção;

IV - exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade;

V - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente;

VI - promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente;

VII - proteger a fauna e a flora, vedadas, na forma da lei, as práticas que coloquem em risco sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam os animais à crueldade.

§ 2.º Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.

Assim, o aproveitamento dos recursos minerais se relaciona diretamente com a proteção do meio ambiente e recuperação das áreas degradadas, ficando estabelecida no Artigo 23 a competência do estado em legislar e fiscalizar aspectos relacionados aos recursos ambientais.

“Art. 23. É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:

(...)

VI - proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas;

VII - preservar as florestas, a fauna e a flora;

(...)

XI - registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios;”

4.7.2 *Legislação Ambiental - Licenciamento*

A Lei Federal nº 6.938, de 31/08/1981, estabeleceu a Política Nacional de Meio Ambiente, que define os princípios e meios a serem utilizados pelo Poder Público para proteção do bem ambiental.

Esta Lei estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, definindo seus objetivos, princípios e mecanismos de formulação e aplicação. Ela também cria o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

4.7.3 *Legislação Ambiental – Minas Gerais*

O presente estudo foi realizado em atendimento a **Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, bem como a sua regulamentação constante do **Decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1990**, considerando-se ainda a **Resolução CONAMA nº 1, de 21 de janeiro de 1986**, que estabelece critérios básicos e diretrizes para o EIA/RIMA, e a **Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997**, que trata da revisão dos procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental.

No que se refere à legislação estadual, a **Lei nº 21.972, de 21 de janeiro de 2016, publicada no Diário Executivo do Estado de Minas Gerais em 22 de janeiro de 2016**, dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SISEMA - e dá outras providências.

Foi observada estritamente a **Deliberação Normativa COPAM nº 217, de 06 de dezembro de 2017**, publicada no Diário do Executivo do Estado de Minas Gerais, em 08 de dezembro de 2017, que 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.

Da mesma forma, trata-se de legislação pertinente o **Decreto nº 47.383 de 02 de março de 2018**, publicada no Diário do Executivo do Estado de Minas Gerais em 03 de março de 2018, que estabelece normas para licenciamento ambiental, tipifica e classifica infrações às normas de proteção ao meio ambiente e

aos recursos hídricos e estabelece procedimentos administrativos de fiscalização e aplicação das penalidades.

Em 04 de novembro de 2019 foi promulgada a Resolução SEMAD 2.890 que instituiu o Sistema de Licenciamento Ambiental por meio eletrônico (SLA).

4.7.4 *Legislação Municipal – Município de Itabirito*

O Artigo 23 da Constituição Brasileira impõe ao Município, como a todos os entes da federação, o dever de proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas, assim como preservar as florestas, a fauna e a flora; e registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios.

Nesse sentido, assume especial importância a Lei Orgânica do Município de Itabirito, de 11 de dezembro de 2006, especialmente seu Artigo 172:

Art. 172 - Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à qualidade de vida, e ao município e à coletividade é imposto o dever de defendê-lo e conservá-lo para as gerações presentes e futuras.

§1º - Para assegurar a efetividade do direito, a que se refere este artigo, incumbe ao município, entre outras atribuições:

I - promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e disseminar, na forma da lei, as informações necessárias à conscientização pública para a preservação do meio ambiente;

II - assegurar, na forma da lei, o livre acesso às informações sobre o meio ambiente;

III- prevenir e controlar a poluição, a erosão, o assoreamento e outras formas de degradação ambiental;

IV - exigir, na forma da lei, prévia anuência do órgão municipal de controle e política ambiental, para início, ampliação ao desenvolvimento de atividades, construção ou reforma de instalações capazes de causar sob qualquer forma, degradação ao meio ambiente, sem prejuízo de outros requisitos legais, preservado o sigilo industrial;

V - proteger a fauna e a flora, a fim de assegurar a diversidade das espécies e dos ecossistemas e a preservação do patrimônio genético, vedados, na forma da lei, as práticas que provoquem a extinção das espécies ou submetam os animais a crueldade;

VI - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias, que importem riscos para a vida, o meio ambiente, bem como o transporte e o armazenamento dessas substâncias em seu território;

VII - criar parques, reservas, estações ecológicas e outras unidades de conservação, mantê-los sob especial proteção e dotá-los da infraestrutura indispensável às suas finalidades;

VIII - preservar os recursos bioterapêuticos regionais;

IX - fiscalizar e aplicar na forma da lei aos infratores, principalmente às indústrias que não possuírem os equipamentos necessários, para a redução e eliminação de ruídos.

§2º - O licenciamento de que trata o inciso IV do parágrafo anterior dependerá, nos casos de atividades ou obra potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, de estudo prévio de impacto ambiental a que se dará publicidade.

§ 3º - A quem explorar recurso ambiental fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado na forma da lei.

§4º - A conduta e a atividade consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão o infrator, pessoa física ou jurídica, a sanções administrativas, sem prejuízo das obrigações de recuperar o dano e das cominações penais cabíveis.

Como principal documento que norteia o planejamento das atividades econômicas no município de Itabirito, destaca-se o Plano Diretor, o qual se consolidou por meio de três Leis:

- Lei Municipal nº 3323 - Institui o Plano Diretor do Município de Itabirito – MG e dá outras providências;
- Lei Municipal nº 3324 – Define os Perímetros Urbanos do Município de Itabirito – MG;
- Lei Municipal nº 3325 - Dispõe sobre o Parcelamento o Uso e a Ocupação do Solo Urbano no Município de Itabirito - MG e dá outras providências.

Na Lei Municipal nº 3323, tem-se as definições básicas do macrozoneamento municipal:

Artigo 35 - O território municipal de Itabirito/MG se divide em Zona Urbana e Zona Rural, de acordo com o Mapa 1 - Organização Territorial, integrante desta Lei:

Zona Urbana - ZU: corresponde às áreas inseridas nos perímetros urbanos da Sede Municipal de Itabirito, das sedes dos distritos de Acuruí, Bação e São Gonçalo do Monte e das Áreas Urbanas Especiais - URBE, incluindo as áreas já ocupadas, com usos múltiplos, e as áreas contíguas aptas à continuidade desses usos,

destinadas ao crescimento futuro e que apresentam tendência à consolidação da ocupação urbana.

Zona Rural - corresponde à porção do território municipal que não está inserida no perímetro urbano, onde não será permitida a aprovação e/ou execução de projetos de parcelamento do solo ou condomínios imobiliários de módulo urbano, devendo ser observado, para fins de parcelamento do solo, o módulo rural estabelecido pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, sendo subdividida em:

A - Zona Especial de Interesse de Proteção e Conservação Ecológica - ZEI-ECO

B - Zona Rural Especial de Uso Restrito - ZR-UR

C - Zona Rural de Uso Controlado 1 - ZR-UC 1

D - Zona Rural de Uso Controlado 2 - ZR-UC 2

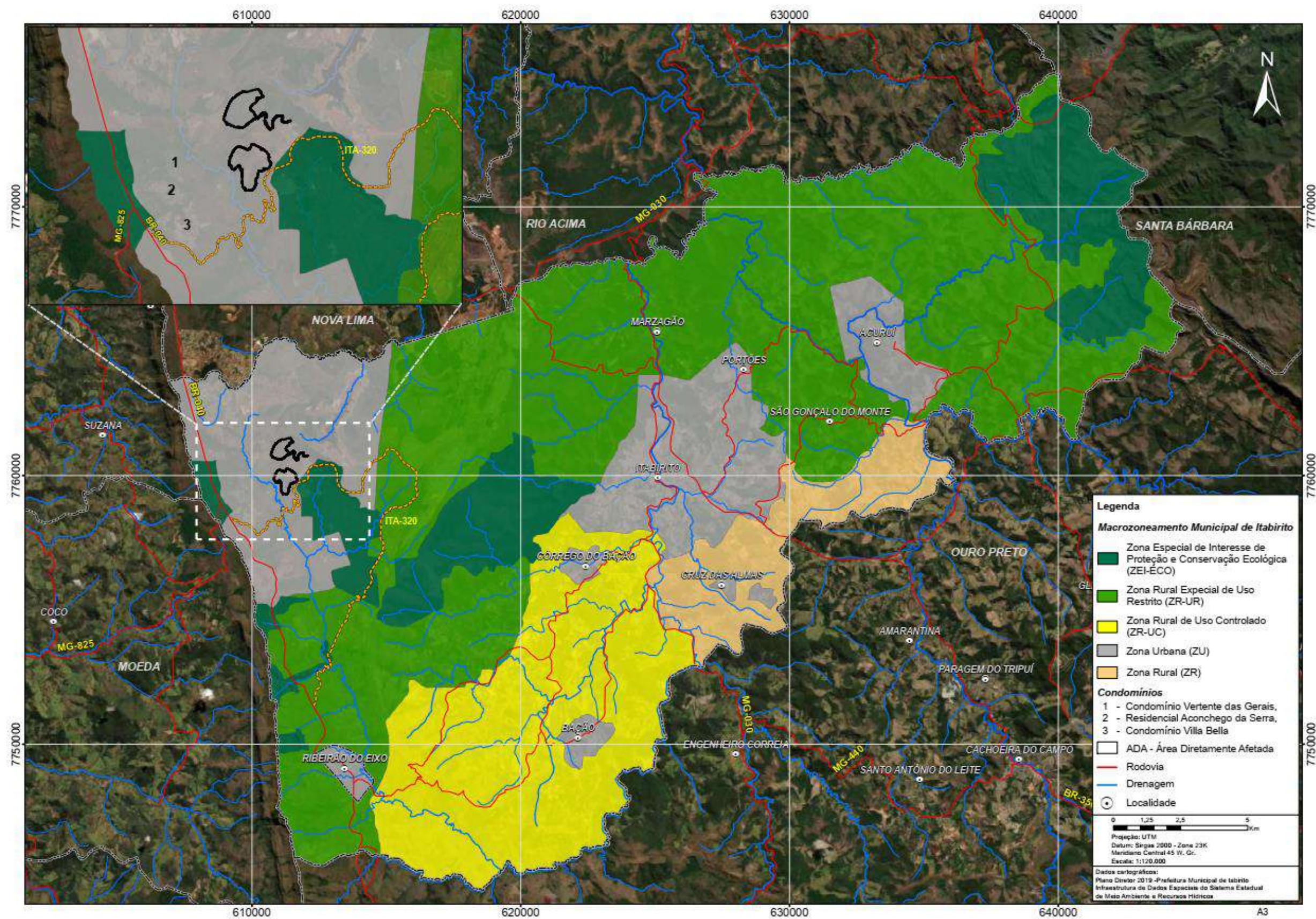
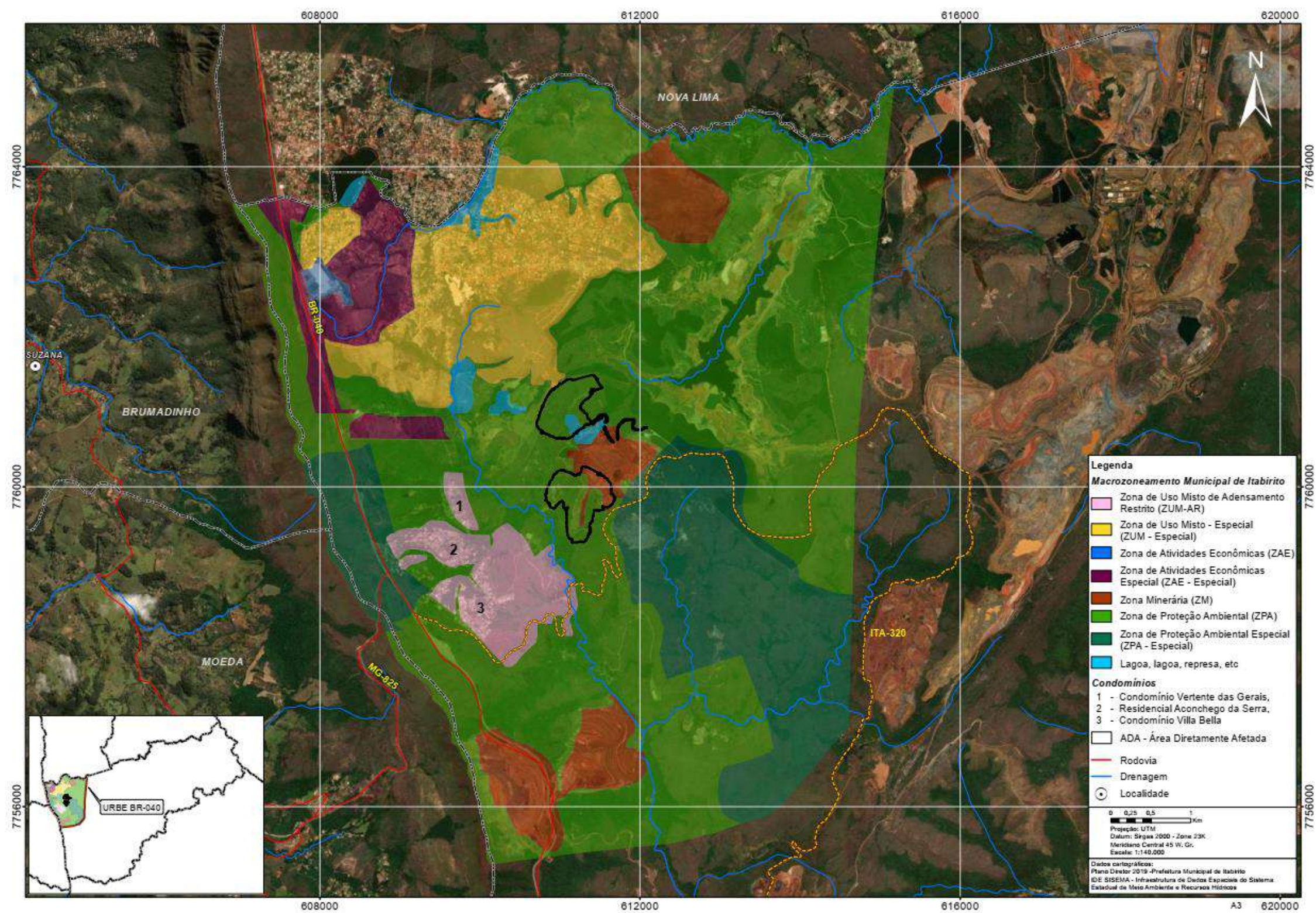


Figura 140 - Macrozoneamento municipal de Itabirito-MG.



Fonte: <https://www.itabirito.mg.leg.br/legislacao/plano-diretor/revisao-2019/lei-municipal-3323/view>

Figura 141 - Detalhe da zona URBE BR-040, na qual se situam os objetos do presente licenciamento.

4.7.5 Código Florestal – Supressão de Vegetação

Os dispositivos legais que controlam a intervenção sobre a vegetação de florestas no Estado de Minas Gerais estão contidos na **Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013 (Lei Florestal do Estado de Minas Gerais)**, a qual dispõe sobre a política florestal e de proteção à biodiversidade no Estado.

Em **11 de novembro de 2019** foi publicado o **Decreto nº 47.749**, que dispõe sobre os processos de autorização para intervenção ambiental e sobre a produção florestal no âmbito do Estado de Minas Gerais.

Para a realização de supressão de vegetação/desmate e/ou intervenção em Área de Preservação Permanente, empreendimentos minerários deverão seguir a **Resolução Conjunta SEMAD/IEF Nº 3.102, de 26 de outubro de 2021** que dispõe sobre os processos de autorização para intervenção ambiental no âmbito do Estado de Minas Gerais e dá outras providências.

- Reserva Legal

A Lei Estadual nº 20.922/2013 estabelece que toda propriedade ou empreendimento em zona rural deve ter, no mínimo, 20% (vinte por cento) de sua área demarcada como Reserva Legal e devidamente averbada em cartório de registro de imóveis.

Art. 30. A área de Reserva Legal será registrada no órgão ambiental competente, por meio de inscrição da propriedade ou posse rural no CAR, sendo vedada a alteração da destinação da área, nos casos de transmissão, a qualquer título, ou de desmembramento, com as exceções previstas nesta Lei.

Cadastro Ambiental Rural (CAR) é um registro público, eletrônico, de abrangência nacional feito junto ao órgão ambiental competente. Criado pelo Novo Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 e regulamentado pelo Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012, o registro é obrigatório para todos os imóveis rurais e tem como finalidade integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento.

No Estado de Minas Gerais, o Cadastro Ambiental Rural (CAR) será feito no SICAR-MG, por meio do Portal SISEMANET. A responsabilidade do Cadastro em Minas é da Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), sob a coordenação executiva do Instituto Estadual de Florestas (IEF).

4.7.6 Outorga para intervenção em recurso hídrico

A Lei nº 13.199/99, de 29/01/1999, criou a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SEGRH-MG, que tem por objetivo assegurar o controle do uso da água, de sua utilização em quantidade, qualidade e regime satisfatórios, no Estado de Minas Gerais. No artigo 17, fica estabelecido o regime de outorga e, no artigo 18, os usos e intervenções sujeitos à outorga.

Art. 17 - O regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos do Estado tem por objetivo assegurar os controles quantitativos e qualitativos dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

Art. 18 - São sujeitos a outorga pelo poder público, independentemente da natureza pública ou privada dos usuários, os seguintes direitos de uso de recursos hídricos:

I - as acumulações, as derivações ou a captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, até para abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;

II - a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;

III - o lançamento, em corpo de água, de esgotos e demais efluentes líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;

IV - o aproveitamento de potenciais hidrelétricos;

V - outros usos e ações que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

§ 1º - Independem de outorga pelo poder público, conforme definido em regulamento, o uso de recursos hídricos para satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais distribuídos no meio rural, bem como as acumulações, as derivações, as capacitações e os lançamentos considerados insignificantes.

§ 2º - A outorga e a utilização de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica ficam condicionadas a sua adequação ao Plano Nacional de

Recursos Hídricos, aprovado na forma do disposto na Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e ao cumprimento da legislação setorial específica.

Ressalta-se que a outorga não dá ao usuário a propriedade de água ou sua alienação, mas o simples direito de seu uso. Portanto, a outorga poderá ser suspensão, parcial ou totalmente, em casos extremos de escassez ou de não cumprimento pelo outorgado dos termos de outorga previstos nas regulamentações, ou por necessidade premente de se atenderem os usos prioritários e de interesse coletivo, conforme definido no artigo 20 da Lei 13.199/99.

Art. 20 - A outorga de direito de uso de recursos hídricos poderá ser suspensão, parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado, nas seguintes circunstâncias:

I - não cumprimento, pelo outorgado, dos termos da outorga;

II - não utilização da água por três anos consecutivos;

III - necessidade premente de água para atender a situações de calamidade, inclusive as decorrentes de condições climáticas adversas;

IV - necessidade de se prevenir ou fazer reverter grave degradação ambiental;

V - necessidade de se atender a usos prioritários, de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas;

VI - necessidade de se manterem as características de navegabilidade do corpo de água.

Para águas de domínio da União, as outorgas devem ser emitidas pela ANA, de acordo com a Lei nº 9.984/2000. São de domínio estadual as águas subterrâneas e as águas superficiais dos cursos de água que escoam desde sua nascente até a foz passando apenas por um Estado. São de domínio da União as águas dos rios e lagos que banham mais de um estado, fazem limite entre estados ou entre o território do Brasil e o de um país vizinho.

- Cadastro de Uso Insignificante

Algumas captações de águas superficiais e/ou subterrâneas, bem como acumulações de águas superficiais, não estão sujeitas à outorga. Elas são consideradas de uso insignificante.

A Deliberação Normativa 09/2004 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) estabelece critérios que definem os usos considerados

insignificantes no Estado de Minas Gerais, sendo necessário, nesse caso, fazer um cadastramento junto ao IGAM.

4.7.7 *Legislação Municipal*

O Artigo nº 23 da Constituição Brasileira impõe ao Município, como a todos os entes da federação, o dever de proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas, assim como preservar as florestas, a fauna e a flora; e registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios.

Nesse sentido, assume especial importância a Lei Orgânica do Município de Itabirito, de 11 de dezembro de 2006, especialmente seu Artigo 172:

Art. 172 - Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à qualidade de vida, e ao município e à coletividade é imposto o dever de defendê-lo e conservá-lo para as gerações presentes e futuras.

§1º - Para assegurar a efetividade do direito, a que se refere este artigo, incumbe ao município, entre outras atribuições:

I - promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e disseminar, na forma da lei, as informações necessárias à conscientização pública para a preservação do meio ambiente;

II - assegurar, na forma da lei, o livre acesso às informações sobre o meio ambiente;

III- prevenir e controlar a poluição, a erosão, o assoreamento e outras formas de degradação ambiental;

IV - exigir, na forma da lei, prévia anuência do órgão municipal de controle e política ambiental, para início, ampliação ao desenvolvimento de atividades, construção ou reforma de instalações capazes de causar sob qualquer forma, degradação ao meio ambiente, sem prejuízo de outros requisitos legais, preservado o sigilo industrial;

V - proteger a fauna e a flora, a fim de assegurar a diversidade das espécies e dos ecossistemas e a preservação do patrimônio genético, vedados, na forma da lei, as práticas que provoquem a extinção das espécies ou submetam os animais a crueldade;

VI - controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias, que importem riscos para a vida, o meio ambiente, bem como o transporte e o armazenamento dessas substâncias em seu território;

VII - criar parques, reservas, estações ecológicas e outras unidades de conservação, mantê-los sob especial proteção e dotá-los da infraestrutura indispensável às suas finalidades;

VIII - preservar os recursos bioterapêuticos regionais;

IX - fiscalizar e aplicar na forma da lei aos infratores, principalmente às indústrias que não possuem os equipamentos necessários, para a redução e eliminação de ruídos.

§2º - O licenciamento de que trata o inciso IV do parágrafo anterior dependerá, nos casos de atividades ou obra potencialmente causadora de significativa degradação do meio ambiente, de estudo prévio de impacto ambiental a que se dará publicidade.

§ 3º - A quem explorar recurso ambiental fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado na forma da lei.

§4º - A conduta e a atividade consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão o infrator, pessoa física ou jurídica, a sanções administrativas, sem prejuízo das obrigações de recuperar o dano e das cominações penais cabíveis.

§5º - Os remanescentes da mata atlântica, as veredas, os campos rupestres, as cavernas, as paisagens notáveis e outras unidades de relevante interesse ecológico constituem patrimônio ambiental do município e sua utilização se fará, na forma de lei, em condições que assegurem sua conservação.

§6º - A Lei complementar determinará as áreas de preservação ambiental do Município.

5. ÁREA DE ESTUDO (AE)

A Área de Estudo (AE) corresponde às áreas onde serão realizados os estudos de diagnóstico ambiental em um Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Tais estudos servem para caracterizar a situação atual dos fatores ambientais em cada meio, ou seja, no meio físico, biótico e socioeconômico.

A definição da AE é importante para a definição espacial das áreas de levantamento de dados e a posterior análise das informações levantadas, assim como para caracterizar o contexto biológico, físico e socioeconômico da região do empreendimento. Por meio de tais dados, posteriormente, torna-se possível identificar e avaliar os impactos positivos e negativos do empreendimento em questão.

Na área de estudo, os estudos do meio físico levantam informações sobre o solo, água, ar, clima, topografia, espeleologia, etc.

Para o meio biótico, as informações sobre as áreas protegidas no entorno e os estudos sobre a fauna e a flora são realizados e analisados, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção.

Por fim, para o meio socioeconômico, se analisa a dinâmica populacional do(s) município(s), tais como população, saúde, educação, saneamento, infraestrutura, rodovias e acessos, verificando, bem como a dinâmica econômica da região. Em tais estudos estão inclusos e analisados os dados primários e secundários.

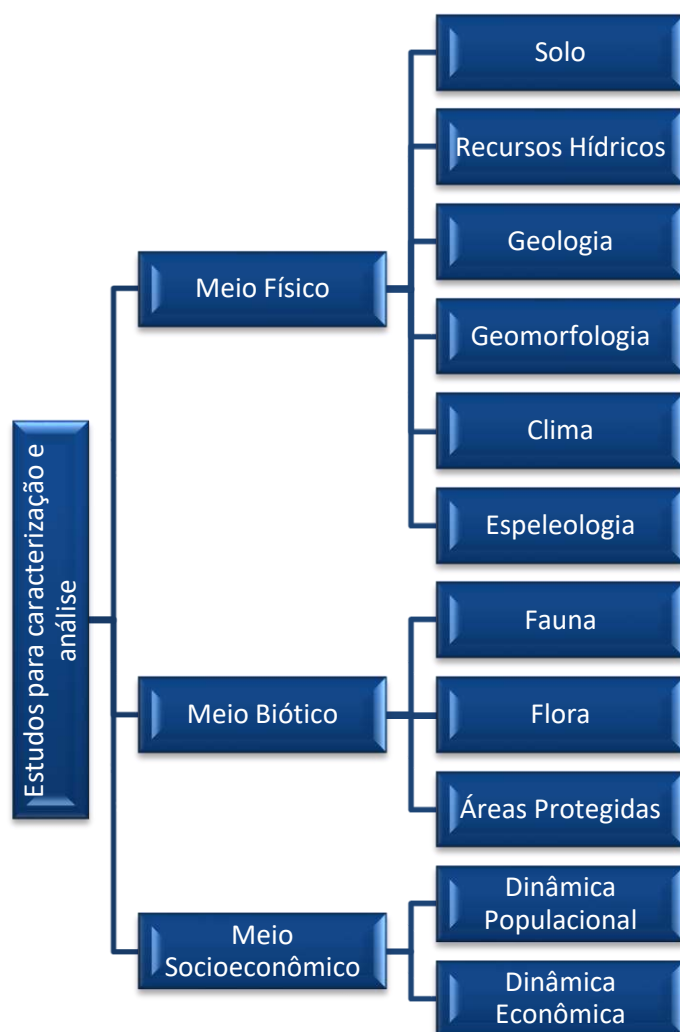


Figura 142 - Levantamento de dados na Área de Estudo (AE) para caracterizar o contexto biológico, físico e socioeconômico da região do empreendimento para posterior análise das informações levantadas.

O Termo de Referência (TR) para elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) para atividades ou empreendimentos com necessidade de corte ou supressão de vegetação do bioma Mata Atlântica, elaborado pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA, 2021), orienta para que na delimitação das áreas de estudo se considerem as características intrínsecas do futuro empreendimento e seus aspectos ambientais, e que esta esteja de acordo com as discussões prévias da equipe, bem como seja fundamentada na análise de documentos cartográficos da área e dos levantamentos bibliográficos pertinentes. O referido TR também orienta quanto aos critérios e abrangência de tais áreas:

“A área de estudo deve abranger o território no qual se observe continuidade dos fatores físicos, bióticos e socioeconômicos que se julguem relevantes ao entendimento dos impactos preliminarmente previstos e para definição futura das áreas de influência do empreendimento. Tendo em vista todos os fatores a serem considerados, a área de estudo pode ser diferente para os meios físico, biótico e socioeconômico”. (Texto extraído do Termo de Referência (TR) para elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) (SISEMA, 2021)).

Diante do exposto, pelas características do empreendimento e das estruturas previstas pelo presente licenciamento, foi definida uma Área de Estudo única para os três meios (físico, biótico e socioeconômico).

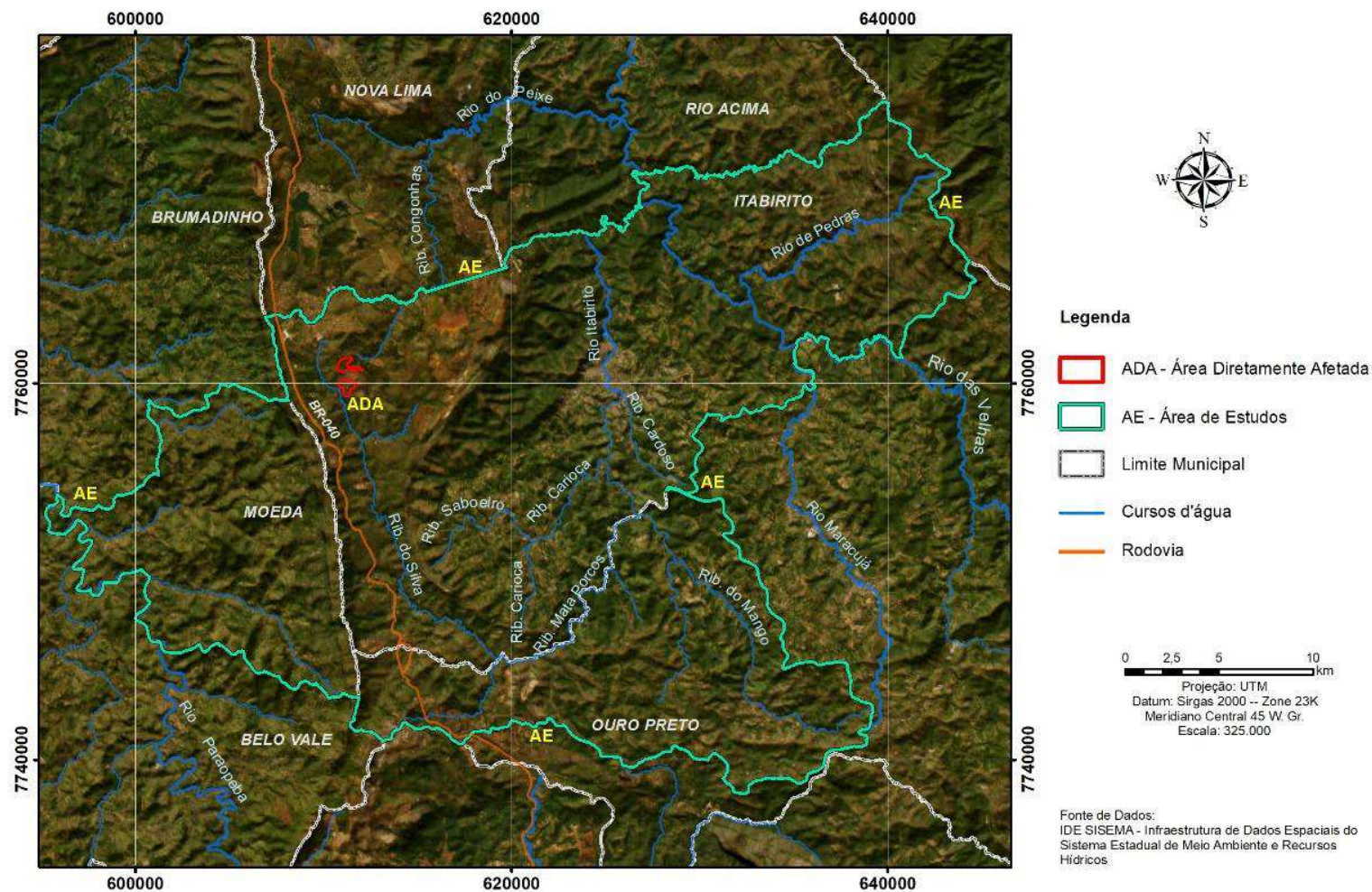


Figura 143 - Área de Estudo para o meio físico, biótico e socioeconômico - imagem de satélite.

A Área de Estudo foi delimitada após a avaliação preliminar da abrangência geográfica dos possíveis impactos ambientais do empreendimento, considerando-se as drenagens, vias de acessos existentes, os aspectos biológicos (fauna e flora), áreas protegidas, bem como a presença de estruturas urbanas, sendo incluído em seus limites todo o município de Itabirito e Moeda, os quais correspondem a municípios que darão suporte logístico, inclusive com o fornecimento de insumos e mão de obra. Devida à inclusão da bacia do Ribeirão Mata Porcos, parte do município de Ouro Preto (na qual está a sub-bacia mencionada) foi incluída na Área de Estudo.

Optou-se também por incluir a sub bacia do Córrego Sapecado, em Nova Lima, visto que a área da lavra do Retiro de Sapecado se insere nesta sub bacia, assim, este recorte tornaria possível uma análise mais abrangente.

A seguir são informados os fatores que foram considerados na sua delimitação da Área de Estudo (AE) para cada um dos meios (físico, biótico e socioeconômico).

5.1 ÁREA DE ESTUDO (AE) PARA O MEIO FÍSICO

Para definição da Área de Estudo do meio físico, considerou-se as bacias hidrográficas, o arranjo topográfico, solos, geologia e geomorfologia, assim como a abrangência da malha amostral dos estudos realizados na área no entorno do empreendimento, tais como o monitoramento da qualidade das águas superficiais, espeleologia, caracterização do clima local e regional, qualidade do ar e ruído, assim como foram consultados os dados oficiais disponíveis e representativos ao projeto.

Desta forma, foram considerados os limites dos córregos Lagoa Seca e Bugre, que são afluentes do Ribeirão Arêdes, que por sua vez é afluente do Ribeirão do Silva. Cabe ressaltar que a microbacia do ribeirão do Silva corresponde à microbacia de inserção do empreendimento localizado no Tanque Seco.

O Ribeirão do Silva é um dos contribuintes do Ribeirão Mata Porcos, estando, portanto, esta sub-bacia inserida nos limites da AE.

Com relação à Mina Sapecado, foram considerados os limites do Córrego Sapecado, assim como do seu afluente, o Córrego Lagoinha, estando, portanto, estes cursos d'água inseridos na Área de Estudo (AE). Este recorte possibilita uma análise mais abrangente.

Também foram consideradas na análise do meio físico parte da BR-040, assim como da estrada municipal ITA-320, esta última por corresponder a uma estrada de ligação da mina a usina (Sapicado/Tanque Seco) e que também serve de acesso ao empreendimento após sair da BR-040. É importante a inclusão destas vias de acesso devido à movimentação de veículos, seja para acesso ao empreendimento quanto para o transporte dos materiais/produtos, o que causa uma maior movimentação de veículos e, conseqüentemente, o aumento de materiais particulados.

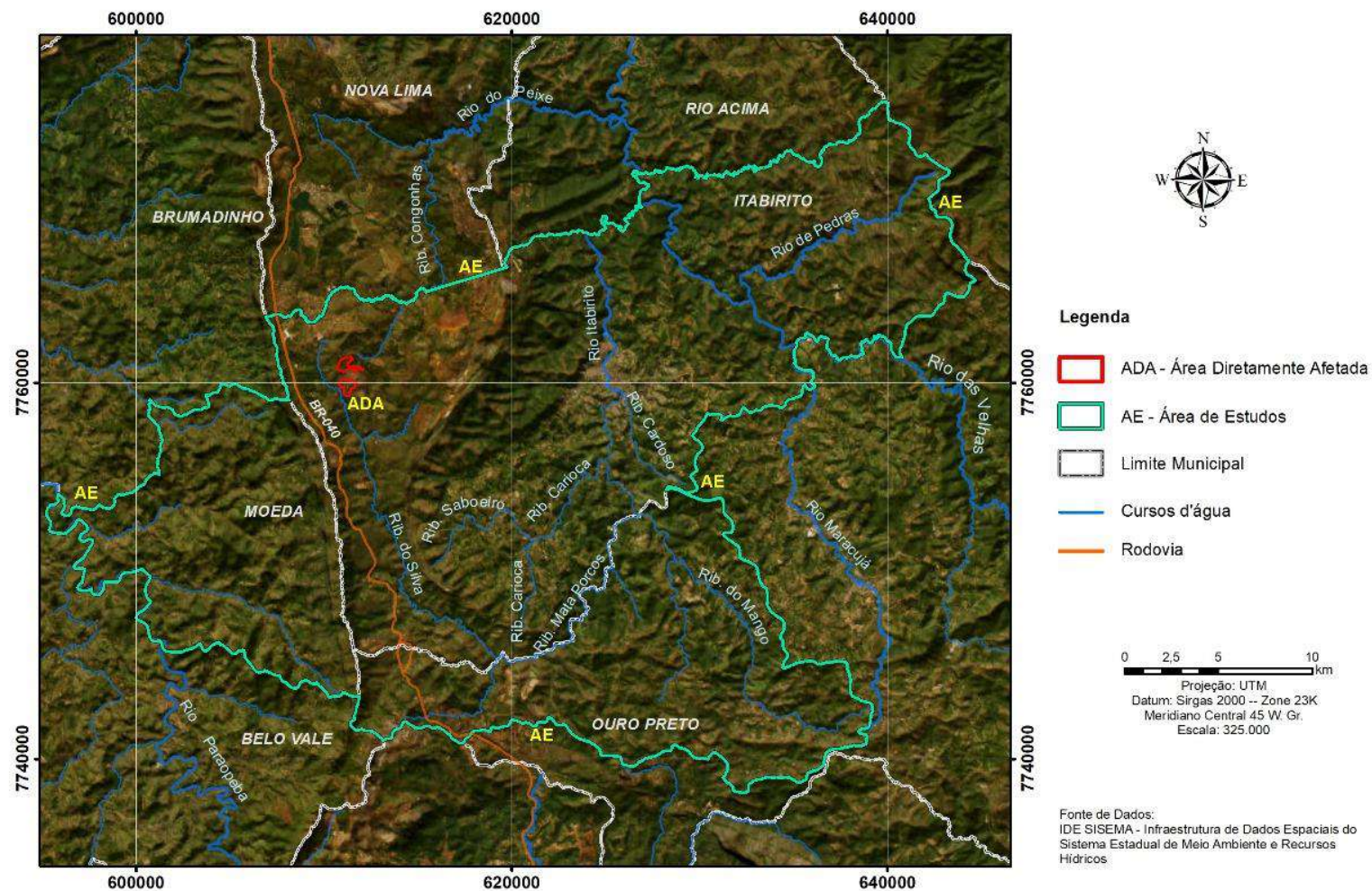


Figura 144 - Área de Estudo.

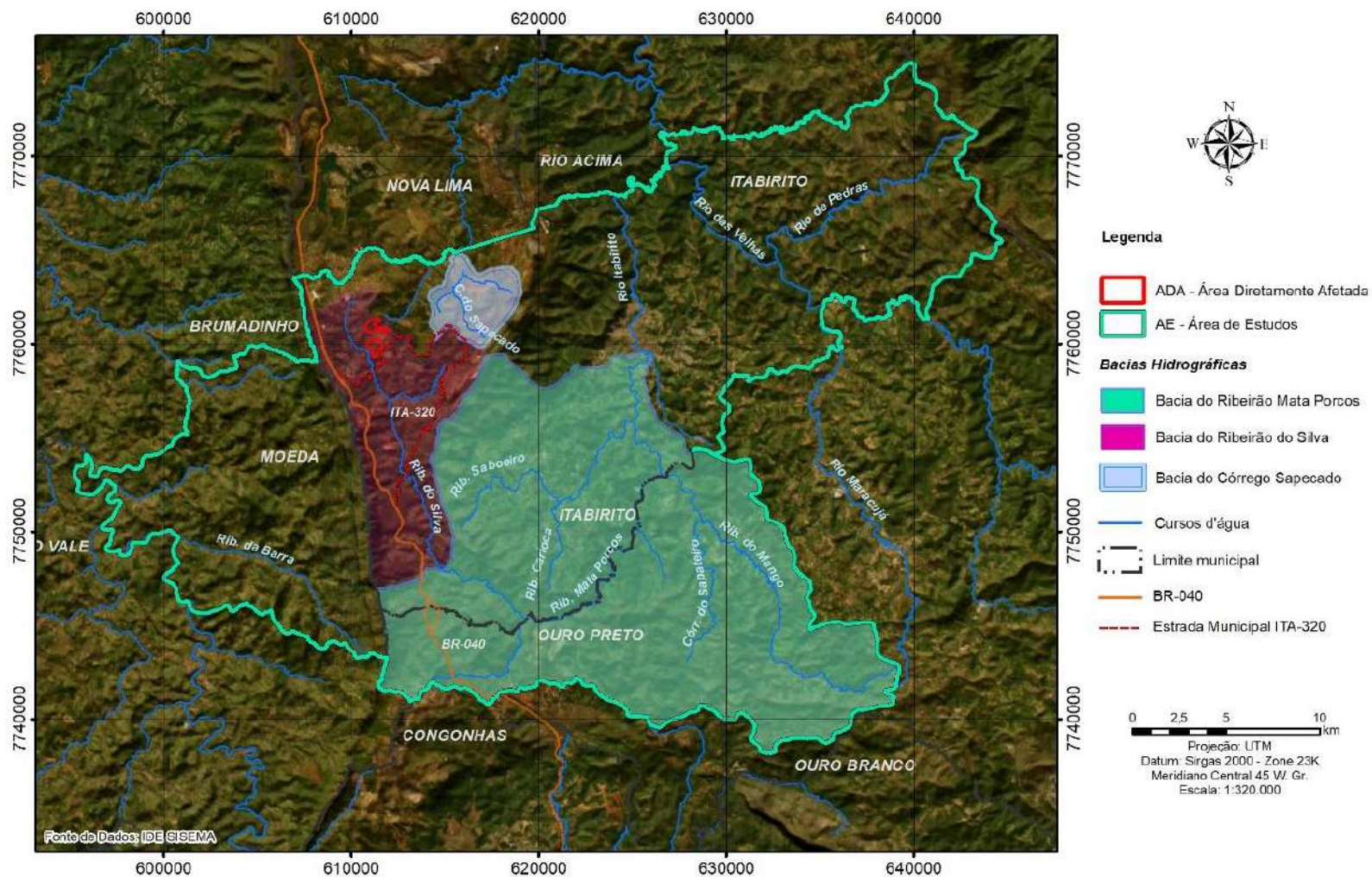


Figura 145 - Área de Estudo (AE) e fatores físicos considerados para a sua delimitação - Meio Físico.

5.2 ÁREA DE ESTUDO LOCAL (AE) PARA O BIÓTICO

Tendo em vista os possíveis impactos do empreendimento, foram englobados no limite da AE os cursos d'água próximos à área de intervenção, sendo estes, portanto, mais susceptíveis aos impactos ocasionados pelo empreendimento. Assim, considerou os limites dos córregos Lagoa Seca e Bugre, que são afluentes do Ribeirão Arêdes, que é afluente do Ribeirão do Silva. Este, por sua vez, é afluente do Ribeirão Mata Porcos, estando, portanto, estes cursos d'água inseridos nos limites da AE.

Com relação à Mina Sapecado, foram considerados os limites do Córrego Sapecado, assim como do seu afluente, o Córrego Lagoinha, sendo, deste modo, inseridos na Área de Estudo (AE). Este recorte possibilita uma análise mais abrangente.

Também foi considerada a proximidade da ADA com as unidades de conservação da região e o Corredor Ecológico Serra da Moeda-Arêdes.

Assim como também foi importante a inclusão na análise de parte da BR-040 e da estrada municipal ITA-320, visto que esta última corresponde a uma estrada de ligação da mina a usina (Sapecado/Tanque Seco) e também serve de acesso ao empreendimento após sair da BR-040, sendo, portanto, importante a sua inclusão na AE por corresponder a uma barreira ecológica para a alguns grupos biológicos.

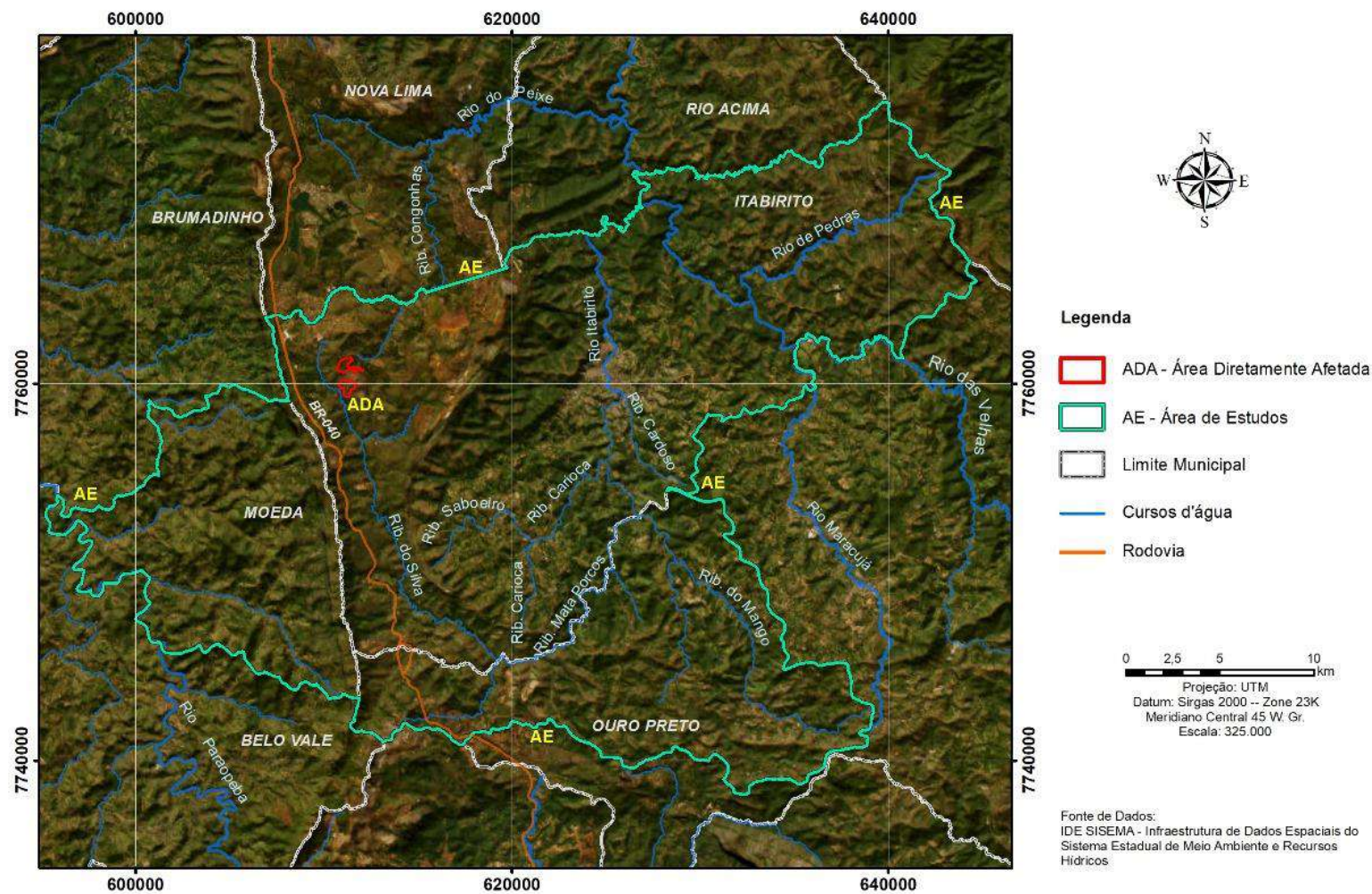


Figura 146 - Área de Estudo.



5.3 ÁREA DE ESTUDO (AE) PARA O MEIO SOCIOECONÔMICO

Para o presente licenciamento, para a definição da Área de Estudo (AE) com relação ao meio socioeconômico, foi considerada a proximidade com áreas urbanizadas, no caso os condomínios situados nas proximidades do empreendimento, os quais são o Condomínio Aconchego da Serra, Villa Bella e Vertentes das Gerais. Os moradores destes condomínios tendem a perceber com mais clareza os impactos do projeto, sejam eles negativos ou positivos.

Também foi considerada a presença de estruturas urbanas, sendo incluído em seus limites todo o município de Itabirito e Moeda, os quais correspondem a municípios que darão suporte logístico, inclusive com o fornecimento de insumos e mão de obra. Nas análises para o meio socioeconômico considerou-se também a inclusão de parte da BR-040, assim como da estrada municipal ITA-320, visto que esta última corresponde a uma estrada de ligação da mina a usina (Sapecado/Tanque Seco) e que também serve de acesso ao empreendimento após sair da BR-040, sendo, assim, importante a sua inclusão devido à maior movimentação de veículos por estas estradas, seja para acesso ao empreendimento quanto para o transporte de materiais/produtos.

Nos limites da AE também foi considerada a área de instalação do Projeto Terminal de Cargas de Bação – TCB, o qual corresponde ao empreendimento logístico voltado para o embarque ferroviário de granéis sólidos. Sua inclusão se justifica por se tratar de um dos meios de transporte dos materiais produzidos no empreendimento na Herculano.

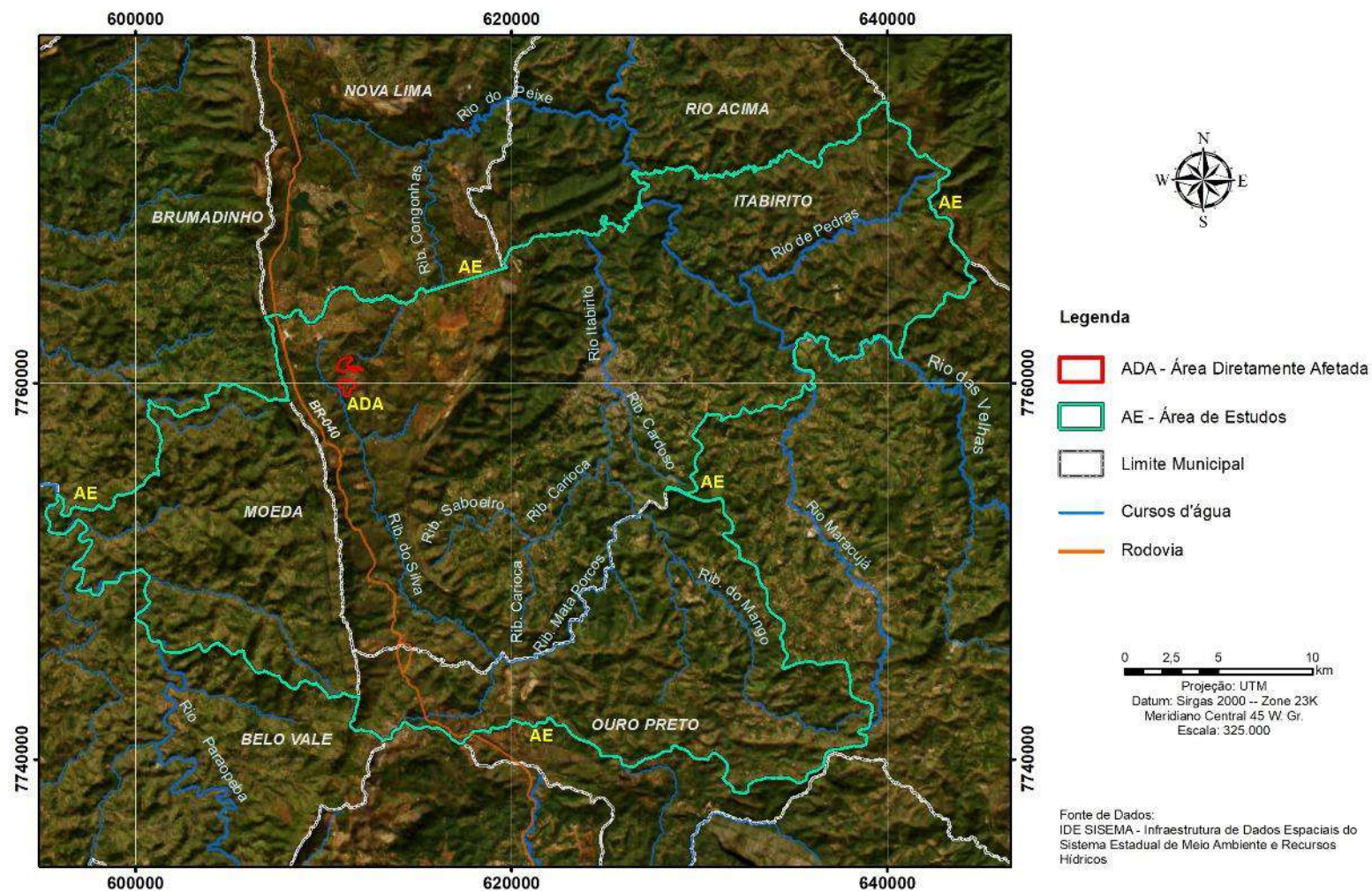


Figura 148 - Área de Estudo.

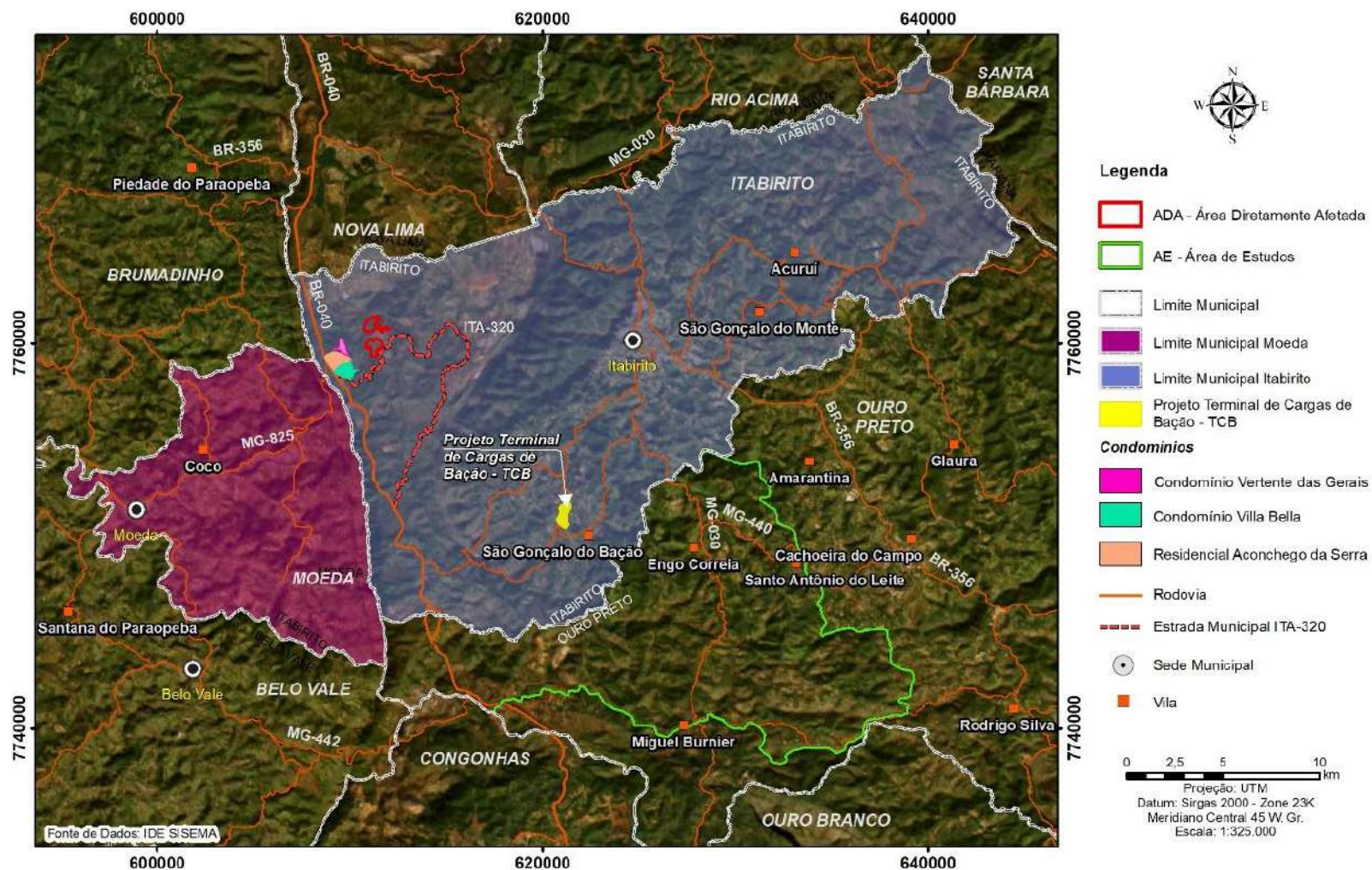


Figura 149 - Área de Estudo (AE) e fatores socioeconômicos analisados e considerados em sua delimitação - Meio Socioeconômico.

6. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

6.1 MEIO FÍSICO

6.1.1 *Clima e meteorologia*

Para o melhor entendimento da dinâmica atmosférica atuante em uma determinada área, inicia-se a observação global da circulação, na qual a localidade de interesse esteja inserida. No caso presente, serão visualizadas as características sinóticas dominantes sobre o Brasil, com enfoque, principalmente, para o Estado de Minas Gerais e para a região de Itabirito. Dessa forma, será possível compreender melhor o clima da região do empreendimento.

No diagnóstico climático, ora apresentado, foi feito uma análise detalhada dos principais parâmetros meteorológicos disponíveis, como: precipitação, temperaturas, umidade relativa, déficit e superávit hídrico, velocidade e direção dos ventos, insolação, nebulosidade, entre outros.

Os eventos atmosféricos de uma determinada região são dinâmicos, com variações significativas entre as horas do dia, os dias dos meses e os meses do ano, no entanto, considerando as médias mensais de vários anos seguidos, um padrão poderá ser obtido, podendo este caracterizar a intensidade histórica dos parâmetros meteorológicos que ocorrem em uma área de interesse.

A análise deste comportamento médio mensal é de grande relevância para o planejamento estratégico de empreendimentos das mais diversas áreas, como mineração e indústrias. Portanto, quanto maior o período histórico de informações acumuladas, mais precisa é a caracterização climática deste lugar, com médias mais consistentes. Tecnicamente, é mais eficaz a utilização de médias de décadas passadas, do que médias curtas de cinco anos mais recentes, por exemplo.

Os dados utilizados neste diagnóstico fazem parte das Normais Climatológicas obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia-INMET.

Após determinar quais os dados oficiais mais apropriados, as informações foram inseridas no documento final no formato de gráficos e outros recursos visuais, propiciando o enriquecimento das análises.

Em relação à variável direção predominante dos ventos, além da informação histórico-climatológica, optou-se também pela utilização de três anos (2007 a 2009) de informações oriundas da estação automática do INMET também localizada em Ouro Branco. Após o tratamento destes dados, elaborou-se um gráfico

representativo da direção predominante média dos ventos na região, complementando a climatologia histórica.

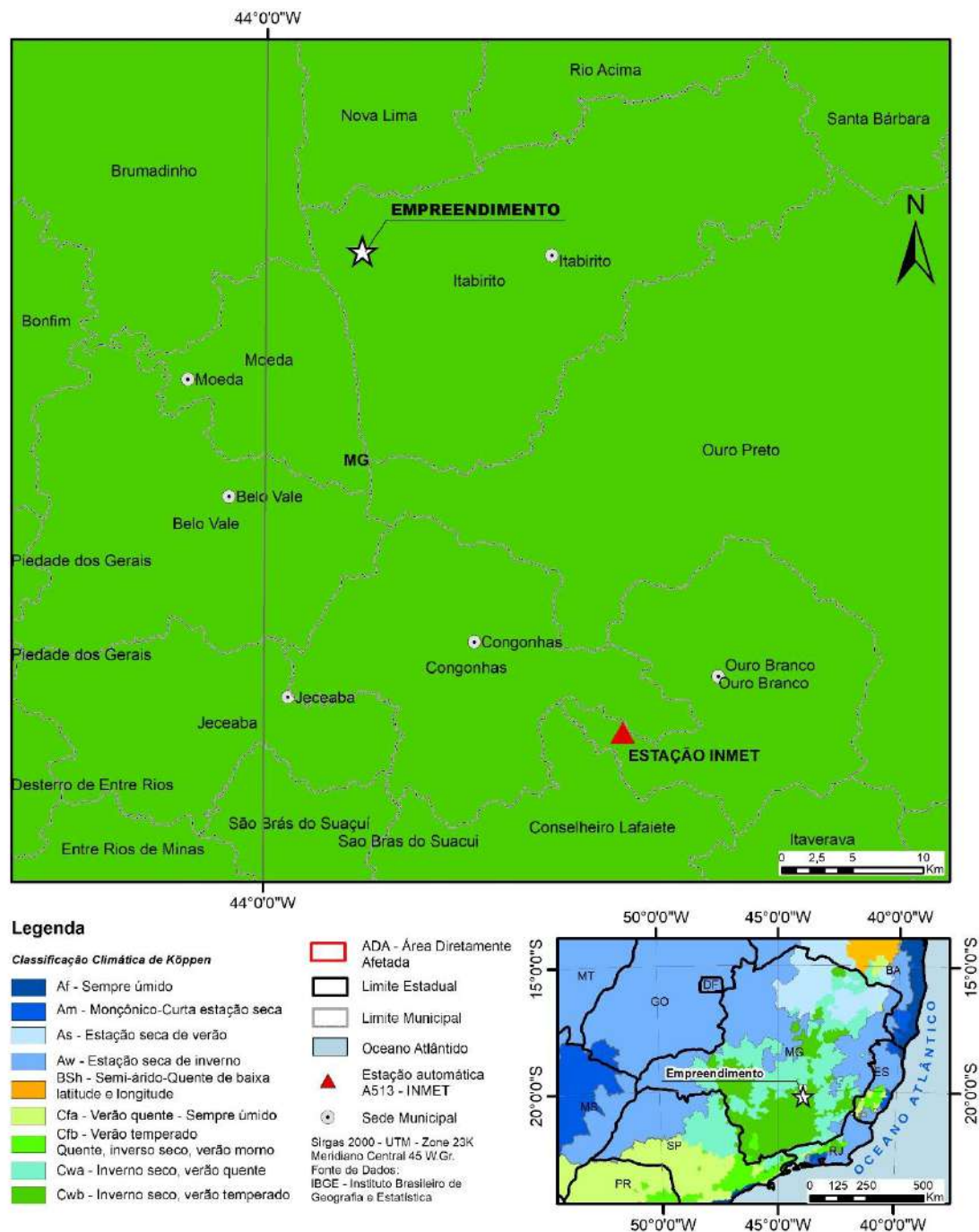


Figura 150 - Localização da estação utilizada (Fonte: INMET).

6.1.1.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA REGIONAL

Conforme a classificação do IBGE, a área do empreendimento apresenta o tipo climático Tropical Subquente Semiúmido com 4 a 5 meses secos.

A região de Itabirito é influenciada pela maioria dos sistemas sinóticos que atingem o sul do país, com algumas diferenças em termos de intensidade e sazonalidade. As linhas de instabilidade pré-frontais, geradas a partir da associação de fatores dinâmicos de larga escala e características de mesoescala são responsáveis pelos eventos de precipitação durante o verão. Os sistemas frontais que atuam durante o ano todo sobre a região são um dos maiores causadores de distúrbios meteorológicos na área. O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala.

Os sistemas frontais (SF) são originários das latitudes extratropicais e possuem vital importância para a climatologia da região Sudeste e para a região de Itabirito. No verão produzem instabilidade e forte nebulosidade associada. Os SF são acompanhados por massas de ar de origem polar que, durante o inverno, produzem condições de queda das temperaturas. Sob sua influência registram-se as temperaturas mínimas absolutas nesta época do ano.

Segundo Ayoade (1998), as baixas latitudes são dominadas por ventos predominantes de leste, originários do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que compõem o sistema de circulação de larga escala. Sua forte influência é sentida durante todo o ano, impondo a região às características de sua área de origem. A predominância da atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) durante o período que se estende de abril a setembro, de modo geral, garante a estabilidade atmosférica, períodos longos de insolação e baixa nebulosidade sobre toda a região em estudo.

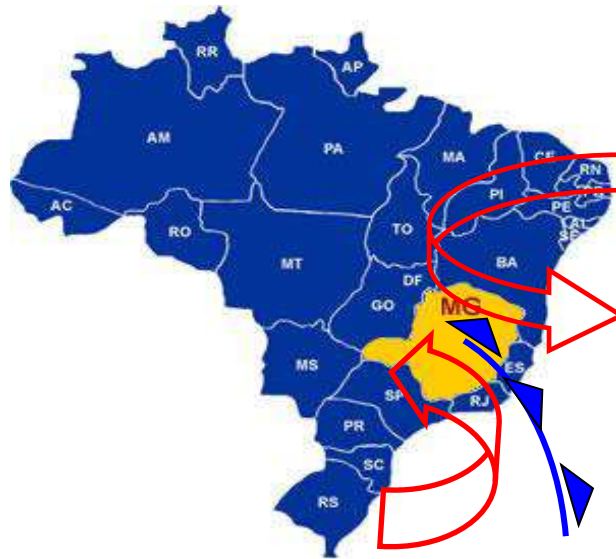


Figura 151- Atuação dos Sistemas Frontais, em escala sinótica, na região de Itabirito.



Figura 152 - Atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) no Estado de Minas Gerais.

Dentro dos sistemas meteorológicos que atuam na região Sudeste do país durante o verão, inclui-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que possui orientação NW-SE e funciona como uma espécie de corredor que conduz a umidade oriunda da Amazônia para as regiões Centro-Oeste e Sudeste. Esse sistema traz como consequência chuvas de intensidade variada, podendo perdurar de 4 a 14 dias. Ancorada por sistemas frontais, esta configuração sinótica é responsável por índices pluviométricos acima do normal até a vir se dissipar.

Outros fenômenos de frequência menos intensa e mais irregular atuam na região Sudeste e provocam mudanças significativas nas condições atmosféricas local, com destaque para os anos de atuação do El Niño quando a precipitação é reduzida e anos de atuação de La Niña, quando os índices pluviométricos aumentam na região Sudeste do Brasil.

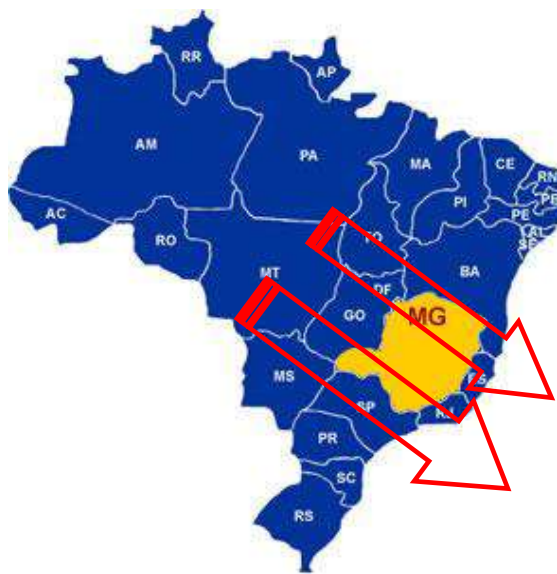


Figura 153 - Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

6.1.1.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA LOCAL

a) Análise Pluviométrica

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos. Esta importância se deve às consequências que elas podem ocasionar para os setores produtivos da sociedade, tanto nos aspectos econômicos, quanto sociais (mineração, agricultura, transporte, hidrologia, etc.). Quando ocorridas em excesso, as chuvas podem proporcionar enchentes, assoreamentos dos rios, rompimento em barragens de rejeito, dentre outros transtornos. Chuva intensa define-se como sendo aquela que registra um grande volume de água precipitada num curto espaço de tempo. Estas chuvas intensas ocorrem isoladamente ou associadas a outros sistemas meteorológicos.

O total pluviométrico anual para a região de Itabirito é de 1474,9 mm, que, por sua vez, é marcado por uma grande variação interanual (um período mais seco e outro chuvoso) com uma média mensal de 122,9 mm. Os meses mais chuvosos

correspondem ao período de outubro-março. Os meses de abril e setembro são meses de transição entre um regime e outro e são marcados pela estação seca na região. Contudo, devido à dinâmica atmosférica e fatores externos à mesma, tanto a estação seca quanto a chuvosa podem sofrer variações.

A distribuição de chuva no trimestre novembro-dezembro-janeiro apresenta os meses de maior precipitação no período, um total de 777,9 mm. Por outro lado, no trimestre junho-julho-agosto, devido à baixa atividade convectiva, os valores não ultrapassam a 60,2 mm no total, pois a região fica sob a ação do Anticiclone do Atlântico Sul, induzindo um período de seca bem característico. No trimestre mais seco, eventualmente, ocorrem longos períodos de estiagem.

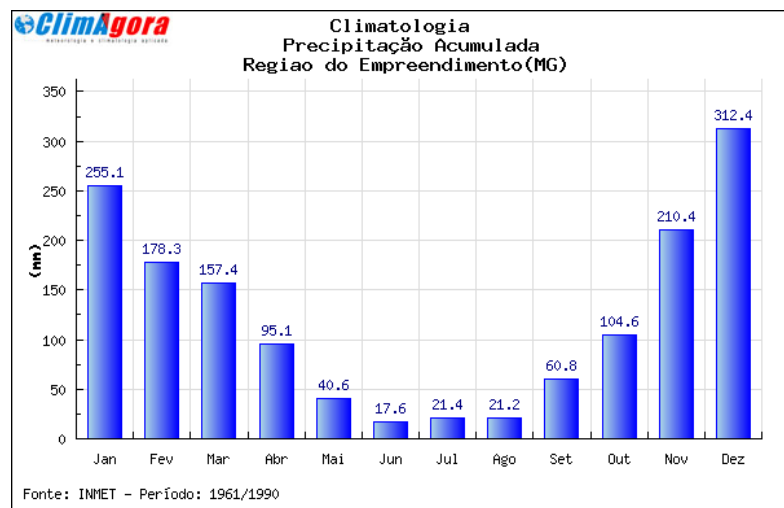


Figura 154 - Comportamento climatológico da precipitação (mm).

Os meses com maior número de dias de chuva ocorrem no período de outubro a março. Os meses de abril e setembro são meses de transição entre os regimes de chuva. Os meses de dezembro e janeiro apresentam destaque em relação ao número de dias de chuvas, somando 39 (trinta e nove), segundo a climatologia local. Por outro lado, no trimestre junho-julho-agosto, devido à baixa atividade convectiva, os dias de chuvas não ultrapassam 10 (dez) dias somado os três meses.

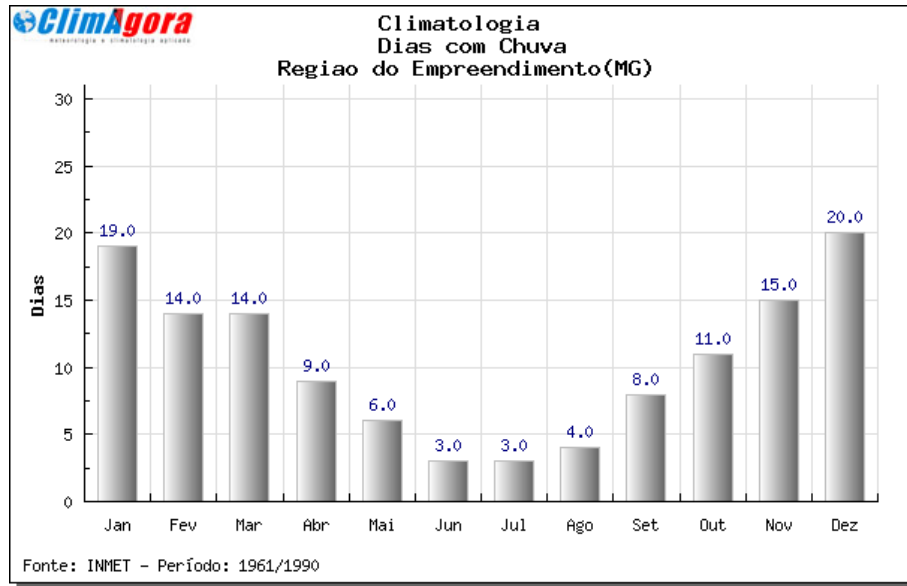


Figura 155 - Comportamento climatológico do número de dias de chuvas mensais.

Pode-se observar na figura a seguir o período em que ocorrem os máximos de chuva em 24 horas, sendo este, historicamente, entre novembro e abril, quando a atividade convectiva é mais intensa e mais propícia a este tipo de evento extremo. A figura a seguir apresenta o histórico de registros máximos de chuvas (mm), ocorridos em 24 horas.

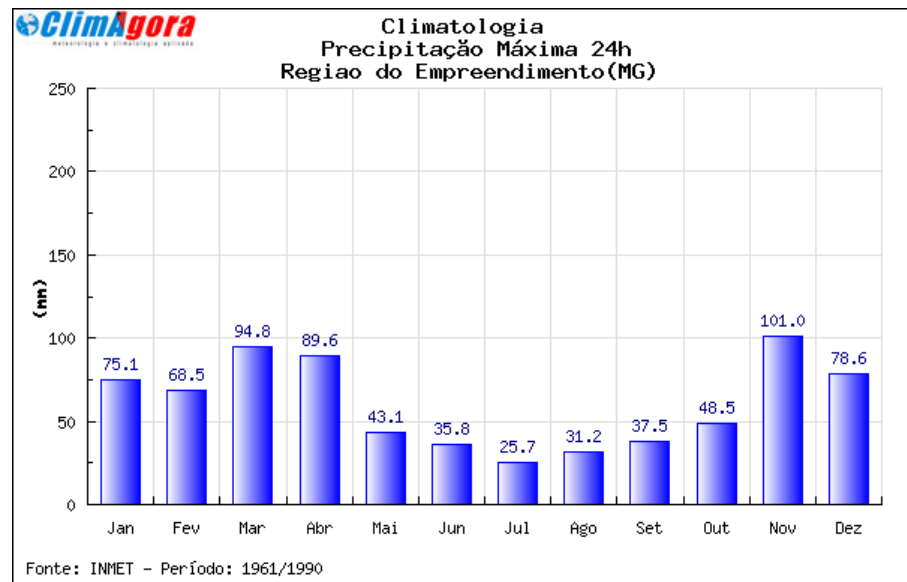


Figura 156 - Comportamento climatológico da precipitação (mm) máxima em 24 horas.

A distribuição temporal e quantitativa da precipitação exerce influência no volume de água disponível para recarga do lençol freático em qualquer paisagem. A

região de estudo apresenta característica irregular da pluviometria, com uma grande variação durante o ano.

De novembro a abril o sistema terra-atmosfera trabalha com balanço positivo, considerando a relação entre precipitação e evaporação ocorrida, que pode chegar até 240 mm em dezembro e 173 mm em janeiro. Devido à baixa significativa de precipitação no período de maio a meados de outubro, o sistema trabalha com déficit hídrico. Apenas na segunda quinzena de outubro é que o sistema supera as perdas e trabalha com superávits em virtude do coeficiente citado.

Pode-se constatar que na região de estudo há um período de deficiência hídrica relativamente longo, que perdura cerca de quatro meses sucessivos, considerando maio e setembro períodos de transição. Devido à grande variabilidade interanual da pluviosidade sugere-se que o uso dos recursos hídricos seja feito de maneira criteriosa, principalmente das águas superficiais no período do inverno.

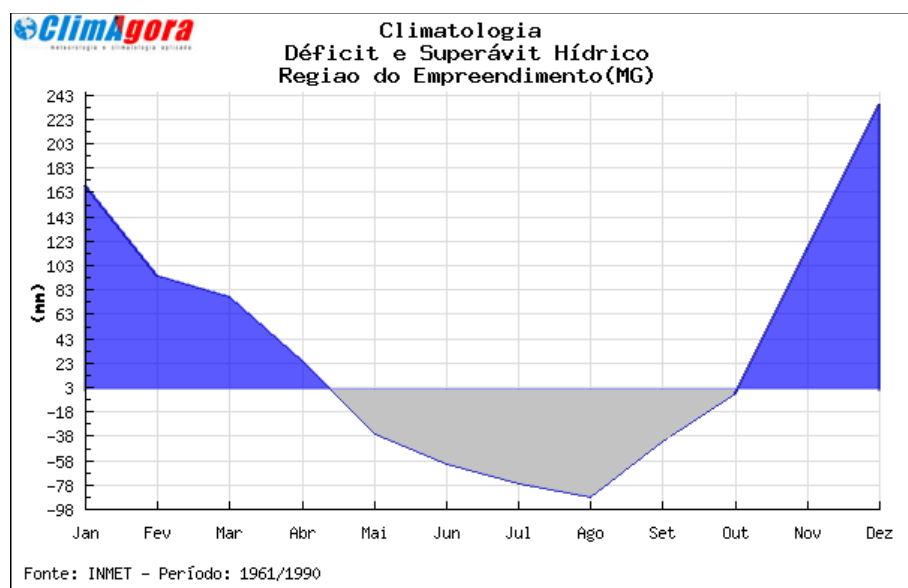


Figura 157 - Comportamento climatológico – coeficiente precipitação / evaporação.

b) Análise de Temperatura

As maiores médias das máximas ao longo do ano (TMAX) são registradas no trimestre de janeiro-fevereiro-março, com temperaturas de 26,4°C, 27,8°C e 27,1°C, respectivamente. Tais características estão relacionadas à maior quantidade de energia solar disponível no sistema terra-atmosfera, resultante da modificação do

eixo de inclinação da terra neste período no hemisfério sul, onde os raios solares ficam mais paralelos diminuindo o ângulo de incidência sobre a superfície.

As menores médias das mínimas ao longo do ano (TMIN) são registradas no período de inverno, nos meses junho-julho-agosto, com temperaturas de 12,3°C, 11,5°C e 12,3°C, respectivamente. Em uma análise mais criteriosa do comportamento atmosférico da região, tais características estão relacionadas à predominância de baixa nebulosidade, o que de certa forma contribui para o registro das menores mínimas. Neste período, os dias de céu claro induzem perda radioativa mais rápida durante o período noturno para a atmosfera.

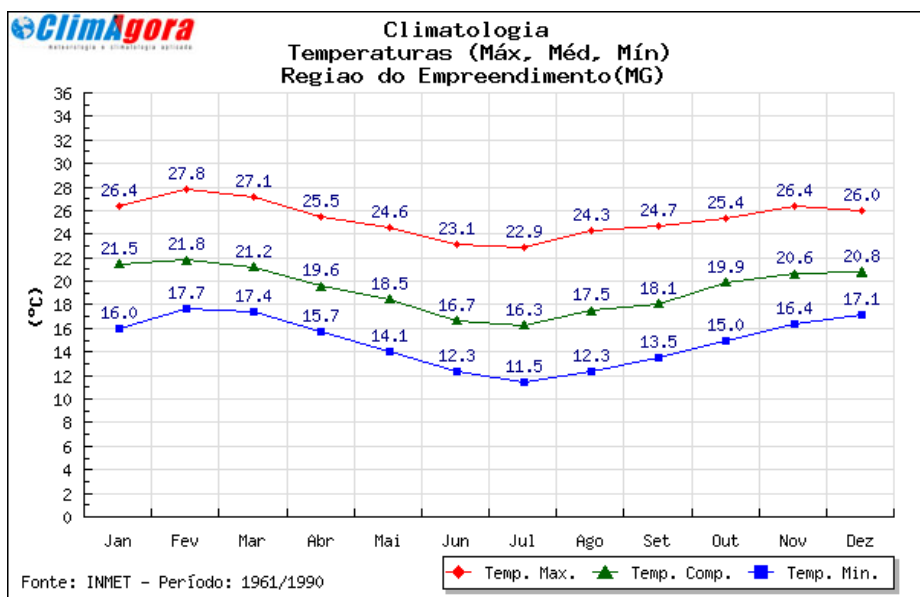


Figura 158 - Comportamento climatológico das temperaturas médias máximas e mínimas.

Conforme pode ser observado na figura a seguir, os meses de maio a agosto registram as temperaturas mínimas absolutas. Isso se deve ao fato de uma menor nebulosidade neste período, favorecendo a perda de energia durante as noites e madrugadas.

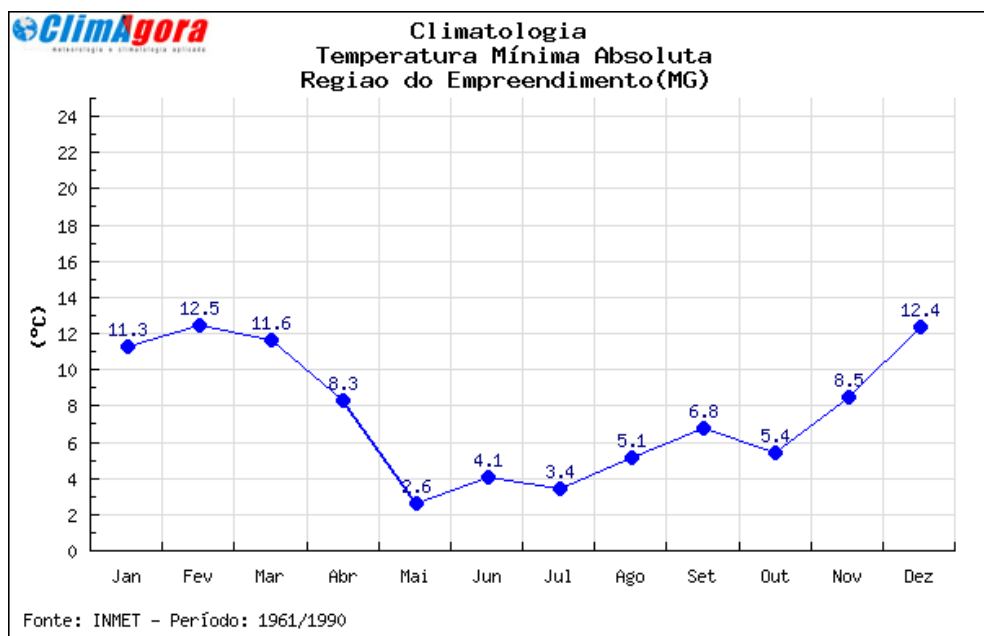


Figura 159 - Comportamento climatológico das temperaturas mínimas absolutas.

As temperaturas máximas absolutas ocorrem geralmente nos meses de outubro a janeiro, com registros históricos de aproximadamente 36°C. Estas temperaturas acontecem, principalmente, na transição da primavera para o verão e durante o próprio verão.

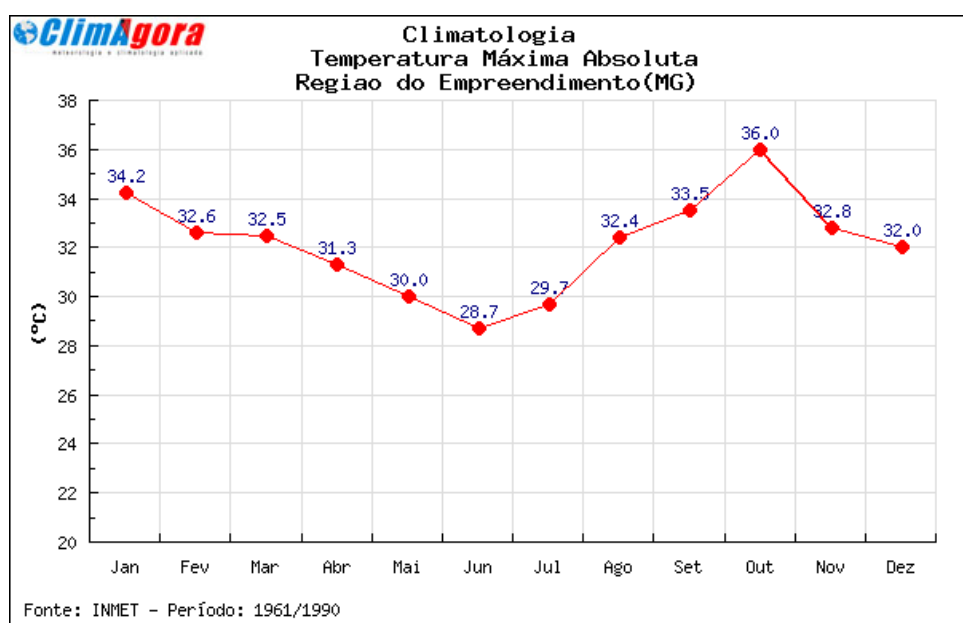


Figura 160 - Comportamento climatológico das temperaturas máximas absolutas.

c) Caracterização da Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa do ar média mensal na região apresenta seus menores índices no período de junho a outubro. No restante do ano a variação se mantém entre 78% a 81%. Os meses mais úmidos são os de dezembro a maio, onde a atmosfera recebe umidade proveniente do Oceano Atlântico, além da maior atividade convectiva no período.

Apesar de observado pequena variação dos valores médios mensais de umidade relativa do ar na região de estudo, verifica-se, logo após o início do período seco, principalmente entre os meses de julho a agosto, condições meteorológicas propícias para o desenvolvimento de focos de queimada, inclusive com o aumento de matéria seca disponível. Áreas de mata ciliar, mata nativa e de reflorestamento carecem de eficiente monitoramento neste período. A diminuição dos níveis de umidade do ar é acompanhada pelo decréscimo dos índices pluviométricos do inverno.

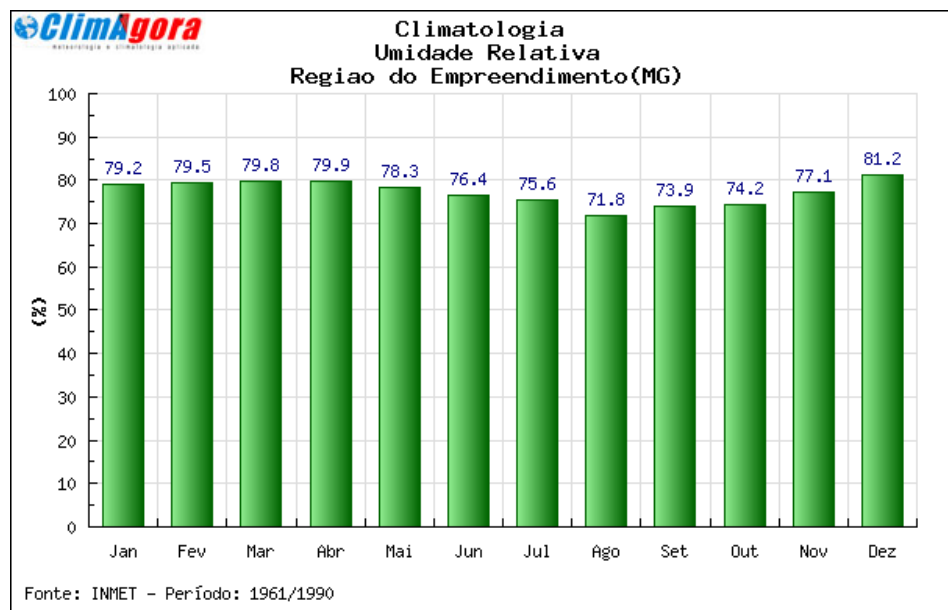


Figura 161 - Comportamento climatológico da umidade relativa do ar.

d) Caracterização da Nebulosidade Média Mensal

Como já era de se esperar, a nebulosidade é reduzida no período de inverno onde a atuação do anticiclone do Atlântico Sul se faz mais intenso na região (Sudeste do Brasil). Com a atuação do anticiclone a região se torna área de subsidência de ventos de leste/nordeste e inibe a formação de nuvens de grande

desenvolvimento vertical. Como consequência os invernos na área possuem grande quantidade de horas de brilho solar e baixa nebulosidade. No verão a situação se inverte, a alta atividade convectiva propicia a formação de nuvens e menor quantidade de horas de brilho solar.

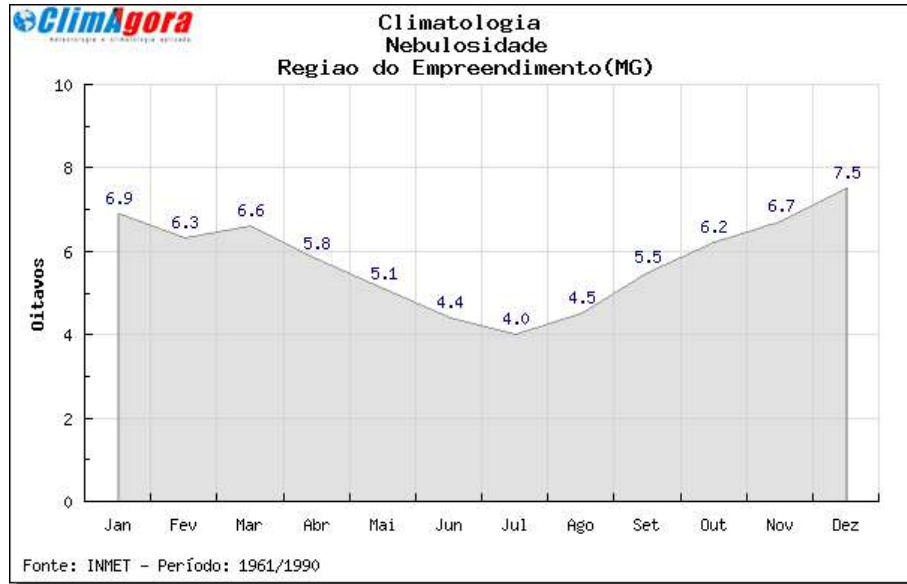


Figura 162 - Comportamento climatológico da nebulosidade.

e) Caracterização da Pressão Atmosférica

A pressão atmosférica na região está condicionada a atuação e intensificação dos anticiclones (alta pressão) e dos sistemas de baixa pressão. Nota-se que a pressão atmosférica na região aumenta gradativamente à medida que o ASAS se desloca em seu trajeto oscilatório para dentro do continente, estando em seu ponto máximo sobre a região Sudeste e em Itabirito nos meses de junho, julho e agosto. Existe uma estreita relação entre os índices de pressão e a ocorrência de chuvas e nebulosidade, sendo os mesmos inversamente proporcionais.

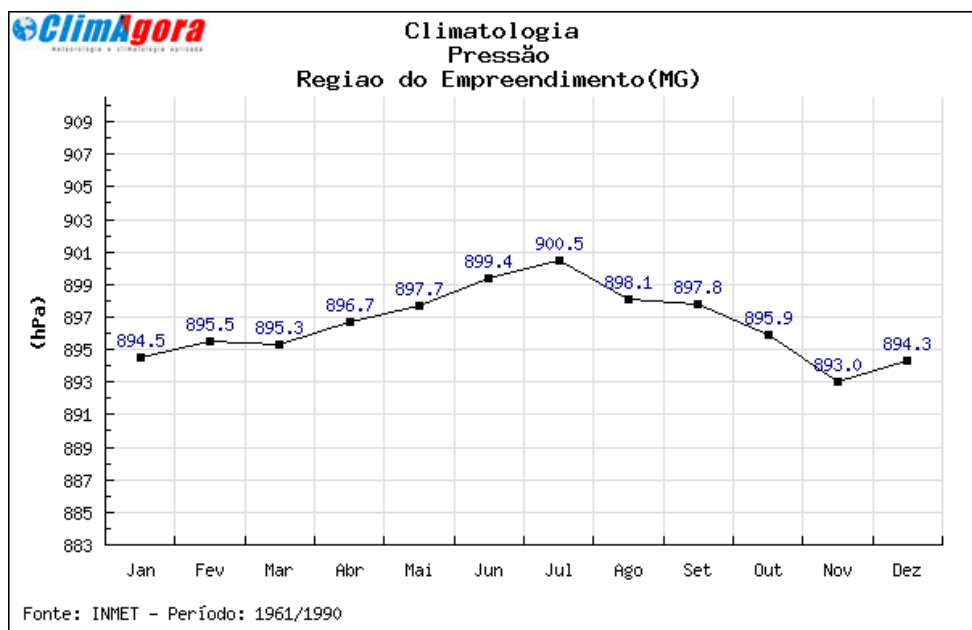


Figura 163 - Comportamento climatológico da pressão atmosférica.

f) Caracterização da Insolação Total Mensal

O total anual médio de insolação registrado na região de Itabirito é de aproximadamente 2255 horas, o que representa cerca de 6,1 horas diárias de insolação efetiva na área. Os meses de maior insolação são maio, junho, julho e agosto, período no qual a atuação do Anticiclone do Atlântico Sul está intensa e enseja a inibição da formação de nuvens que poderiam bloquear a incidência dos raios solares. Dos meses de setembro a abril, e principalmente de novembro e dezembro, a insolação total apresentou valores menores, o que era de se esperar, uma vez que esse período corresponde ao período mais chuvoso do ano e, logo, o período mais nebuloso também.

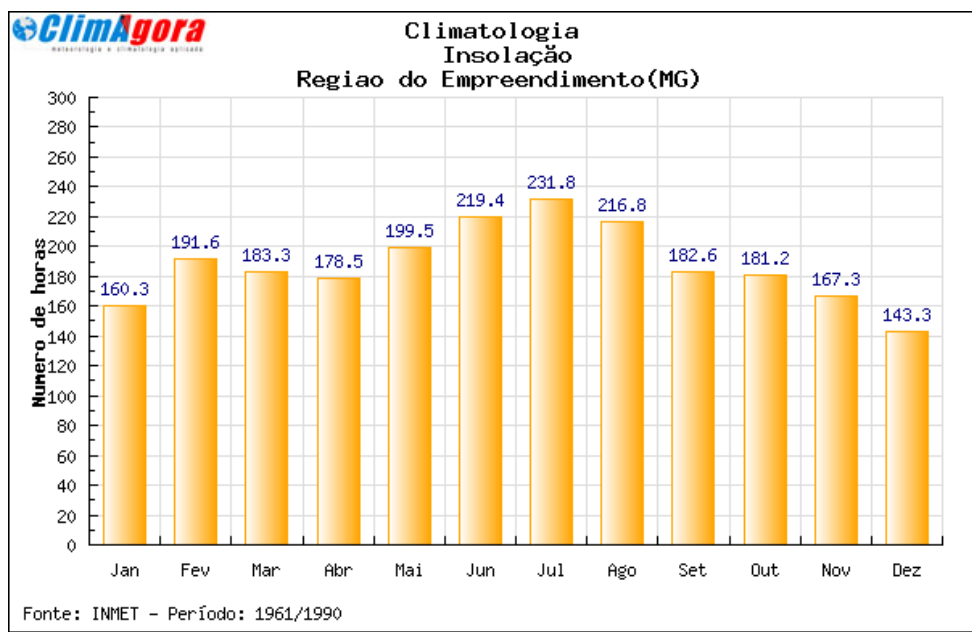


Figura 164- Comportamento climatológico da insolação total mensal.

g) Caracterização da direção predominante e velocidade média dos ventos

Segundo a climatologia oficial, no município de Itabirito os ventos têm direção predominante de sudeste, com variações significativas de leste durante todos os meses do ano. Segundo Ayoade (1998), as baixas latitudes são dominadas por ventos predominantes de leste, sudeste e nordeste, originários do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Sua influência impõe à região as características de sua área de origem.

Com o objetivo de complementar efetivamente a informação da direção predominante do vento de leste e sudeste, realizou-se um estudo e tratamento de dados referente há três anos (2007 a 2009) de informações aferidas na estação automática INMET de Ouro Branco.

Os dados da direção dos ventos foram separados de forma horária, com a respectiva direção do vento naquela hora de medição, sendo ao todo 8760 registros para cada ano. O gráfico representado na figura a seguir demonstra a média anual total (2007 a 2009) da direção predominante dos ventos para a área de interesse. Confirma-se a predominância de sudeste, com variações de leste.

Salienta-se que, segundo padrões mundiais de estudos climáticos e meteorológicos, sempre se considera a direção predominante do vento baseado em sua origem. A porcentagem de ventos ocorridos de origem leste/sudeste/nordeste é de aproximadamente 85%.

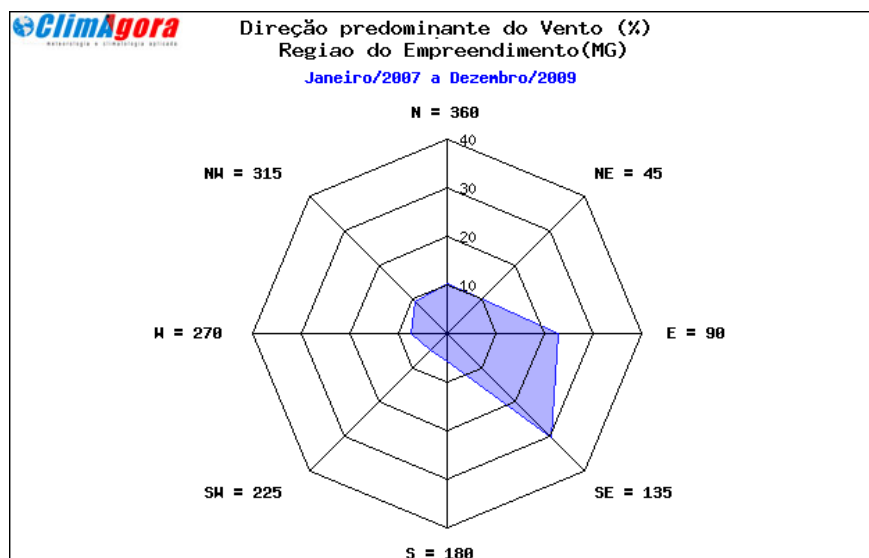


Figura 165 - Direção predominante dos ventos, média aplicada à região de Itabirito.

(Fonte: Estação automática INMET Ouro Branco - 2007 a 2009).

Em relação à velocidade média mensal dos ventos, a climatologia oficial para a região demonstra uma variação anual entre 2,5 m/s e 3,6 m/s, sendo o período de agosto a fevereiro, o que apresenta maior índice dessa variável. Observa-se certo padrão em relação à variação anual dos ventos, no entanto, pode-se detectar uma ligeira alteração comparando os períodos chuvoso e seco. Na Figura 166 demonstra-se a climatologia da velocidade média dos ventos para a região de interesse.

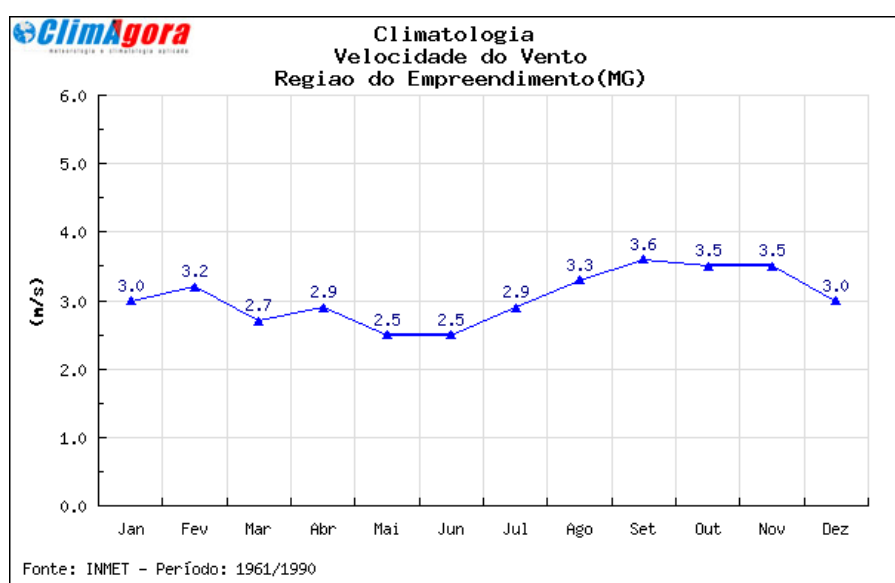


Figura 166 - Comportamento climatológico da velocidade média dos ventos.

6.1.1.3 CONCLUSÃO

Conclui-se que o comportamento de todos os parâmetros meteorológicos da área de interesse segue o mesmo padrão de comportamento de outras áreas da Região Metropolitana de Belo Horizonte, assim como da região Central de Minas Gerais, com clima tropical típico e duas estações bem marcadas (chuvosa e seca). No entanto, características de microclimas locais devem ser consideradas.

Empreendimentos como os minerários, siderúrgicos, entre outros, apresentam impactos relativos: as alterações das condições termais de forma pontual (microclima), contribuição para aumento da emissão de material particulado na atmosfera e mudança no albedo da superfície local, entre outros.

Os processos de supressão da cobertura vegetal, impermeabilização do solo, pavimentação e edificação são capazes de criar pequenas ilhas de calor, sendo tão importantes quanto maior o grau de transformação da superfície natural. Essa mudança do albedo, que constitui a substituição de uma superfície viva capaz de absorver a energia solar por uma superfície inerte e refletora da energia pode acarretar no aumento da temperatura.

Conforme orientação de meso-escala, o escoamento atmosférico preferencial se dá nas direções leste/sudeste (considerando origem). Para tanto, deve-se ter um cuidado maior em relação a esta informação nos empreendimentos com potencial para geração de material particulado, especialmente no período de estiagem, que começa geralmente em maio e só dá sinais de término no fim do mês de setembro. Preocupação constante também deve ser também a questão do consumo excessivo de água no período mais seco.

6.1.2 Qualidade do ar

A qualidade do ar na região de implantação do empreendimento da Herculano Mineração em Itabirito é influenciada por uma série de fatores. A dinâmica atmosférica local é impactada tanto pela intensa movimentação veicular quanto pela concentração de empreendimentos minerários, os quais contribuem para as emissões de material particulado pela região. Além da Herculano, a área abriga operações de empresas como a Vale, Gerdau e SAFM. A proximidade com a região metropolitana de Belo Horizonte, a localização adjacente à rodovia BR-040 e a presença de

condomínios residenciais amplificam o volume de tráfego, contribuindo para a emissão de material particulado nas vias de acesso.

As principais fontes de emissão de particulados na Herculano Mineração são:

- Operações de desmontes: Incluem desmontes mecânicos e eventuais desmontes com uso de explosivos.
- Transporte dos materiais: Incluindo o transporte de minério, estéril e rejeitos.
- Tráfego em vias não pavimentadas: A movimentação de veículos e equipamentos pesados nessas vias é um fator primário na suspensão de poeira e, conseqüentemente, na emissão de particulados.

Conforme a climatologia oficial do município de Itabirito, a direção predominante dos ventos é de sudeste, com variações significativas de leste ao longo do ano. Segundo Ayoade (1998), as baixas latitudes são influenciadas por ventos de leste, sudeste e nordeste, originários do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Este padrão de dispersão e transporte de poluentes atmosféricos é crucial para a modelagem da pluma de poluição e a avaliação dos impactos ambientais na área.

6.1.2.1 PROXIMIDADES COM NÚCLEOS POPULACIONAIS

A análise da proximidade das atividades operacionais da mineração com áreas residenciais é um componente crítico para a avaliação de risco ambiental e social. As operações de desmonte na Mina Sapecado, localizadas nos processos ANM 001.995/1963, 004.856/1960 e 831.175/2022, não apresentam sobreposição ou proximidade significativa com núcleos populacionais.

A via de acesso que interliga as duas minas (Sapecado e Tanque Seco), a estrada municipal ITA-320, também não está localizada em áreas adjacentes a aglomerados residenciais, o que mitiga os impactos diretos da movimentação de veículos e equipamentos pesados sobre a população.

Por outro lado, a Mina Tanque Seco (processos ANM 004.254/1957 e 832.197/1986) apresenta proximidade com os condomínios residenciais Villa Bella, Aconchego da Serra e Vertentes das Gerais, o que exige a implementação de medidas específicas de controle e monitoramento para mitigar potenciais impactos sobre essas

comunidades. Esta proximidade requer uma atenção diferenciada no gerenciamento de riscos operacionais, como a emissão de material particulado decorrentes das atividades de mineração.

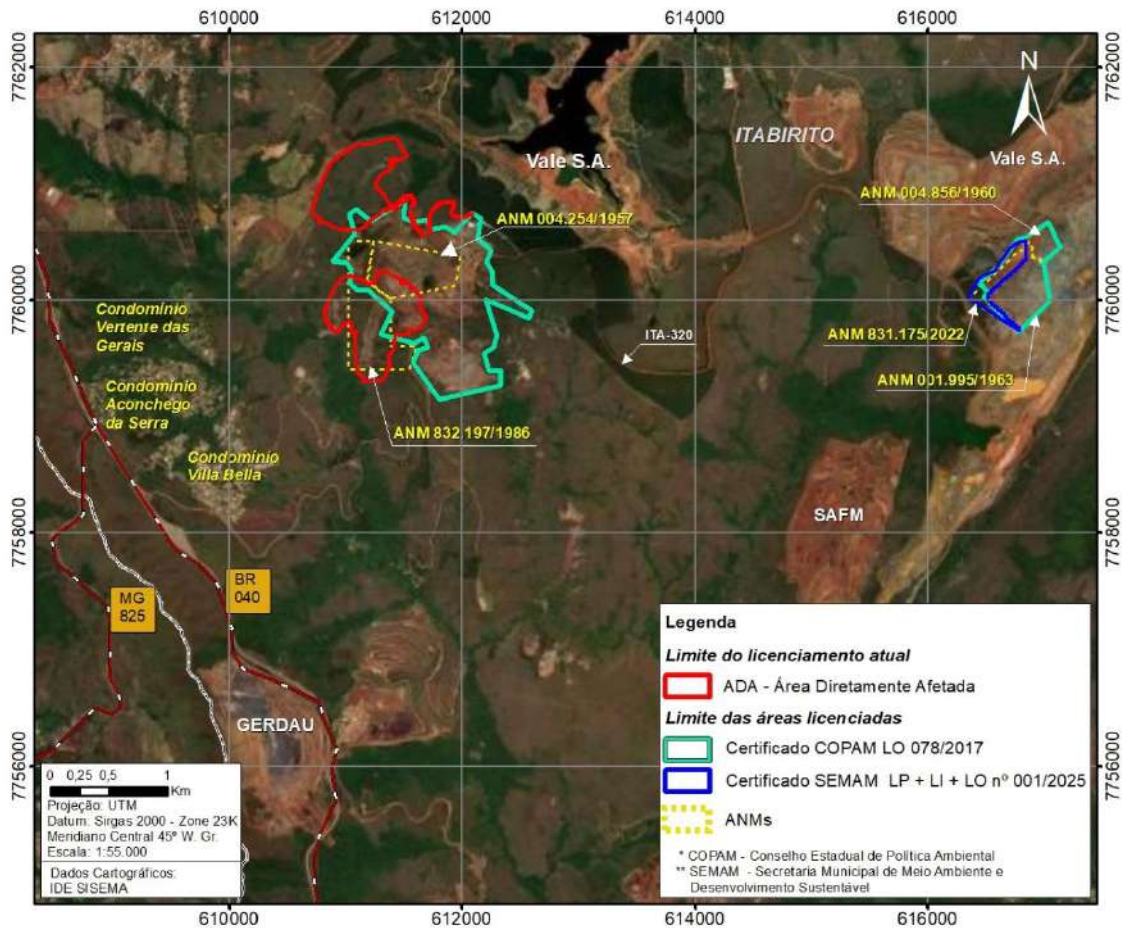


Figura 167 - Núcleos populacionais na proximidade da área da mina Tanque Seco.

6.1.2.2 O MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

A Herculano vem monitorando a qualidade do ar na área de inserção do seu empreendimento desde 11/06/2018.

São monitorados os seguintes parâmetros, utilizando equipamentos específicos:

- Partículas Inaláveis (PM_{10}): Medidas com o Amostrador de Grandes Volumes (AGV) acoplado ao Separador Inercial de Partículas.
- Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Chumbo (Pb): Monitorados utilizando o Amostrador de Grandes Volumes (AGV).

O monitoramento segue a metodologia padrão da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e da United States Environmental Protection Agency (US EPA), sendo os resultados obtidos, comparados com a Legislação Ambiental em vigor no país. Para simplificar o processo de divulgação dos resultados obtidos foi utilizado o Índice de Qualidade do Ar (IQAR).

a) Índice de Qualidade do Ar (IQAr): Conceito e Legislação Vigente

O Índice de Qualidade do Ar (IQAr) foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA) para simplificar e padronizar a comunicação pública sobre a qualidade do ar. É um número adimensional, calculado a partir de uma função linear segmentada, que relaciona a concentração de um poluente aos padrões de qualidade do ar estabelecidos.

Para cada poluente medido é calculado um índice. No entanto, para fins de divulgação, a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo maior valor de IQAr entre os poluentes, ou seja, a qualidade do ar de uma estação é determinada pelo "pior caso" registrado no local, havendo o monitoramento de mais de um poluente.

A regulamentação do IQAr no Brasil passou por mudanças significativas nos últimos anos:

1. Resolução CONAMA nº 491/2018: Esta resolução, que revogou a anterior de 1990, definiu no seu Artigo 8º a responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente e dos órgãos ambientais estaduais de sistematizar o cálculo do IQAr em um prazo de 12 meses. O Anexo IV da resolução estabeleceu a primeira faixa do índice, baseada nos limites de concentração do Padrão Final (PF). As demais faixas de concentração seriam definidas posteriormente em um guia técnico.
2. Resolução CONAMA nº 506/2024: A legislação mais recente revogou a Resolução CONAMA nº 491/2018. Ela determina que a forma de cálculo do IQAr deverá ser atualizada até 31 de dezembro de 2024, garantindo que a metodologia de medição e divulgação acompanhe as normativas ambientais mais recentes.

No monitoramento realizado na Herculano, é adotada a estrutura para o Índice da Qualidade do Ar - IQAr definida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), conforme tabela a seguir:

Parâmetro	Qualidade do Ar				
	Boa	Moderada	Ruim	Muito Ruim	Péssima
Índice IQAr (adimensional)	0 - 40	> 40 - 80	> 80 - 120	> 120 - 200	> 200
PM10 (µg/m³)	0 - 50	> 50 - 100	> 100 - 150	> 150 - 250	> 250
PM2,5 (µg/m³)	0 - 25	> 25 - 50	> 50 - 75	> 75 - 125	> 125
NO ₂ (µg/m³)	0 - 200	> 200 - 240	> 240 - 320	> 320 - 1.130	> 1.130
SO ₂ (µg/m³)	0 - 20	> 20 - 40	> 40 - 365	> 365 - 800	> 800
O ₃ (µg/m³)	0 - 100	> 100 - 130	> 130 - 160	> 160 - 200	> 200 - 800
CO (ppm)	0 - 9	> 9 - 11	> 11 - 13	> 13 - 15	> 15
Fonte: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)					
⁽¹⁾ A CETESB não contemplou os parâmetros PTS, Pb e Fumaça na estrutura do IQAr.					

A Resolução 506/24 considerando como referência os valores do guia de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2021, bem como seus critérios de implementação, resolve:

Art. 1º Esta Resolução estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação, visando à proteção da saúde e do meio ambiente.

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

(...)

VI - Material Particulado MP10: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 µm (dez micrômetros);

VII - Material Particulado MP2,5: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 µm (dois micrômetros e cinco décimos de micrômetro);

VIII - Partículas Totais em Suspensão - PTS: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 50 µm (cinquenta micrômetros); (...).

A Legislação estadual, atualmente em vigor no estado de Minas Gerais, é a Deliberação Normativa nº 248 de 23 de novembro 2023, definida pelo Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM, que estabelece diretrizes e padrões de qualidade do ar aplicáveis no âmbito do território do estado de Minas Gerais.

Há ainda em âmbito estadual a Deliberação Normativa COPAM 216, de 27 de outubro de 2017, que dispõe sobre as exigências para laboratórios que emitem relatórios de ensaios ou certificados de calibração referentes a medições ambientais. Essa Deliberação determina que para serem considerados válidos, para fins de medições ambientais, os relatórios de ensaios e certificados de calibração emitidos por laboratórios que comprovem atendimento a, pelo menos um dos requisitos a seguir:

Art. 3º São considerados válidos, para fins de medições ambientais, os relatórios de ensaios e certificados de calibração emitidos por laboratórios que comprovem atendimento a, pelo menos, um dos requisitos a seguir:

I - ser acreditado, para os ensaios e calibrações realizadas, nos termos da NBR ISO/IEC 17025, junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO ou junto a organismo que mantenha reconhecimento mútuo com o INMETRO.

II - ter reconhecimento de competência, para os ensaios e calibrações realizadas, junto à Rede Metrológica de âmbito estadual integrante do Fórum de Redes Estaduais e que disponha de um sistema de reconhecimento da competência de laboratórios com base nos requisitos da Norma NBR ISO/IEC 17025.

6.1.2.3 LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE MEDIÇÃO

O ponto de medição foi definido no limite do condomínio mais próximo ao limite da área da Herculano, estando localizado no condomínio Villa Bella. Precisamente, na laje do ambiente edificado situado entre as quadras do Clube do Condomínio Villa Bella, na Alameda Pico do Itabirito.

O ponto de medição é denominado “P01- Condomínio Villa Bella”:



Fonte: Ecoar, 2025.

Figura 168 - Ponto de medição com os instrumentos para medições de partículas atmosféricas.

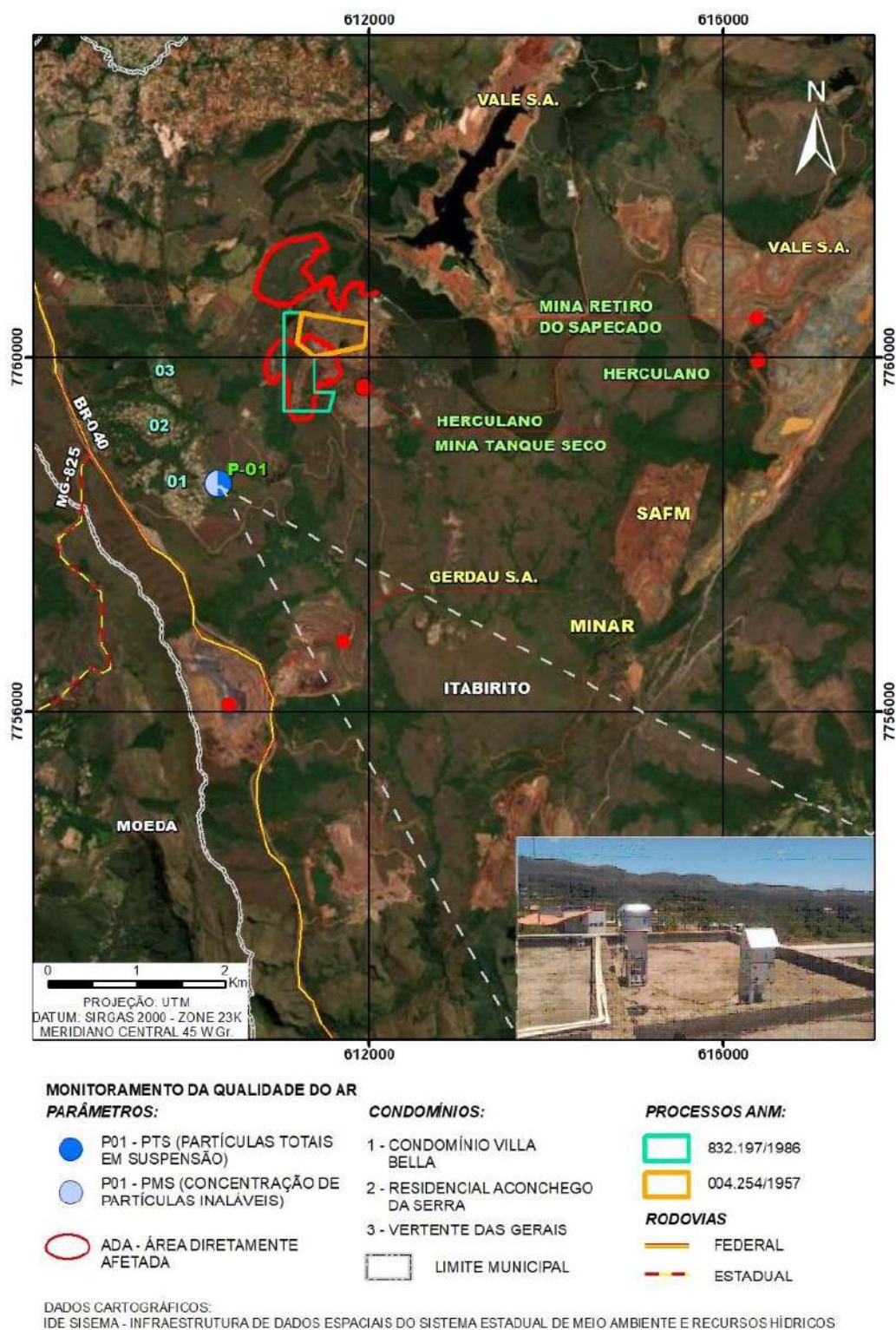


Figura 169 – Localização do Ponto de medição com os instrumentos para medições de partículas atmosféricas.

- **Periodicidade das medições**

As amostragens são realizadas semestralmente, com coleta de dados durante 7 dias consecutivos.

- **Método de coleta de amostra do ar**

As coletas de amostras de ar para detecção de PM₁₀ e PTS são realizadas pelo método do amostrador de grande volume de acordo com as normas ABNT NBR 13412:1995 e 9547:1997 (respectivamente) e manual de instrução do(s) fabricante(s).

Em síntese, para ambos os parâmetros os filtros são examinados quanto a imperfeições (como furos e partículas) e são pesados antes de serem acoplados nos amostradores.

Os respectivos amostradores aspiram o ar ambiente fazendo com que o ar passe através do filtro, onde as partículas ficam retidas.

Após a amostragem de períodos de 24h para fins de comparação com o padrão legal, os filtros são removidos manualmente dos amostradores e levados a laboratório para realizar o método gravimétrico, ou seja, são realizados novamente as medições das massas dos filtros.

Assim, a concentração de massa do material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) é calculada pela relação entre a massa (g) do material coletado e o volume de ar (m^3) que passou pelo amostrador.

6.1.2.4 DIAGNÓSTICOS DA QUALIDADE DO AR

Os diagnósticos da qualidade do ar aqui apresentados equivalem aos resultados dos monitoramentos realizados ao longo das atividades licenciadas pelo Processo Administrativo 00340/1995/017/2017, certificado de LO nº 078/2017.

Desde dezembro de 2018 o monitoramento semestral é realizado pela empresa Ecoar Monitoramento Ambiental Ltda., CNPJ 05.770.537/0001-54.

Os diagnósticos quanto ao PM₁₀ e PTS são apresentados nas tabelas e gráficos seguintes.

Tabela 45 - Concentrações de Material Particulado PM₁₀ (µg/m³) no ponto P-01 Condomínio Villa Bella.

Data	Concentração medida do poluente (µg/m³)	IQAr (µg/m³)	Etapa	Legislação - Vigência
11/06/2018			padrão primário e secundário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
28/08/2018			padrão primário e secundário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
30/10/2018	19	19	padrão primário e secundário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
31/10/2018	30	30	padrão primário e secundário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
01/11/2018	15	15	padrão primário e secundário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
02/11/2018	20	20	padrão primário e secundário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
03/11/2018	19	19	padrão primário e secundário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
04/11/2018	21	21	padrão primário e secundário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
05/11/2018	18	18	padrão primário e secundário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
10/12/2018			primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
10/06/2019			primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
18/11/2019	16	12	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
19/11/2019	20	16	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
20/11/2019	15	12	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
21/11/2019	9	7	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
22/11/2019	16	13	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
23/11/2019	13	10	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
24/11/2019	18	14	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
11/05/2020	33	33	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
12/05/2020	28	28	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
13/05/2020	20	20	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
14/05/2020	13	13	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
15/05/2020	9	9	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
16/05/2020	9	9	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
17/05/2020	14	14	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
26/10/2020	25	20	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
27/10/2020	13	10	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
28/10/2020	7	6	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
29/10/2020	19	15	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
30/10/2020	9	7	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
31/10/2020	21	17	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
01/11/2020	27	22	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
10/05/2021	18		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
11/05/2021	45		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
12/05/2021	43		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
13/05/2021	23		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
14/05/2021	28		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024

Tabela 45 - Concentrações de Material Particulado PM₁₀ (µg/m³) no ponto P-01 Condomínio Villa Bella.

Data	Concentração medida do poluente (µg/m³)	IQAr (µg/m³)	Etapa	Legislação - Vigência
15/05/2021	28		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
16/05/2021	10		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
02/11/2021	11		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
03/11/2021	39		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
04/11/2021	34		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
05/11/2021	47		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
06/11/2021	25		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
07/11/2021	26		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
08/11/2021	23		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
16/05/2022	8		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
17/05/2022	16		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
18/05/2022	18		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
19/05/2022	23		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
20/05/2022	35		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
21/05/2022	33		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
22/05/2022	32		primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
23/11/2022	17	14	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
24/11/2022	19	15	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
25/11/2022	10	8	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
26/11/2022	8	6	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
27/11/2022	14	11	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
28/11/2022	11	9	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
29/11/2022	8	6	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
11/04/2023	21	17	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
12/04/2023	21	17	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
13/04/2023	20	16	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
14/04/2023	8	6	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
15/04/2023	5	4	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
16/04/2023	11	9	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
17/04/2023	15	12	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
17/07/2023	40	32	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
18/07/2023	44	35	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
19/07/2023	15	12	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
20/07/2023	17	14	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
21/07/2023	23	19	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
22/07/2023	31	25	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
23/07/2023	34	27	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024

Tabela 45 - Concentrações de Material Particulado PM₁₀ (µg/m³) no ponto P-01 Condomínio Villa Bella.

Data	Concentração medida do poluente (µg/m³)	IQAr (µg/m³)	Etapa	Legislação - Vigência
02/01/2024	6	4	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
03/01/2024	7	6	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
04/01/2024	7	6	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
05/01/2024	25	20	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
06/01/2024	25	20	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
07/01/2024	14	11	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
08/01/2024	14	12	primeira etapa PI -1	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
22/04/2024	28	22	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
23/04/2024	29	24	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
24/04/2024	34	27	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
25/04/2024	29	24	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
26/04/2024	18	15	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
27/04/2024	19	15	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
28/04/2024	23	18	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
15/07/2024	14	12	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
16/07/2024	30	24	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
17/07/2024	41	32	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
18/07/2024	47	37	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
19/07/2024	40	32	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
20/07/2024	49	39	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
21/07/2024	35	28	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
14/10/2024	20	16	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
15/10/2024	27	21	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
16/10/2024	25	20	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
17/10/2024	40	32	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
18/10/2024	17	14	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
19/10/2024	9	7	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
20/10/2024	3	2	primeira etapa PI -1	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
20/01/2025	22	18	segunda etapa PI-2	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
21/01/2025	29	23	segunda etapa PI-2	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
22/01/2025	14	11	segunda etapa PI-2	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
23/01/2025	21	17	segunda etapa PI-2	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
24/01/2025	17	14	segunda etapa PI-2	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
25/01/2025	6	5	segunda etapa PI-2	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
26/01/2025	35	28	segunda etapa PI-2	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024

Fonte: Ecoar, 2025.

Tabela 46 - Concentrações de Partículas Totais em Suspensão - PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no ponto P-01 Condomínio Villa Bella.

Data	Concentração medida do poluente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	IQAr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Etapas	Legislação - Vigência
11/06/2018			padrão primário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
28/08/2018			padrão primário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
30/10/2018	27	17	padrão primário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
31/10/2018	53	33	padrão primário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
01/11/2018	21	13	padrão primário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
02/11/2018	29	18	padrão primário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
03/11/2018	33	20	padrão primário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
04/11/2018	45	28	padrão primário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
05/11/2018	39	24	padrão primário	Res. CONAMA 03 - 22/08/1990 a 21/11/2018
10/12/2018			final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
10/06/2019			final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
18/11/2019	19		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
19/11/2019	36		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
20/11/2019	22		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
21/11/2019	25		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
22/11/2019	24		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
23/11/2019	18		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
24/11/2019	33		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
11/05/2020	63	11	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
12/05/2020	35	6	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
13/05/2020	36	6	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
14/05/2020	24	4	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
15/05/2020	32	5	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
16/05/2020	19	3	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
17/05/2020	27	4	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
26/10/2020	34	6	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
27/10/2020	17	3	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
28/10/2020	12	2	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
29/10/2020	33	5	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
30/10/2020	17	3	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
31/10/2020	27	4	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
01/11/2020	45	7	final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
10/05/2021	30		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
11/05/2021	54		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
12/05/2021	58		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
13/05/2021	35		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
14/05/2021	42		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024

Tabela 46 - Concentrações de Partículas Totais em Suspensão - PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no ponto P-01 Condomínio Villa Bella.

Data	Concentração medida do poluente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	IQAr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Etapas	Legislação - Vigência
15/05/2021	39		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
16/05/2021	19		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
02/11/2021	20		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
03/11/2021	45		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
04/11/2021	42		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
05/11/2021	54		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
06/11/2021	31		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
07/11/2021	35		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
08/11/2021	35		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
16/05/2022	13		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
17/05/2022	23		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
18/05/2022	26		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
19/05/2022	29		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
20/05/2022	39		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
21/05/2022	34		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
22/05/2022	38		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
23/11/2022	37		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
24/11/2022	67		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
25/11/2022	26		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
26/11/2022	18		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
27/11/2022	31		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
28/11/2022	30		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
29/11/2022	14		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
11/04/2023	41		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
12/04/2023	40		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
13/04/2023	41		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
14/04/2023	18		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
15/04/2023	10		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
16/04/2023	23		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
17/04/2023	30		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
17/07/2023	66		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
18/07/2023	116		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
19/07/2023	40		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
20/07/2023	32		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
21/07/2023	34		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
22/07/2023	100		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
23/07/2023	53		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024

Tabela 46 - Concentrações de Partículas Totais em Suspensão - PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no ponto P-01 Condomínio Villa Bella.

Data	Concentração medida do poluente ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	IQAr ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Etapas	Legislação - Vigência
02/01/2024	12		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
03/01/2024	7		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
04/01/2024	16		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
05/01/2024	48		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
06/01/2024	41		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
07/01/2024	30		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
08/01/2024	25		final	Res. CONAMA 491/2018 - 21/11/2018 a 05/01/2024
22/04/2024	46		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
23/04/2024	39		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
24/04/2024	55		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
25/04/2024	55		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
26/04/2024	39		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
27/04/2024	37		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
28/04/2024	43		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
15/07/2024	70		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
16/07/2024	60		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
17/07/2024	78		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
18/07/2024	110		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
19/07/2024	71		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
20/07/2024	95		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
21/07/2024	70		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
14/10/2024	41		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
15/10/2024	52		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
16/10/2024	48		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
17/10/2024	62		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
18/10/2024	41		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
19/10/2024	13		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
20/10/2024	16		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
20/01/2025	32		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
21/01/2025	52		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
22/01/2025	34		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
23/01/2025	24		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
24/01/2025	35		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
25/01/2025	19		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024
26/01/2025	36		final	DN COPAM 248/2023 - Res. CONAMA 506/2024

Fonte: Ecoar, 2025.

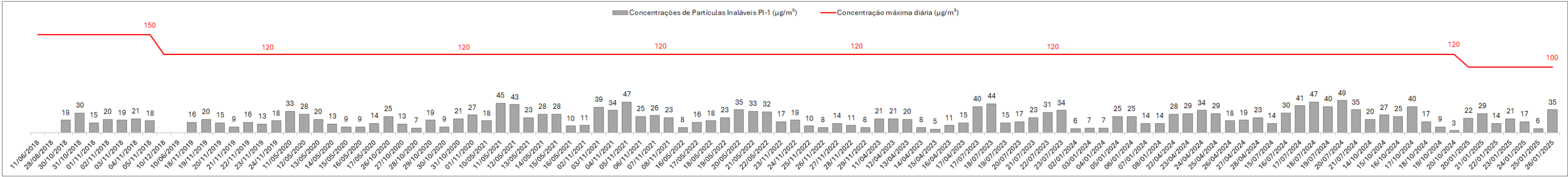


Gráfico 1 - Concentrações de Material Particulado MP₁₀ (Partículas Inaláveis PI-1) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no ponto P-01 Condomínio Villa Bella.

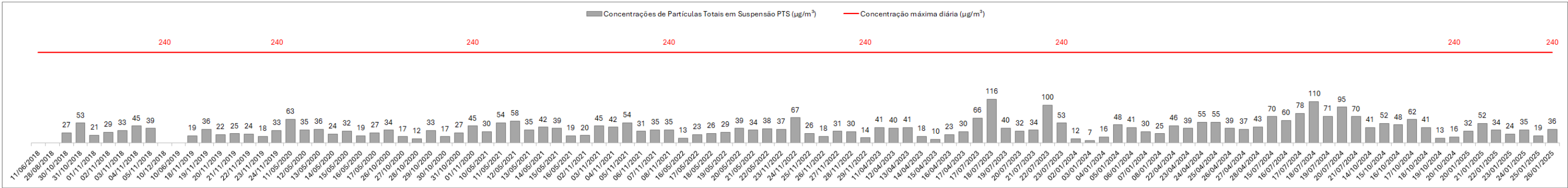


Gráfico 2 - Concentrações de Partículas Totais em Suspensão PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) no ponto P-01 Condomínio Villa Bella.

6.1.2.5 RESULTADO DA QUALIDADE DO AR

No período do monitoramento já realizado as concentrações mássicas de PM₁₀ e de PTS detectadas no P-01 Condomínio Villa Bella mantiveram-se abaixo do limite máximo permitido pela legislação ambiental.

No período monitorado o limite máximo para ambos parâmetros foram alterados com as atualizações da legislação e houveram mudanças da etapa Padrão Intermediário (para PM₁₀) e Padrão Final (para PTS). Apesar disso, os resultados dos monitoramentos têm conformidades com a exigência legal.

A concentração média diária de PM₁₀ foi abaixo de 50 µg/m³, portanto, o IQAr é “boa” e não são atribuídos efeitos adversos à saúde humana.

6.1.2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do monitoramento indicam que as concentrações de Partículas Inaláveis (PM₁₀) e Partículas Totais em Suspensão (PTS) estão em níveis que asseguram a qualidade do ar na área monitorada. Tais valores são condizentes com ambientes considerados saudáveis para a população, fauna e flora, além de protegerem materiais e serem propícios para as atividades comunitárias.

Para manter e aprimorar esses resultados, é fundamental a implementação e a continuidade de programas de controle e monitoramento, conforme detalhado abaixo:

- Programa de Manutenção Veicular: Este programa visa a redução de emissões de poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis em máquinas e equipamentos. Por meio de manutenções preventivas e corretivas, minimizando a liberação de gases e material particulado na Área Diretamente Afetada (ADA).
- Programa para Desmonte de Rochas Controlado: Essencial para mitigar a emissão de poeira e vibrações. Este programa define procedimentos e técnicas para o desmonte, como o planejamento adequado das detonações, garantindo que as atividades de lavra ocorram com o mínimo impacto ambiental.
- Programa de Controle das Emissões Atmosféricas: Aborda de forma abrangente as fontes de emissão, garantindo o cumprimento dos padrões de qualidade do ar. Inclui o controle de emissões fugitivas, como a poeira gerada em vias não pavimentadas e pilhas de estocagem, por meio de ações como

umidificação e revegetação.

- Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar: Através da coleta e análise de dados de poluentes, como PM_{10} e PTS, este programa fornece informações essenciais para a tomada de decisão, ajuste de estratégias e verificação da eficácia das medidas de controle.

O monitoramento contínuo permite avaliar e quantificar a emissão de poluentes, como o material particulado, garantindo que a empresa opere dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Essa prática também fornece dados cruciais para a tomada de decisões, permitindo que o empreendimento identifique as fontes de emissão, implemente medidas de controle mais eficazes e avalie o sucesso dessas ações.

Mais do que isso, o monitoramento da qualidade do ar é um ato de transparência. Ao apresentar dados claros e precisos, a Herculano Mineração demonstra seu compromisso com a responsabilidade ambiental e com a comunidade de Itabirito, promovendo a confiança e o diálogo entre a empresa, os órgãos ambientais e a população local.

6.1.3 Ruído Ambiental

O diagnóstico de ruído é uma ferramenta técnica que permite a quantificação dos níveis de pressão sonora em pontos estratégicos de uma área de estudo. Seu objetivo principal é avaliar a interferência acústica gerada pela operação do empreendimento, permitindo determinar a magnitude das emissões sonoras provenientes de suas atividades.

A propagação das ondas sonoras no meio ambiente é um processo complexo, influenciado por fatores como a distância, barreiras físicas e condições atmosféricas. Dessa forma, o monitoramento contínuo dos níveis de ruído é essencial. Os dados obtidos subsidiam a análise técnica e a proposição de medidas de controle e mitigação, visando reduzir os impactos em receptores sensíveis e garantir a conformidade com os limites regulatórios de emissão.

A ampliação das atividades da Herculano Mineração pode alterar o cenário acústico na Área Diretamente Afetada (ADA), nas vias de acesso e em receptores isolados nas proximidades do projeto.

As principais fontes de emissão de ruído estão diretamente associadas às atividades operacionais, incluindo:

- Logística: Transporte de materiais e pessoal.
- Operações em Mina: Movimentação e operação de máquinas e equipamentos, corte e terraplanagem.
- Lavra: Desmonte de rochas, seja por decapeamento mecânico ou uso de explosivos.
- Disposição de Rejeitos: Atividades de disposição de estéril e rejeitos.

É importante notar que os impactos de ruído gerados pela Herculano Mineração incidem sobre um ambiente já com elevado ruído de fundo. Esse contexto pré-existente serve como um fator atenuante para os impactos adicionais do empreendimento. O acréscimo de ruído em uma área com altos níveis de ruído de fundo tende a gerar um impacto perceptivo significativamente menor do que o mesmo incremento em uma área com baixo ruído de fundo. Essa característica do ambiente local é crucial para a avaliação da magnitude dos impactos e a percepção de incômodo por parte da população.

6.1.3.1 RUÍDO AMBIENTAL

A legislação brasileira para emissão de ruídos é regida pela Resolução CONAMA nº 001/1990, que estabelece critérios e padrões para atividades industriais, comerciais, sociais e recreativas em todo o território nacional.

Inicialmente, a resolução indicava a ABNT NBR 10151:2000 como a norma de referência para medição e avaliação do ruído. No entanto, em março de 2020, a ABNT NBR 10151:2019 (com sua versão corrigida de 2020) cancelou e substituiu a norma anterior. Esta versão então se tornou a referência técnica para medição e avaliação de níveis de pressão sonora.

A norma atual define os procedimentos técnicos para a realização de medições em ambientes internos e externos. Além disso, ela estabelece limites e critérios de aceitabilidade dos resultados com base no uso e ocupação do solo, visando o conforto da comunidade.

As medições de níveis de ruídos são realizadas para:

- Verificar a conformidade dos níveis de ruído ambiental com os limites

estabelecidos pela norma ABNT NBR 10151:2019;

- Proteger a saúde e o bem-estar da população;
- Fornecer subsídios técnicos para ações de controle e gestão ambiental.

Quadro 8 - Principais máquinas e equipamentos utilizados na Herculano.

Alimentador de correia Alimentador vibratório Balança eletrônica Bomba de vácuo Bomba para água Bomba para polpa Britador cônico Britador de mandíbulas Caminhão basculante Caminhão de abastecimento / lubrificação Caminhão tanque (pipão / pipa) Carregadeira sobre pneus Cone	Escavadeira Espessador Espiral concentradora Filtro Hidrociclone Moto niveladora Ônibus Peneira vibratória Retro-escavadeira sobre pneus Rolo compactador Separador magnético Trator de esteiras Trommel Veículos leves
---	--

Fonte: Relatório Anual de Lavra da Herculano Mineração Ltda. do ano base 2024.

• Condições acústicas no entorno do empreendimento

A propagação e a percepção do ruído gerado por máquinas e equipamentos na área externa ao empreendimento da Herculano Mineração são influenciadas por diversas condições acústicas que atuam como barreiras. Tais elementos podem dissipar, absorver ou desviar a energia sonora.

Os principais fatores que afetam a propagação do som na região são:

- Formações vegetais: A presença de vegetação nativa e plantações de eucalipto contribui para a atenuação do ruído por meio de absorção e dispersão.
- Topografia: As características do relevo com declividades e a presença de áreas de solo exposto influenciam na dispersão sonora.
- Hidrografia: Cursos d'água pertencentes à bacia do Rio das Velhas também podem atuar na atenuação do ruído.
- Infraestrutura e ocupação do solo: Estradas municipais não pavimentadas e a existência de outros empreendimentos minerários na região alteram o cenário acústico, contribuindo tanto para a emissão quanto para a atenuação do ruído.

• Área rural e área urbana

A área circundante ao empreendimento da Herculano Mineração, conforme dados do IDE-SISEMA (2025), é predominantemente rural. Não há registro de

aglomerados rurais, assentamentos, vilas, trilhas turísticas ou bens tombados nas proximidades imediatas. A ocupação do solo se caracteriza por loteamentos sem edificações e áreas sob concessão de outros empreendimentos minerários.

As áreas urbanizadas próximas são os condomínios Villa Bella, Aconchego da Serra e Vertentes das Gerais. De acordo com o mesmo sistema de informações ambientais (IDE-SISEMA (2025)), essas localidades são classificadas como pouco densas.

6.1.3.2 LOCAL RECEPTOR E PONTO DE MEDIÇÃO

Com finalidade de descrever o diagnóstico dos níveis de ruídos antes do início das obras de ampliação do empreendimento, será citado neste estudo o monitoramento de ruído realizado ao longo da operação da Herculano.

O ponto de medição situa-se no condomínio Villa Bella. O ponto de medição foi definido no limite do condomínio mais próximo ao limite da área da Herculano. Precisamente, na última rotatória da alameda Pico do Itabirito, ao lado do Clube do Condomínio Villa Bella.

P-01 - Condomínio Villa Bella	
	Coordenadas Geográficas
	Latitude -20.267342°
	Longitude -43.943846°
	Datum WGS 84
	Tipo de área habitada, conforme ABNT NBR 10151:2019
	Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas

Figura 170 - Ponto de medição com os instrumentos para medições de níveis de ruído.
Fonte: Ecoar, 2025.

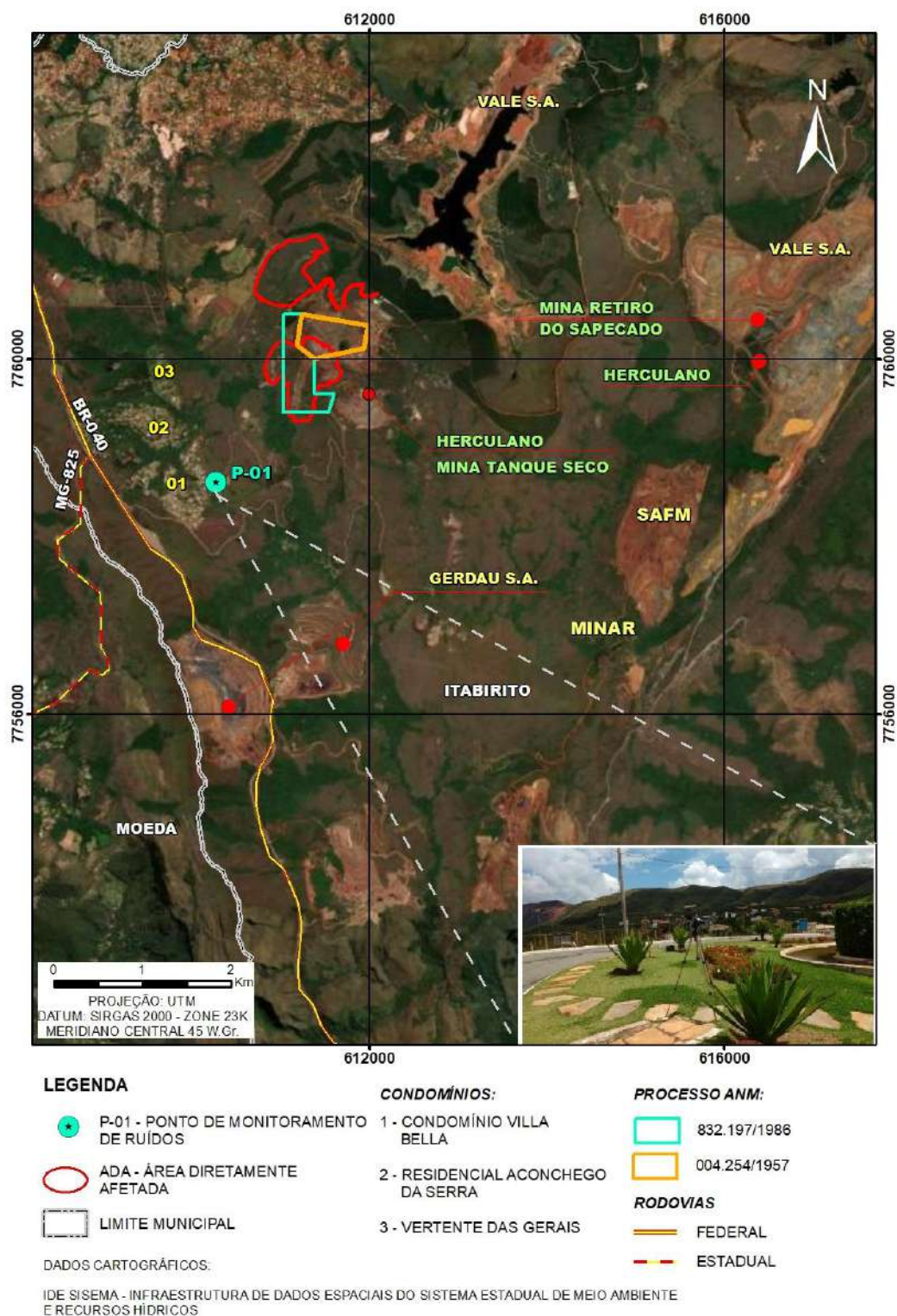


Figura 171 – Localização do Ponto de medição com os instrumentos para medições de ruídos.

• Limites de Níveis Sonoros

Considerando o local receptor uma área residencial urbana, o limite de nível sonoro durante o período diurno não deve exceder 50 dB e no período noturno não

deve exceder 45 dB (NBR 10151:2019 – Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas).

- **Medições**

As medições dos níveis de pressão sonora (ruído) foram realizadas em um ponto próximo às operações da Herculano Mineração, por sete dias consecutivos. O objetivo foi medir os níveis de pressão sonora nas áreas potencialmente afetadas e compará-los com os limites legais. As medições foram feitas tanto de dia quanto de noite, em um período de tempo que permitiu caracterizar as fontes de ruído.

Para garantir a precisão das medições de ruído, foram tomadas diversas precauções. O microfone foi protegido do vento e sua velocidade foi monitorada com um anemômetro. Sons alheios à operação da mineradora, como trânsito e outros ruídos externos, foram identificados e removidos da análise.

Também foram realizados testes para determinar o nível de ruído ambiental, medindo o som em momentos nos quais as atividades da empresa estavam ausentes.

Por fim, os dados foram analisados para verificar se os sons produzidos pela Herculano Mineração tinham características tonais ou impulsivas, seguindo as diretrizes da norma ABNT NBR 10151:2019.

- **Equipamentos**

Foi utilizado o medidor de pressão sonora (Medidor de Ruído Fusion / Solo), calibrador (calibrador acústico) e software (Software *dBTrait*).

- **Ajuste do sonômetro**

O ajuste do sonômetro foi realizado por empresa contratada pela Herculano e na condição de laboratório acreditado (membro da Rede Brasileira de Calibração – RBC) e conforme a edição da ABNT NBR IEC declarada pelo fabricante.

No caso das séries de medições realizadas pela Ecoar Monitoramento Ambiental Ltda. para a Herculano, o sonômetro foi calibrado para operação em campo livre. O sonômetro e calibrador acústico atenderam às normas ABNT NBR IEC 61672 e 60942, respectivamente, sendo ambos classe 1 e com certificado de calibração.

O medidor de pressão sonora foi ajustado antes e verificado após uma série de medições, com o calibrador acústico, para que fossem detectados possíveis desvios no medidor que possam comprometer a confiabilidade dos resultados. Com isso foram registradas as datas, desvio (dB) e tolerância (dB).

6.1.3.3 DIAGNÓSTICO DE NÍVEIS DE RUÍDOS

O diagnóstico dos níveis de ruído equivale aos resultados dos monitoramentos realizados ao longo das atividades licenciadas pelo Processo Administrativo 00340/1995/017/2017, certificado de LO nº 078/2017.

Desde dezembro de 2018 o monitoramento semestral é realizado pela empresa Ecoar Monitoramento Ambiental Ltda., CNPJ 05.770.537/0001-54.

O diagnóstico é apresentado na tabela e gráficos seguintes.

Tabela 47 - Resultados dos monitoramentos diurnos e noturnos de ruídos provenientes do ambiente e do empreendimento no período de 29/10/2018 a 26/01/2025.

Data	Ruído ambiente diurno monitorado (dB)	Ruído do empreendimento diurno monitorado (dB)	Ruído ambiente noturno monitorado (dB)	Ruído do empreendimento noturno monitorado (dB)
29/10/2018	37,0	30,0	38,0	31,0
30/10/2018	36,0	29,0	37,0	35,0
31/10/2018	44,0	37,0	40,0	45,0
01/11/2018	44,0	37,0	40,0	33,0
02/11/2018	47,0	40,0	42,0	35,0
03/11/2018	42,0	35,0	39,0	45,0
04/11/2018	40,0	33,0	48,0	41,0
18/11/2019	44,0	44,0	40,0	40,0
19/11/2019	43,0	43,0	41,0	41,0
20/11/2019	42,0	42,0	40,0	40,0
21/11/2019	42,0	42,0	38,0	38,0
22/11/2019	38,0	38,0	40,0	40,0
23/11/2019	43,0	43,0	45,0	45,0
24/11/2019	39,0	39,0	35,0	35,0
11/05/2020	47,0	47,0	40,0	40,0
12/05/2020	43,0	43,0	44,0	44,0
13/05/2020	49,0	49,0	40,0	40,0
14/05/2020	44,0	44,0	41,0	41,0
15/05/2020	46,0	46,0	36,0	36,0
16/05/2020	40,0	40,0	36,0	36,0
17/05/2020	39,0	39,0	36,0	36,0
26/10/2020	44,0	44,0	47,0	47,0
27/10/2020	43,0	43,0	48,0	48,0
28/10/2020	44,0	45,0	44,0	44,0
29/10/2020	45,0	45,0	43,0	43,0

Data	Ruído ambiente diurno monitorado (dB)	Ruído do empreendimento diurno monitorado (dB)	Ruído ambiente noturno monitorado (dB)	Ruído do empreendimento noturno monitorado (dB)
30/10/2020	41,0	41,0	45,0	45,0
31/10/2020	46,0	46,0	43,0	42,0
01/11/2020	46,0	46,0	45,0	45,0
10/05/2021	42,0	42,0	41,0	41,0
11/05/2021	43,0	43,0	43,0	43,0
12/05/2021	44,0	44,0	42,0	42,0
13/05/2021	45,0	45,0	43,0	43,0
14/05/2021	38,0	38,0	40,0	40,0
15/05/2021	41,0	41,0	38,0	38,0
16/05/2021	41,0	41,0	39,0	39,0
02/11/2021	42,0	42,0	40,0	40,0
03/11/2021	41,0	41,0	40,0	40,0
04/11/2021	48,0	48,0	41,0	41,0
05/11/2021	44,0	44,0	41,0	41,0
06/11/2021	35,0	35,0	38,0	38,0
07/11/2021	37,0	37,0	38,0	38,0
08/11/2021	42,0	42,0	39,0	39,0
16/05/2022	45,0	45,0	42,0	42,0
17/05/2022	43,0	43,0	44,0	44,0
18/05/2022	50,0	50,0	39,0	39,0
19/05/2022	42,0	42,0	40,0	41,0
20/05/2022	49,0	49,0	43,0	43,0
21/05/2022	48,0	48,0	41,0	41,0
22/05/2022	42,0	42,0	40,0	40,0
23/11/2022	43,0	43,0	39,6	39,6
24/11/2022	46,6	46,6	42,6	42,6
25/11/2022	45,0	45,0	43,1	43,1
26/11/2022	41,7	41,7	39,4	39,4
27/11/2022	39,7	39,7	43,0	43,0
28/11/2022	39,7	39,4	40,3	40,3
29/11/2022	45,3	45,3	34,8	34,8
11/04/2023	37,6	37,6	35,3	35,3
12/04/2023	36,4	36,4	39,2	39,2
13/04/2023	36,6	36,6	44,3	44,3
14/04/2023	30,7	30,7	33,9	33,9
15/04/2023	36,5	36,5	31,4	31,4
16/04/2023	39,6	39,6	30,7	30,7
17/04/2023	32,4	32,4	33,8	33,8
17/07/2023	42,0	42,0	40,8	40,8
18/07/2023	40,1	40,1	39,6	39,6
19/07/2023	40,5	40,5	42,4	42,4
20/07/2023	41,2	41,2	40,4	40,4
21/07/2023	38,2	38,2	39,1	39,1
22/07/2023	37,8	37,8	38,7	38,7
23/07/2023	36,6	36,6	37,3	37,3
02/01/2024	39,6	39,6	36,8	36,8
03/01/2024	38,3	38,3	38,6	38,6
04/01/2024	38,6	38,6	38,7	38,7

Data	Ruído ambiente diurno monitorado (dB)	Ruído do empreendimento diurno monitorado (dB)	Ruído ambiente noturno monitorado (dB)	Ruído do empreendimento noturno monitorado (dB)
05/01/2024	38,3	38,3	38,8	38,8
06/01/2024	40,1	40,1	37,9	37,9
07/01/2024	39,2	39,2	38,0	38,0
08/01/2024	40,0	40,0	39,2	39,2
22/04/2024	40,9	40,9	37,9	37,9
23/04/2024	44,2	44,2	43,2	43,2
24/04/2024	43,2	43,2	39,4	39,4
25/04/2024	40,6	40,6	41,4	41,4
26/04/2024	35,9	35,9	38,0	38,0
27/04/2024	40,3	40,3	38,5	38,5
28/04/2024	39,7	39,7	38,5	38,5
15/07/2024	38,3	38,3	36,3	37,5
16/07/2024	39,7	39,7	39,3	40,3
17/07/2024	38,5	38,5	36,6	38,1
18/07/2024	41,2	41,2	39,1	39,1
19/07/2024	40,5	40,5	38,9	38,9
20/07/2024	39,9	39,9	39,8	39,8
21/07/2024	39,8	39,8	38,7	42,1
14/10/2024	44,0	44,0	42,6	42,6
15/10/2024	47,3	47,3	41,4	41,4
16/10/2024	43,0	43,0	40,6	40,6
17/10/2024	45,3	45,3	42,0	42,0
18/10/2024	47,2	47,2	43,2	43,2
19/10/2024	36,7	36,7	41,9	41,9
20/10/2024	43,0	43,0	38,9	38,9
20/01/2025	44,9		33,9	
21/01/2025	40,9		31,8	
22/01/2025	42,5		37,9	
23/01/2025	38,6		35,4	
24/01/2025	39,9		38,6	
25/01/2025	39,5		38,4	
26/01/2025	44,9		36,7	

Fonte: Relatórios técnicos de monitoramentos dos níveis de pressão sonora emitidos pela Ecoar Monitoramento Ambiental Ltda. à Herculano Mineração Ltda.

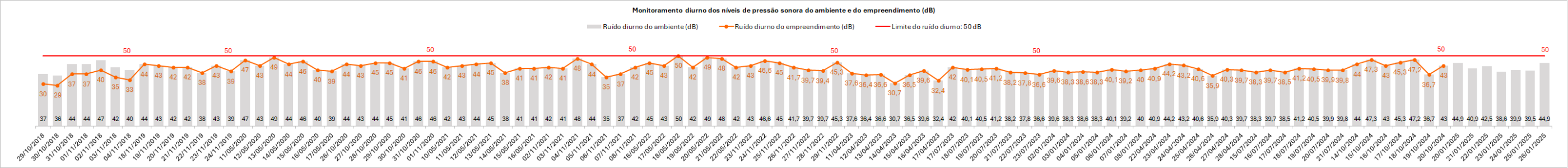


Gráfico 3 - Monitoramento diurno dos níveis de pressão sonora do ambiente e do empreendimento.

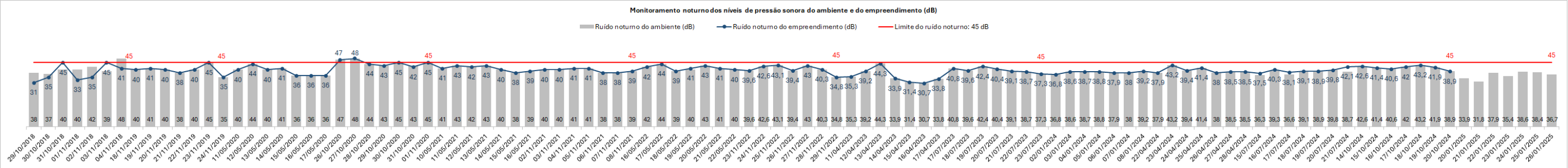


Gráfico 4 - Monitoramento noturno dos níveis de pressão sonora do ambiente e do empreendimento.

6.1.3.4 RESULTADOS DOS NÍVEIS DE RUÍDO

No período do monitoramento houveram inconformidades com a norma ABNT NBR 10151/2019 em apenas três datas no período noturno, a citar:

- Em 04/11/2018 houve excesso de 3 dB quanto ao ruído ambiente;
- Em 26/10/2020 houve excesso de 2 dB quanto ao ruído ambiente e Herculano;
- Em 27/10/2020 houve excesso de 3 dB quanto ao ruído ambiente e Herculano.

Em janeiro de 2025 não foi captado pelo medidor de pressão sonora nenhum tipo de ruído proveniente do empreendimento, ou seja, não houve influência da Herculano para os níveis de ruído no condomínio (valores de som residual).

ANEXO C - CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES SONORAS

Ponto	FONTES SONORAS PERCEBIDAS			
	EVENTOS EXTERNOS		EVENTOS DA FONTE MONITORADA	
	PERÍODO DIURNO	PERÍODO NOTURNO	PERÍODO DIURNO	PERÍODO NOTURNO
P-01 – Condomínio Villa Bella	Trânsito de veículos no entrono do condomínio, pessoas conversando, pássaros, cães e avião.	Trânsito de veículos no entrono do condomínio, pessoas conversando, pássaros, cães.	Nenhum evento percebido.	Ruído pouco perceptível de máquinas em operação na Mineração

Figura 172 – Caracterização das Fontes Sonoras (ruídos) verificadas na área do monitoramento na Herculano Mineração e apresentadas no Anexo do relatório da ECOAR de janeiro de 2025.

Em suma:

- No monitoramento do período diurno os 210 resultados das medições de ruído proveniente do ambiente e da empresa apresentaram igual número de resultados dentro do padrão.
- No monitoramento do período noturno os 105 resultados das medições de ruído proveniente do ambiente apresentaram 102 resultados dentro do padrão e 03 inconformidades.
- No monitoramento do período noturno os 105 resultados das medições de ruído proveniente da empresa apresentaram 103 resultados dentro do padrão, 02 inconformidades e 06 resultados em

que o medidor não captou nenhum ruído.

6.1.3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O diagnóstico dos níveis de ruído demonstra não haver contribuição significativa da atividade da Herculano para os níveis de pressão sonora no condomínio Villa Bella, caracterizando a situação como ambientalmente aceitável e em conformidade com a norma vigente.

O monitoramento de ruído é essencial para garantir a conformidade com as normas legais e proteger a qualidade de vida da comunidade em Itabirito.

O monitoramento contínuo dos níveis de pressão sonora permite ao empreendimento identificar e quantificar a emissão de ruído de suas operações. E, com base nos dados coletados, é possível implementar medidas de controle eficazes, como a manutenção de equipamentos, o uso de barreiras acústicas e a adoção de práticas operacionais que minimizem o impacto sonoro.

Além disso, a transparência na divulgação desses dados fortalece a relação entre a mineradora e a população local. Assim, o monitoramento de ruído se torna uma ferramenta de responsabilidade social e ambiental, contribuindo para uma coexistência mais harmônica entre a atividade industrial e o bem-estar da comunidade.

Para manter e aprimorar esses resultados a Herculano Mineração se compromete a manter e expandir programas técnicos de controle e monitoramento. Essas iniciativas são essenciais para uma operação sustentável e responsável, focada na minimização de impactos. Assim, cita-se a importância dos seguintes programas:

- Programa para Desenvolvimento Racional da Lavra: Este programa busca otimizar o planejamento e a execução da lavra, ou seja, a extração do minério. O objetivo é garantir que a operação seja a mais eficiente possível, reduzindo o desperdício de recursos e os impactos ambientais associados.
- Programa para Desmonte de Rochas Controlado: Focado em minimizar os efeitos das detonações, este programa estabelece diretrizes rígidas para o uso de explosivos. Ele prevê um plano de detonação detalhado,

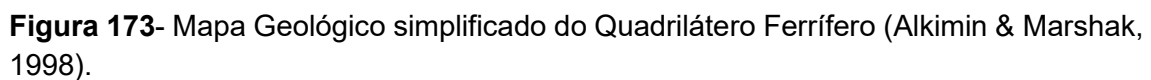
incluindo o uso de retardos e limites de carga máxima, para garantir que as vibrações e o ruído gerados estejam dentro dos limites permitidos, protegendo as estruturas próximas e a população. A prioridade, sempre que viável, será o desmonte mecânico.

- Programa de Controle de Ruídos: O objetivo deste programa é reduzir o ruído na fonte. Isso inclui o uso de equipamentos com tecnologia mais silenciosa, a instalação de barreiras acústicas e a adoção de horários de operação que minimizem o incômodo para a comunidade local.
- Programa de Manutenção Veicular da Frota: Uma frota de veículos e equipamentos em bom estado de conservação é crucial para a redução de poluentes e ruídos. Este programa garante a manutenção preventiva e corretiva regular de todos os veículos, o que não só aumenta a eficiência operacional, mas também contribui diretamente para a diminuição da emissão de gases e do barulho.
- Programa de Monitoramento de Ruídos: Através deste programa a empresa mede continuamente os níveis de pressão sonora nas áreas de influência da mineração. Os dados coletados são comparados com os limites legais, permitindo ajustes rápidos e aprimoramentos nos programas de controle sempre que necessário.

6.1.4 Geologia

6.1.4.1 GEOLOGIA REGIONAL

A área deste projeto de ampliação de atividades encontra-se inserida no contexto tectônico do Quadrilátero Ferrífero (QF), em seu extremo noroeste, que corresponde à porção mais a sul do Cráton do São Francisco. Esta região representa um bloco continental composto por um Complexo Granito-Gnáissico de idade arqueana e sequências supracrustais com idade variando de arqueana a proterozóica compreendidas nos Supergrupos Rio das Velhas e Minas, os mesmos se encontrando deformados e com vergência voltada para o interior do cráton.



O Complexo Granito-Gnáissico é representado por domos compostos de granitos, gnaisses e outros derivados, abrangendo grandes áreas dentro do QF. Estes domos são localmente denominados como Complexos de Belo Horizonte, Bação, Bonfim, Caeté, Florestal e Mato Dentro, estando os mesmos intercalados pelas sequências supracrustais.

352

resultou na estruturação das unidades supracrustais como alinhamentos serranos contornando os diversos domos.

O Supergrupo Rio das Velhas é formado por rochas de composição máfica-ultramáfica, ácidas e intercalações sedimentares. Destacam-se neste contexto as rochas sedimentares que apresentam formações ferríferas, as quais se associam mineralizações auríferas.

Este grupo subdivide-se nos Grupos Nova Lima e Maquiné. O Grupo Nova Lima consiste principalmente de xisto verde metassedimentar e metavulcânico e filito com intercalações de quartzito, grauvaca, dolomito, talco xisto e formações ferríferas. O Grupo Maquiné é representado por sequências de quartzitos, metapelitos e xistos depositados em discordância angular sobre as litologias do Grupo Nova Lima.

O Supergrupo Minas ocorre de forma discordante sobre as unidades mais antigas. É representado por uma sequência metassedimentar que abrange rochas de origem clástica e química, depositadas em ambiente continental e marinho. As rochas desta unidade são de fácil distinção no relevo por ocorrerem essencialmente nas porções de maiores elevações no QF. Sua divisão compreende os grupos Tamanduá, Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará.

A base do Supergrupo Minas é representada pelo Grupo Tamanduá que apresenta associações de xistos, quartzitos, filitos e formações ferríferas. Em sequência ocorre o Grupo Caraça representado pelas Formações Moeda e Batatal. A Formação Moeda é representada por sequências de quartzitos, conglomerados e filitos. A Formação Batatal compreende sequências de filitos. Estes grupos compreendem depósitos aluviais associados a depósitos marinhos de água rasa.

O Grupo Itabira corresponde a uma unidade de origem química, dividida nas Formações Cauê e Gandarela. A Formação Cauê é composta de formações ferríferas bandadas, em leitos alternados de quartzo e de minerais de ferro como hematita e magnetita do tipo Lago Superior. Em direção ao topo da unidade ocorrem níveis gradados com dolomititos até sequências carbonáticas dolomíticas no topo correspondendo a Formação Gandarela.

O Grupo Piracicaba representado por quartzitos e filitos intercalados em camadas espessas geradas em ambiente passando de deltáico a marinho raso. Sua unidade de maior expressão é Formação Cercadinho composta de filitos, quartzitos e quartzitos ferruginosos. As demais unidades deste grupo são as Formações Fecho do Funil (dolomitos e filitos intercalados), Taboões (quartzitos) e Barreiro (filitos). O Grupo Sabará compreende uma sequência metavulcanossedimentar representada por xistos, grauvacas, quartzitos, formações ferríferas e conglomerados.

Nas porções leste e sul do QF em zonas dominadas por falhamentos de empurrão ocorrem sedimentos clásticos grosseiros como arenitos e conglomerados, que representam o Grupo Itacolomi. Sedimentos cenozoicos são comuns em todo o QF, ocorrendo em pequenas bacias tectonicamente controladas. Estes sedimentos são representados por depósitos de argila, chapadas com canga, depósitos pelíticoslacustrinos, coberturas detrítico-lateríticas e depósitos coluviais e aliviais diversos.

O Sinclinal Moeda, segundo Silva & Gomes (2001) engloba praticamente todas as unidades litoestratigráficas do Quadrilátero Ferrífero e faz contato com o Complexo Metamórfico Bonfim a oeste, e com o Complexo Metamórfico do Bação, a leste. Estende-se por cerca de 40 km, com flanco normal (oeste) de direção N-S e flanco invertido a leste de orientação NW-SE (setor sul), N-S (setor central) e NE-SW (setor norte).

A tectônica que envolve o Sinclinal Moeda apresenta grande controvérsia no que se refere a sua evolução. Sua gênese estaria relacionada a todas as fases da história evolutiva do Quadrilátero Ferrífero, abrangendo o desenvolvimento dos complexos metamórficos, formação e deformação da Bacia Minas (Silva & Gomes, 2001).

Dentro dos “complexos metamórficos” (Dorr, 1969; Herz, 1970) inclui-se os domos granito/gnáissicos e sequências supracrustais metavulcano sedimentares do Supergrupo Rio das Velhas. De forma discordante estas unidades encontram-se sobrepostas pelas sequências metassedimentares do Supergrupo Minas.

6.1.4.2 GEOLOGIA LOCAL

Serão abordadas as características litoestratigráficas da mineralização existente na área alvo de licenciamento. Esta caracterização baseia-se nos dados obtidos no levantamento de detalhe da área, em dados de imageamento e na interpretação das informações de sondagem realizadas.

Conforme as bases cartográficas existentes e consultadas a área do presente processo encontra-se inserida nos domínios das litologias do Grupo Piracicaba, mais especificamente aquelas associadas às Formações Cercadinho e Fecho do Funil.

Característica comum a estas unidades é sua descontinuidade lateral, passando bruscamente de uma litologia para outra. O mapeamento das poligonais além das informações diretas (contatos de superfície), contou com auxílio de dados sondagem e interpretações geofísicas.

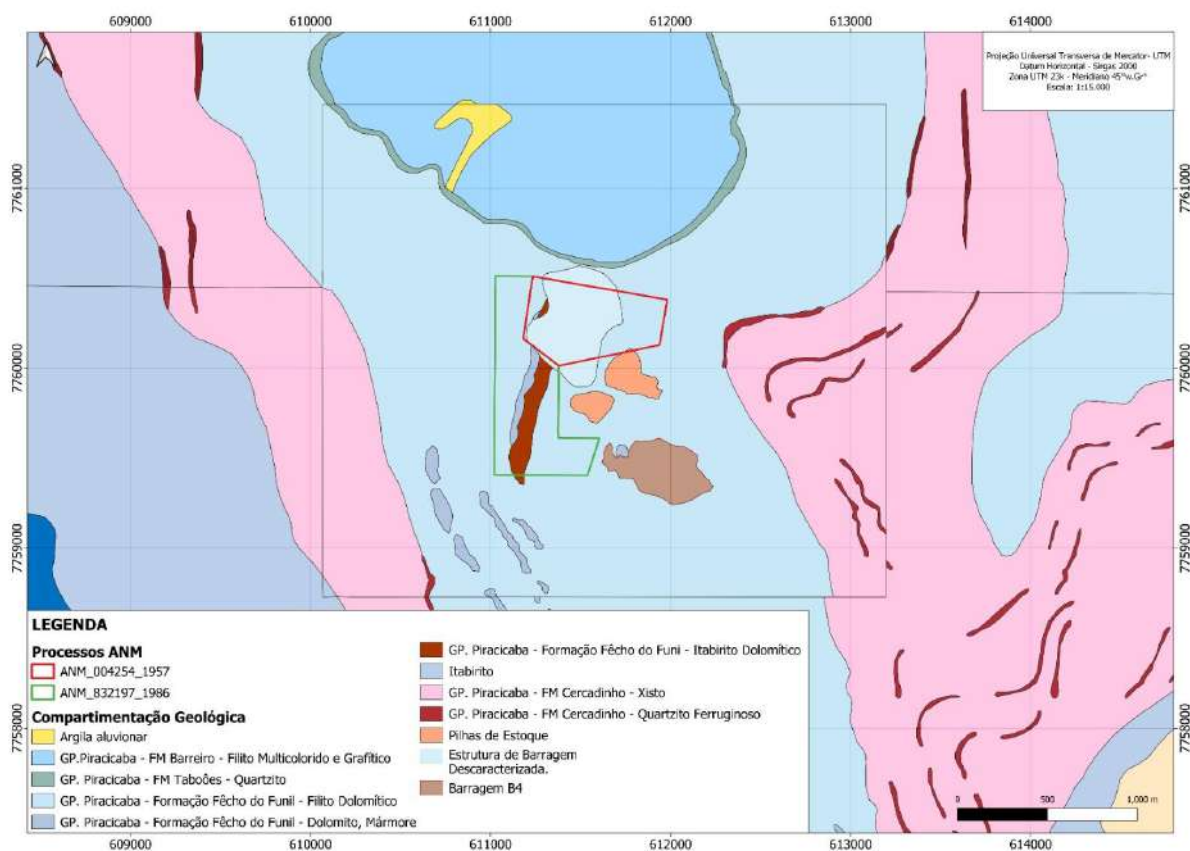


Figura 174 - Compartimentação geológica dos processos ANM nº 4254/1957 e nº 832.197/1986.

a) Formação Cercadinho

A Formação Cercadinho apresenta-se na região como uma associação de filito prateado, quartzito e quartzito ferruginoso. Esta unidade apresenta-se ao longo da extensão leste da poligonal.

Possui configuração em um sinclinal vergente para NW, apresentando amplas distribuições de filito prateado, com lentes intercaladas de quartzito e quartzito ferruginoso.

O filito prateado ocorre principalmente em pacotes contínuos e por vezes em intercalações com quartzito e quartzito ferruginoso. Possui coloração cinza claro, e composição mineral formada por sericita, cianita e quartzo. O quartzito ferruginoso com granulação que varia de média a grossa, com níveis ferruginosos distintos por concentrações de magnetita. O quartzito possui granulação fina e intercalações de lâmina sericítica. Por vezes podem ocorrer intercalações de filito manganesífero.

b) Formação Fecho do Funil

A Formação Fecho do Funil é representada localmente por associações de filito dolomítico, dolomito, itabirito dolomítico, itabirito silicoso compacto, semi compacto e friável.

A unidade em sua maior expressão corresponde a pacotes espessos de filito dolomítico com intercalações subordinadas de dolomito e itabirito, em lentes descontínuas orientadas conforme a foliação regional. O filito apresenta-se com elevado grau de alteração, encontrando-se com elevado manto de intemperismo, cascalheiras resultantes do desmonte de venulações de quartzo, coloração variegada e alta incidência de ravinamentos devido a elevada friabilidade do material.

O dolomito ocorre em lentes descontínuas de pronunciada espessura, alternando nos horizontes superiores como um perfil de alteração pronunciado, representado pela alteração significativa da rocha para argila e bolsões manganesíferos altamente erodíveis. Ultrapassado este manto de intemperismo observa-se dolomito e brecha dolomítica com perfil ruiforme com coloração variando de cinza a branco, e presença de foliação marcada por leitos de sericita.

O itabirito apresenta-se como rochas compactas a semi compactas, com horizontes superficiais de itabirito friável resultante da alteração intempérica da rocha. São itabiritos de teor de sílica (da ordem de 30%) mais elevado composto por faixas e lentes métricas de sílica. Podem apresentar faixas restritas ricas em manganês, alternando para lentes de itabirito a hematita pulverulenta.

Seu teor mais reduzido de ferro (média de 35%) e presença de magnetita, argilo-minerais e reduzida hematita é indicativo de possível sedimentação em ambiente redutor que em estágio avançado de alteração promove o empobrecimento em ferro da rocha.

Ocorre de forma pouco recorrente lentes de hematita compacta intercaladas ao itabirito compacto. A hematita compacta possui granulação fina, textura bandada, definida por alternância de bandas cinza-claro a cinza escura. É composta predominantemente por hematita e subordinada por magnetita e quartzo remobilizado, que localmente apresenta-se a migração e deposição do ferro na superfície devido aos processos supergênicos incidentes.

Nas porções superiores o itabirito possui maior grau de alteração intempérica, passando de itabirito semicompacto a itabirito friável em direção a superfície. Seu posicionamento geralmente está associado a zonas de alteração (fraturas ou planos de percolação), ora dispersos em meio aos corpos de itabirito paralelos ao acamamento, em zonas de charneira de dobras e ainda lentes ou camadas centimétricas.

6.1.5 Geomorfologia e pedologia

6.1.5.1 GEOMORFOLOGIA REGIONAL

a) Unidade Geomorfológica Serra do Curral - Moeda

Esta unidade geomorfológica (UG) compreende as extensões serranas que abrangem a borda oeste do QF, imediatamente a sul de Belo Horizonte, seguindo até as cidades de Jeceaba e Congonhas do Campo. Embora apresentando inflexões e variada toponímia (Curral, Moeda e Itabirito) possui expressiva continuidade espacial.

O seguimento da Serra do Curral corresponde ao alinhamento de direção nordeste/sudoeste, na porção norte da unidade geomorfológica. Apresenta cerca de 47 km de extensão e seus limites são dados pelas planícies fluviais dos rios Paraopeba e das Velhas, localizados em suas extremidades sudoeste e nordeste, respectivamente. Em sua porção central se junta às serras da Moeda e de Itabirito, seguindo para sul, respectivamente a oeste e a leste de forma paralela. A Serra da Moeda possui 51 km de extensão, sendo delimitada em sua porção sul, próximo à cidade de Jeceaba por rochas do embasamento num relevo mais arrasado e retrabalhado pelo Rio das Velhas em sua porção montante. Na Serra de Itabirito, sua porção sul é interrompida pelas planícies das cabeceiras do Rio das Velhas. Na região entre as serras da Moeda e Itabirito apresenta uma região com relevo tão escarpado quanto às serras, sustentado por rochas metassedimentares do Grupo Piracicaba, que compreende uma unidade geomorfológica de morrotes.

Suas elevações máximas situam-se em torno de 1.600 m, enquanto seu entorno em geral não passa de 1.000 m de altitude.

Esta UG tem sua compartimentação geomorfológica condicionada a diferentes fatores litoestruturais, onde as diferentes declividades das vertentes e de altimetria estritamente relacionadas à variação litológica geram o modelado do relevo. Este controle é marcante, onde apresenta feições como sinclinais alçados, representados pelo Sinclinal Moeda com cristas do tipo *hog back* ao longo de todo o alinhamento serrano.

Toda a extensão das serras é sustentada mais expressivamente por rochas itabiríticas e hematíticas da Formação Cauê (Grupo Itabira – Supergrupo Minas) onde sua feição morfoestrutural representa basicamente as cristas mais elevadas, onde as vertentes externas apresentam as litologias mais antigas (expressivamente quartzitos da Formação Moeda) e as vertentes internas representadas por rochas metassedimentares do Grupo Piracicaba.

6.1.5.2 GEOMORFOLOGIA LOCAL

A morfoescultura local principal é controlada principalmente por fatores estruturais da configuração das unidades litológicas e dos diferentes

níveis de alteração das rochas. O condicionamento das vertentes externas do sinclinal encontra-se com perfil escarpado representando os pontos de ruptura da estrutura frente ao esforço flexural. Estes pontos de ruptura consistem em *hogbaks* que representam uma barreira física praticamente intransponível ao longo dos três alinhamentos principais (Curral, Moeda e Itabirito).

As vertentes internas alçadas pelos esforços impostos apresentam-se flexionadas em direção ao eixo da estrutura, exibindo, à medida que se caminha nesta direção, unidades superiores da coluna estratigráfica regional.

Associado a este contexto estrutural, os materiais em grande maioria são de constituição semi-compacta a compacta, o que promove a geração e manutenção do perfil do terreno com escarpas elevadas e de reduzida erosão. Exceção a esta condição pode ser observada onde os processos erosivos foram mais incidentes promovendo a formação de ravinas e voçorocas com desníveis abruptos nas porções internas do sinclinal e sustentadas por rochas do Grupo Piracicaba.

Depósitos eluviais e detrito-coluvionares são observados ao longo de todas as escarpas serranas avançando desde as áreas elevadas até as porções mais rebaixadas das encostas. Ao longo das baixas vertentes estes depósitos ocorrem como carapaças lateríticas, embora com reduzida espessura. Estes depósitos lateríticos consolidados representam antigas corridas de detritos, hoje em progressivo processo de erosão remontante.

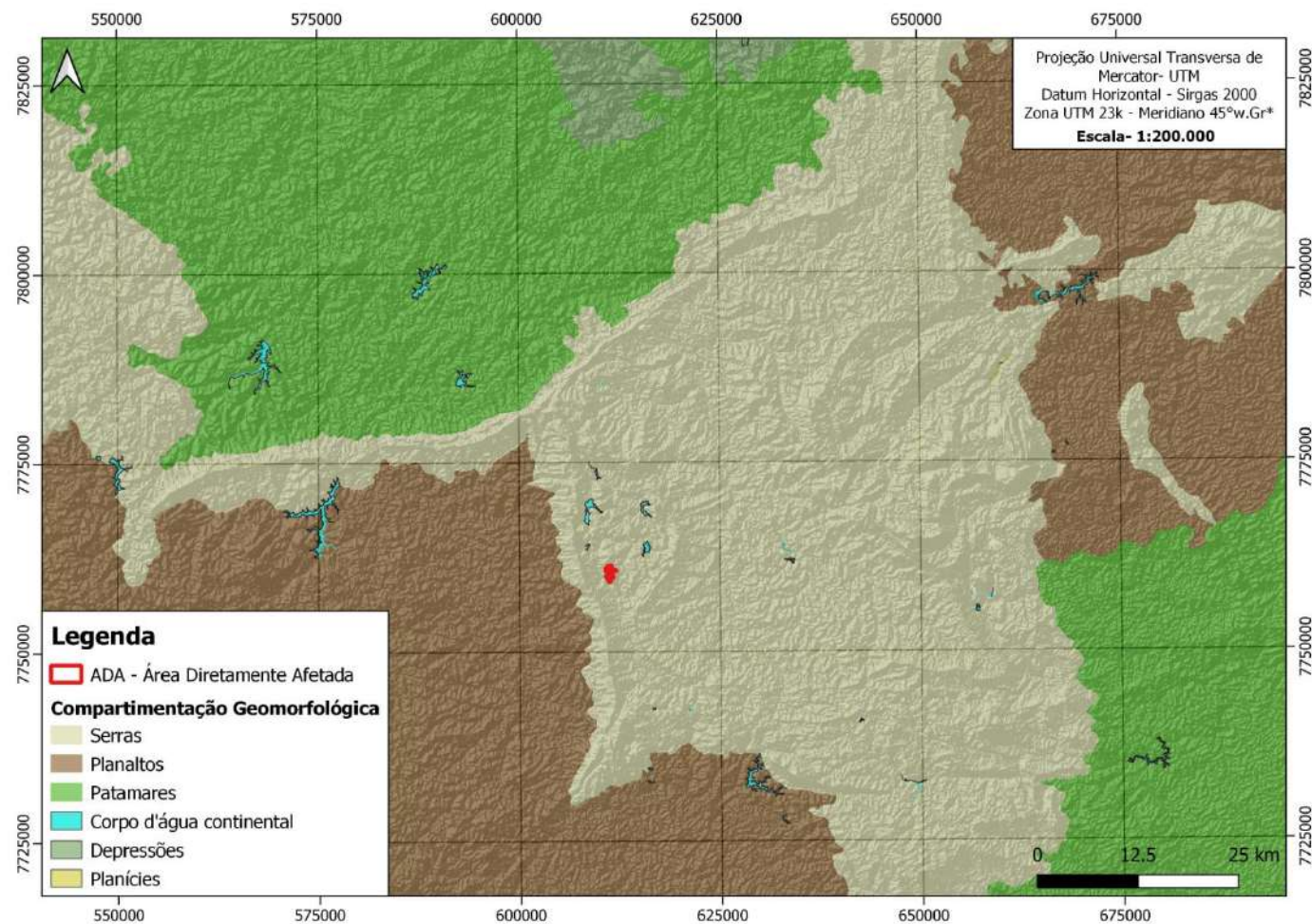


Figura 175 - Compartimentação geomorfológica.

6.1.5.3 SOLOS

Conforme Mapa de Solos de Minas Gerais (2010), ocorre na região de estudo as seguintes classes de solos: CAMBISSOLO HÁPLICO distrófico (CXbd21), LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico (LVAd1), ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico (PVAd10) e NEOSSOLO LITÓLICO distrófico (RLd6).

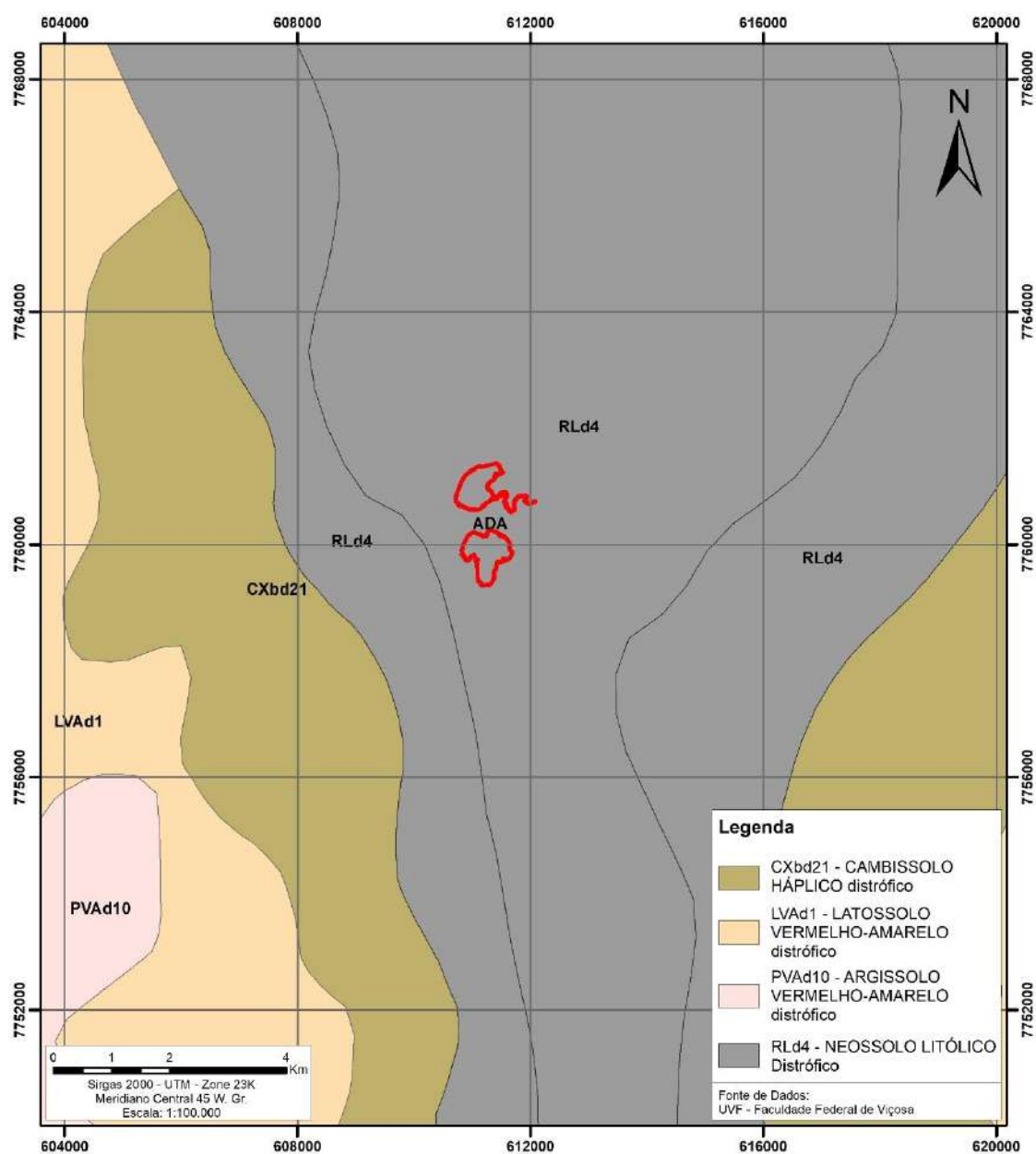


Figura 176- Indicação da área de estudo no Mapa de Solos de Minas Gerais (2010).

Segue a caracterização de cada classe:

- **Argissolos**

São solos constituídos por material mineral que apresenta como característica principal a presença do horizonte B textural (Bt) de argila, tanto de baixa quanto de alta atividade, conjugada com baixa saturação de bases. O horizonte Bt encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto horizonte hístico (EMBRAPA, 2013).

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.

São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, cores avermelhadas ou amareladas, raramente brunadas ou acizentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este.

Apresenta acidez variando entre moderada a forte, com saturação por bases alta ou baixa, predominantemente caulínícos e com relação molecular Ki, em geral, variando de 1,0 a 3,0.

- **Cambissolos**

Esta classe tem como característica principal a atuação intermediária dos processos de gênese, e tem como horizonte subsuperficial diagnóstico, o horizonte B incipiente (Bi). Este horizonte sofreu alteração físico-química em grau não muito avançado, mas o suficiente para o desenvolvimento de matiz ou alguma unidade estrutural.

Para o seu enquadramento, o pré-requisito é a espessura mínima do horizonte Bt de 10 cm (EMBRAPA, 2006). Outra característica é a pequena variação do teor de argila no perfil, exceto para os CAMBISSOLOS FLÚVICOS, estes desenvolvidos de sedimentos aluviais. Os CAMBISSOLOS podem ocorrer em todas as classes de relevo, desde planos até montanhosos (OLIVEIRA, 2008).

As características desta classe são relativas à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, isto é, variam de um local para outro. Assim, esta classe apresenta variações na drenagem (fortemente a imperfeitamente drenados), de rasos a profundos, de alta a baixa saturação por bases, bem como variações envolvendo as matizes (EMBRAPA, 2006).

Basicamente são solos com profundidade restrita, onde os teores de minerais primários facilmente intemperizáveis são, relativamente, elevados, com atividade da fração argila de média a alta.

Estão representados no mapa de Minas Gerais (SEMAD et al., 2010) como CAMBISSOLOS HÁPLICOS distróficos (CXbd), que apresentam argila de baixa a alta atividade, baixa saturação de bases (>50%) na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA), segundo EMBRAPA (2006).

- **Latosolos**

Esta classe ocupa as partes há muito tempo expostas (RESENDE *et al.*, 1998), geralmente, aquelas mais elevadas na paisagem.

Sua gênese consiste na remoção da sílica e bases do perfil, com profundidade característica e pouca diferenciação no horizonte (B LATOSSÓLICO), com atuação intensa dos processos de transformação dos minerais constituintes (intemperismo). Apresenta baixa retenção de bases e argila de baixa atividade, e ausência virtual de minerais facilmente intemperizáveis. Ao final do processo desenvolve-se macroporosidade, com estrutura granular pequena e resistência à erosão, exceto aqueles com teor de argila abaixo de 20% e maciez (quando seco).

A área objeto está representada, segundo mapa de Minas Gerais (SEMAD et al., 2010), pelo LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd). São solos com elevados teores de ferro, podendo apresentar adsorção do P, quando o teor de argila for muito alto. Esta informação é importante no caso de recuperação do substrato quanto à fertilidade do solo.

Também está representada pelo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd).

- **Neossolos Litólicos**

A classe dos Neossolos compreende solos constituídos por material mineral ou orgânico, pouco espesso, sem alterações expressivas em relação ao material de origem. Isto é devido a baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja pela composição do próprio material, que confere maior resistência ao intemperismo relacionada à sua estrutura mineralógica por fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos (EMBRAPA, 2006; OLIVEIRA, 2008).

Possuem sequência de horizonte A-R, A-C-R, A-Cr-R, A-Cr, A-C, O-R ou H-C, sem atender aos requisitos estabelecidos para serem identificados nas classes do Chernossolos, Vertissolos, Plintossolos, Organossolos ou Gleissolos. Alguns solos podem apresentar horizonte B, porém com atributos insuficientes para caracterizá-lo como horizonte diagnóstico.

Pela definição, a espessura do horizonte A é menor ou igual a 20 cm, sobreposto sobre rocha ou horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões), apresentando um contato típico com a rocha ou fragmentário dentro de 50 cm da superfície do solo. Ainda admite qualquer tipo de horizonte B, cuja espessura é insuficiente a qualquer B diagnóstico (EMBRAPA, 2013).

Os NEOSSOLOS LITÓLICOS apresentam severa restrição ao desenvolvimento radicular, uma vez que o contato com a rocha ocorre a pouca profundidade. Pela pouca espessura do horizonte, outros fatores a tal restrição dizem respeito ao menor armazenamento d'água, de nutrientes disponíveis às plantas e volume de solo suficiente para ancorá-las, especialmente as espécies florestais, com sistema radicular mais profundo. Agrava a limitação dessa classe pela ocorrência, em grande parte, em relevo forte ondulado a montanhoso, e, na maioria dos casos, com rochas expostas (OLIVEIRA, 2008).

Ocorre nas imediações, principalmente nos topos de morro, conforme sua verificação no mapa de solos de Minas Gerais (SEMAD et al., 2010), NEOSSOLOS LITÓLICOS distróficos (solos com baixa saturação por bases $V > 50\%$).

6.1.6 Espeleologia

6.1.6.1 ESTUDOS DE PROSPECÇÃO ESPELEOLÓGICA

a) Introdução

Os estudos referentes à prospecção espeleológica, da área do presente licenciamento ambiental, solicitados como item obrigatório na legislação ambiental vigente foram realizados e são apresentados neste relatório. Todos os estudos foram estabelecidos de acordo com o que expressa à legislação pertinente:

- Lei Complementar Federal nº 140/11;
- Decreto Federal nº 99.556 de 01/10/90;
- Decreto Federal nº 6.640 de 07/11/08;
- Resolução Conama nº 01/86;
- Resolução Conama nº 237/97;
- Resolução Conama nº 347/04 de 10/09/04;
- Instrução Normativa/MMA nº 2 de 20/08/09 (IN 02/2009 MMA);
- Instrução Normativa/ICMBIO nº 30 de 19/09/12;
- Decreto Estadual nº 44.844/08.

A Instrução de Serviço do Sistema Estadual de Meio Ambiente nº 08 de 05 de julho de 2017 (IS-SISEMA 08/2017), revisada em 05/10/2018, foi o instrumento elaborado para substituição da Instrução de Serviço SEMAD nº 03/2014 (IS-SEMAD 03/2014) de 26 de dezembro 2014. A IS-SISEMA 08/2017, em seu artigo 2º apresenta como sua designação:

Art. 2º - Os procedimentos descritos nesta IS devem ser aplicados e cumpridos nos processos de licenciamento, controle e de fiscalização ambiental de atividades e de empreendimentos considerados efetiva ou potencialmente causadores de impactos sobre cavidades naturais subterrâneas ou sobre suas áreas de influência, a fim de compatibilizar as fases do licenciamento ambiental com os estudos de prospecção espeleológica, de avaliação de impactos, de caracterização ou de classificação de relevância das cavidades naturais subterrâneas e com a definição das medidas de compensação espeleológica.

Assim, a IS-SISEMA 08/2017 é o documento orientativo e estabelece todas as diretrizes e informações pertinentes à verificação e avaliação do patrimônio espeleológico em objetos/empreendimentos passíveis de licenciamento ambiental no estado de Minas Gerais. Dessa forma, os estudos hora apresentados para este processo de licenciamento foram executados e relatados de forma a se adequar ao que é exigido nesta instrução, em sua versão mais atualizada.

Este relatório abrange o objeto de licenciamento da Herculano Mineração Ltda. para o licenciamento de seu empreendimento nos locais denominados: Tanque Seco, para as seguintes operações (e respectivo código de enquadramento na DN 217/2017):

- **A-02-03-8** - Lavra a céu aberto - Minério de ferro.
- **A-05-04-7** - Pilhas de rejeito/estéril - Minério de ferro

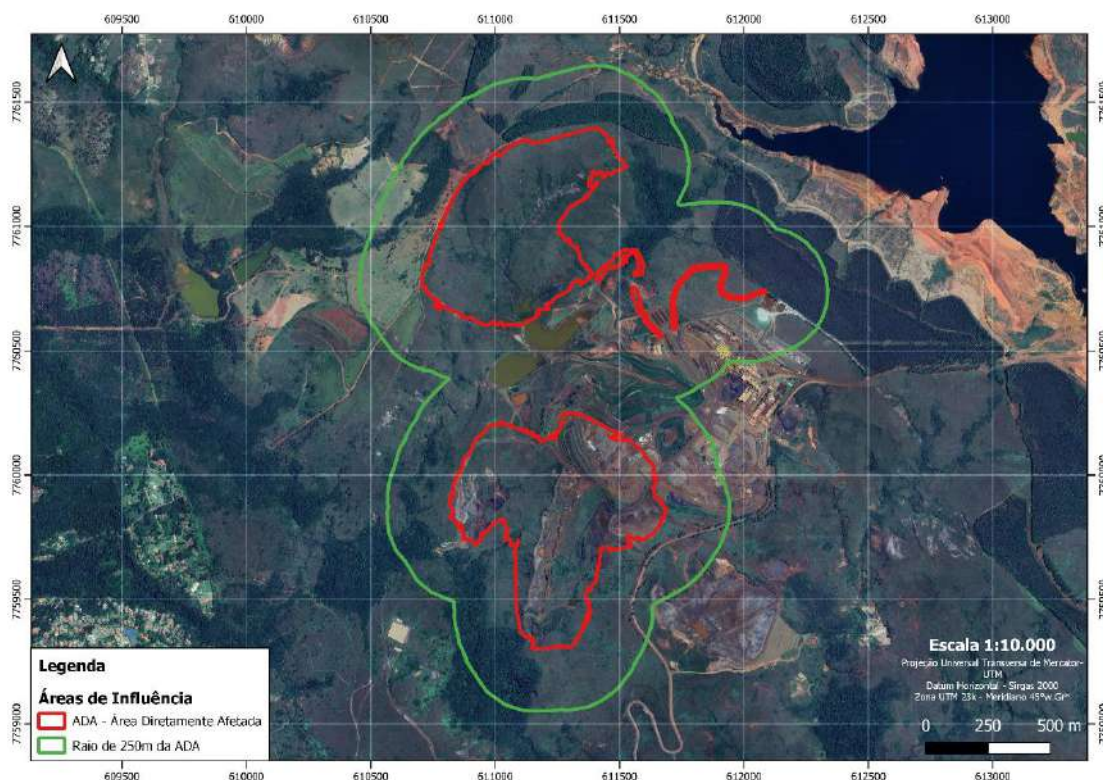


Figura 177 - Estrutura Alva do processo de licenciamento e seu raio de influência de 250 m.

O processo de licenciamento supracitado constitui em um requerimento de Licença Ambiental Concomitante (LAC2), conforme o entendimento atual da DN 217/2017. Assim, conforme prevê a IS-SISEMA 08/2017, a realização de estudos espeleológicos é item obrigatório para o caso em questão, adequando-se ao que se encontra estabelecido nesta DN.

O processo de licenciamento em questão prevê a execução de serviços e implantação de estruturas sobre áreas parcialmente livres de interferências antrópicas, juntamente com seu raio de influência de 250 metros, para a qual são aplicados todos os critérios de prospecção e avaliação do patrimônio espeleológico (conforme a densidade de malha de prospecção relacionada ao seu potencial espeleológico). Portanto os trabalhos de prospecção espeleológica serão realizados de forma a cobrir plenamente a área em licenciamento, independentemente da existência de terrenos antropizados, e do potencial de ocorrência de estruturas cársticas.

A **Área Diretamente Afetada (ADA)** do presente licenciamento corresponde a uma área de **86,98 hectares** (28,27%), e o **Raio de 250 metros** possui **220,72 hectares** (71,73%), totalizando **307.70 hectares** de superfície a ser avaliada. Os estudos executados para esta temática, na área deste licenciamento, integrarão o conhecimento acumulado sobre o patrimônio espeleológico do empreendimento agregando novas informações (aquelas já existentes sobre a região), geradas para subsidiar uma avaliação contínua, à medida que as operações evoluírem.

Conforme anteriormente mencionado, a ADA deste licenciamento encontra-se parcialmente em terreno natural, a qual deverá ser integralmente descaracterizada para implantação das operações. Porções da ADA e do Raio de 250 metros apresentam alterações antrópicas, no entanto os trechos que ainda apresentam terreno natural (dentro do Raio de 250 metros) não sofrerão qualquer descaracterização promovida pelas atividades pretendidas.

Para a verificação de todo o terreno, no que se refere a avaliação do patrimônio espeleológico, foram empreendidos todos os esforços necessários. Assim utilizou-se de todos os critérios e parâmetros existentes para à plena

caracterização da ADA, assim como de seu raio de 250 metros, e verificação dos aspectos relevantes a esta área de conhecimento.

Conforme solicitado na IS-SISEMA 08/2017, os trabalhos elaborados são apresentados de acordo com o escopo descrito em seu Anexo II – Termo de Referência para Estudo de Prospeção Espeleológica, contendo:

- Metodologia teórica e prática para elaboração do estudo de prospeção espeleológica;
- Resultados dos trabalhos de prospeção espeleológica nas áreas de influência deste processo de licenciamento.

Sendo obrigatória a apresentação dos documentos:

- Registro de responsabilidade técnica junto ao conselho profissional dos profissionais responsáveis pelo estudo;
- Cadastro Técnico Federal (CTF) da empresa responsável pela prospeção e dos responsáveis técnicos;
- Relatório de prospeção espeleológica deverá conter os seguintes itens.

Avaliado o potencial espeleológico local da ADA e seu raio de 250 metros, nas bases de dados existentes, não foram identificadas feições espeleológicas no sentido da legislação vigente (Decreto Federal nº 99.556 de 01/10/90), sendo posteriormente confirmada esta informação com a realização dos caminhamentos de prospeção espeleológica. Em dados secundários utilizados como fonte, ocorrem registros da existência de cavidades na região, no entanto, estas estruturas encontrem-se a distância superior a 2,6 km da ADA deste empreendimento.

Os trabalhos que constituem a presente avaliação do patrimônio espeleológico foram realizados sob a responsabilidade do geólogo/espeleólogo Kerley Wanderson Andrade CREA/MG 120.333/D – Registro SBE nº 1.822.

b) Justificativas

A avaliação do patrimônio espeleológico (prospecção espeleológica) tem a função de avaliar e ressaltar os caracteres desta natureza na área diretamente afetada pelo alvo do licenciamento acrescida de seu raio de 250 metros, através dos trabalhos de prospecção e mapeamento, quanto à possibilidade de existência de feições cársticas e pseudocársticas.

Os trabalhos de prospecção visam a verificação das feições geológicas e geomorfológicas representativas e relevantes ao desenvolvimento de feições cársticas/pseudocársticas, baseado na análise das Unidades Geológicas, Geomorfológicas e Espeleológicas nas quais se insere a área alvo, conforme se estabelece no trabalho de Oliveira et al. (2011), e no escopo estabelecido pela IS-SISEMA 08/2017.

A análise destas unidades permite a avaliação de caracteres e feições favoráveis ou não ao desenvolvimento de estruturas cársticas/pseudocársticas, segundo os critérios genéticos adotados pela comunidade científica, espeleológica e geológica. Nos respectivos itens que as descreve, serão detalhados estes aspectos relevantes, os quais serão perseguidos nas observações de campo. Estes aspectos deverão fornecer informações que permitirão restringir e especificar zonas mais favoráveis à presença de feições cársticas nos terrenos em questão.

Para a classificação das áreas com relação ao seu potencial relativo, a existência de patrimônio espeleológico, utilizou-se uma metodologia estabelecida para avaliar qualitativamente as extensões de terreno mais favoráveis à presença de feições cársticas, assim como uma metodologia para estabelecer o adensamento adequado de caminhamentos para avaliação do potencial espeleológico, sobretudo nas áreas definidas como de potencial favorável.

c) Metodologia

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho buscou atender às exigências da legislação vigente e os termos de referência propostos

para o licenciamento minerário em áreas com potencial de ocorrência de feições cársticas/pseudocársticas, incluindo:

- Levantamento Bibliográfico;
- Análise Documental e Cartográfica;
- Avaliação do Potencial Espeleológico;
- Prospeção Espeleológica;
- Caracterização das Feições Cársticas;
- Elaboração do Relatório.

❖ **Levantamento Bibliográfico**

Na etapa preliminar de gabinete foram consultadas referências bibliográficas e dados cadastrais referentes ao patrimônio espeleológico, incluindo:

- Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - CANIE (CECAV/ICMBio);
- Cadastro Nacional de Cavernas (Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE);
- Ocorrências registradas em levantamentos espeleológicos anteriores (consulta ao CANIE);

Estas consultas objetivaram a verificação de bases de dados sobre a existência de cavidades já descritas e relatadas na região do empreendimento. Esta pesquisa bibliográfica permitiu também a incorporação de importante acervo de informações referentes às características das feições cársticas existentes no mesmo contexto geológico e geomorfológico da área alvo de licenciamento.

❖ **Análise Documental e Cartográfica**

Foram consultadas também as fontes bibliográficas existentes sobre a temática, incluindo:

- Estudos ambientais e trabalhos científicos anteriores (consulta ao CANIE);
- Publicações científicas de congressos, simpósios e livros.

Como subsídio para a compreensão dos fatores que pudessem condicionar o surgimento, manutenção e evolução de feições cársticas na região, sobretudo no que se relaciona aos aspectos geológicos e geomorfológicos, foram consultados também:

- Mapas planialtimétricos, hipsométricos e modelos digitais de elevação;
- Mapas geológicos;
- Mapas geomorfológicos;
- Mapas pedológicos.

❖ **Avaliação do Potencial Espeleológico**

Ainda na fase preliminar, dos trabalhos, foram consultadas as bases cartográficas estabelecidas pelo CECAV no Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil na escala 1:2.500.000 (CECAV-ICMBio, 2012). Este mapa define o potencial espeleológico em todo o país, baseado em informações geológicas, conforme o trabalho científico de Jansen et al., 2014.

Com a avaliação e processamento destas informações, foi possível traçar em escala local, a cartografia de definição do potencial espeleológico em nível local. Esta informação será apresentada em item posterior, o que permitiu otimizar os esforços realizados na campanha de prospecção espeleológica.

Estabelecido o potencial espeleológico em nível local, foi possível, seguindo o embasamento teórico estabelecido pela comunidade científica pertinente (Piló & Auler, 2011), definir a densidade adequada da malha de caminhamento, para a plena cobertura da área de influência das estruturas em licenciamento. Dessa forma, sobre os terrenos mais propensos, o caminhamento espeleológico realizado foi adensado e demais extensões percorridas, para a plena verificação da possibilidade ocorrência de feições espeleológicas.

❖ **Prospecção Espeleológica**

Definida a densidade de caminhamentos adequada, para a plena caracterização do potencial espeleológico da área alvo de licenciamento, deu-se prosseguimento a etapa seguinte com a execução do caminhamento espeleológico ao longo de toda a extensão da área de influência do escopo deste trabalho.

Este caminhamento consistiu-se no percurso de toda a extensão da ADA, correspondente ao licenciamento do empreendimento da Herculano Mineração Ltda., acrescido de seu raio de 250 metros.

Durante este percurso procurou-se privilegiar as áreas geológico/geomorfológicamente, mais favoráveis ao desenvolvimento de estruturas e feições cársticas. Sempre com base, no que foi estabelecido através do tratamento realizado nos dados bibliográficos consultados (feições geológicas e geomorfológicas, ravinamentos, vales fluviais e pluviais, quebras acentuadas de relevo e exposições aflorantes de rochas típicas de ambiente cárstico/pseudocárstico).

❖ **Caracterização das Feições Cársticas**

Após a realização desta etapa de campo procedeu-se ao tratamento dos dados obtidos. Foram avaliados os caminhamentos espeleológicos para verificar sua abrangência e cobertura, atendendo aos objetivos pretendidos e a densidade mínima estabelecida para atendimento a IS 08/2017.

Na apresentação dos resultados da prospecção espeleológica devem ser abordados os seguintes itens:

- Tamanho da Área Diretamente Afetada (ADA) e seu Raio de 250 metros;
- Densidade da malha de caminhamento e o percentual da ADA e seu entorno prospectados, justificando os valores adotados;
- Mapa de prospecção com linhas de caminhamento sobre imagem de satélite;
- Coordenadas e descrição dos pontos de controle do caminhamento espeleológico e feições espeleológicas detectadas;

- Mapa de pontos de controle e feições espeleológicas detectadas;
- Arquivo digital (shp, gtm e kml) com a trilha percorrida no caminhamento, em formato UTM e Datum Sirgas 2000;
- Mapa topográfico das cavidades naturais subterrâneas (precisão 4C ou 5D), **caso existam cavidades**;
- Mapa de projeção horizontal de cada cavidade acrescido do raio de 250 metros em poligonal convexa, sobre imagem de satélite, **caso existam cavidades**;
- Relatório fotográfico.

Sendo identificadas feições cársticas que não são consideradas cavidades naturais subterrâneas (abrigos), deve-se apresentar informações referentes a estas estruturas, sendo:

- Denominação da feição;
- Coordenadas geográficas obtidas na entrada principal (no ponto onde localiza-se a base topográfica “zero” da entrada da feição), com equipamento de GPS, em UTM, Datum SIRGAS 2000, a partir da captura de sinais advindos de um mínimo de 4 unidades bem distribuídas na constelação dos satélites, com erro máximo de 15 m (erro ideal de 3 m, preferencial até 10 m);
- Altitude;
- Descrição das entradas e formas de acessos;
- Registro fotográfico;
- Croqui em nível de detalhamento BRCA - 2C;
- Dados de identificação de proprietário da área onde a feição está inserida, caso encontre-se fora da área do empreendimento.

No levantamento topográfico e cálculo espeleométricos das estruturas deverão ser considerados os aspectos pertinentes ao cálculo da projeção horizontal e base topográfica zero da estrutura representada. Procura-se destacar, também, nesta fase, através da descrição textual e registro fotográfico, as evidências de estruturas mais relevantes ou não ao desenvolvimento de

feições cársticas e pseudocársticas na área, sempre acompanhada da interpretação geomorfológica para reforçar suas características.

d) Caracterização dos Aspectos Espeleogenéticos

❖ Avaliação dos Cadastros de Cavidades

Nesta fase do estudo foram verificados os principais, e oficiais cadastros de cavidades existentes no Brasil. Estes cadastros são mantidos por instituições públicas e privadas que são responsáveis pela preservação, gestão e estudo do patrimônio espeleológico nacional. Sendo que os principais cadastros de referência para verificação destes dados são:

- Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas - CANIE (CECAV/ICMBio), mantido por esta instituição, à qual é designada por lei (Lei Federal nº 6.640 de 07 de novembro de 2008) como responsável pela gestão e preservação do patrimônio espeleológico nacional;
- Cadastro Nacional de Cavernas (Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE), mantido por esta instituição, sendo essa uma associação civil responsável pela difusão, organização e estudo do acervo espeleológico nos campos social, esportivo e científico.

Verificadas todos os dados disponíveis nestas bases de dados (acervos do CANIE e SBE), e ainda outras bases particulares, não foram identificadas cavidades nos limites da ADA em avaliação, bem como em seu raio de 250 metros. Com base nestas fontes de dados, as cavidades conhecidas, e mais próximas ao empreendimento encontram-se a uma distância mínima de 46 km. As cavidades relacionadas nestes cadastros que se encontram na região, bem como sua distância em relação à ADA do empreendimento encontram-se relacionadas a seguir:

Tabela 48 - Relação de cavidades existentes na região do presente licenciamento que constam dos cadastros oficiais do CECVAV – ICMBio.

Registro CANIE	Nome da Estrutura	Município	Coordenadas	
			Lat.	Long.
014160.06491.31.31901	Caverna MS-25	Itabirito	-20.2476	-43.9663

Registro CANIE	Nome da Estrutura	Município	Coordenadas	
			Lat.	Long.
014162.06493.31.31901	Caverna MS-26	Itabirito	-20.2487	-43.9661
022613.06844.31.31901	Caverna JK	Itabirito	-20.2282	-43.97
022614.06845.31.31901	Gruta Pedroso	Itabirito	-20.2285	-43.9699
023827.06848.31.31901	Caverna Arêdes	Itabirito	-20.2821	-43.9019
014126.06457.31.09006	Caverna MS-21	Brumadinho	-20.232	-43.9735
014128.06459.31.09006	Caverna MS-22	Brumadinho	-20.232	-43.9735
014131.06462.31.09006	Caverna MS-23	Brumadinho	-20.2318	-43.9734
014136.06467.31.09006	Caverna MS-20	Brumadinho	-20.234	-43.9727
014144.06475.31.31901	Caverna MS-28	Itabirito	-20.2275	-43.9704
014158.06489.31.31901	Caverna MS-24 (MG01148)	Itabirito	-20.2476	-43.9665
014163.06494.31.31901	Caverna MS-27	Itabirito	-20.249	-43.966
014221.06548.31.31901	Caverna VL-39	Itabirito	-20.2754	-43.9538
014241.06565.31.42304	Caverna VL-07	Moeda	-20.2857	-43.948
014244.06567.31.42304	Caverna VL-08	Moeda	-20.2858	-43.9478
014246.06569.31.31901	Caverna VL-14	Itabirito	-20.2856	-43.9468
014247.06570.31.42304	Caverna VL-12	Moeda	-20.2966	-43.9468
014248.06571.31.42304	Caverna VL-13	Moeda	-20.2962	-43.9467
014249.06572.31.42304	Caverna VL-15	Moeda	-20.2946	-43.9467
014250.06573.31.31901	Caverna VL-09	Itabirito	-20.2863	-43.9466
014252.06575.31.31901	Caverna VL-02	Itabirito	-20.286	-43.9462
014253.06576.31.42304	Caverna VL-37	Moeda	-20.2991	-43.9461
014254.06577.31.31901	Caverna VL-11	Itabirito	-20.2862	-43.9459
014255.06578.31.31901	Caverna VL-05	Itabirito	-20.2862	-43.9459
014256.06579.31.31901	Caverna VL-03	Itabirito	-20.2873	-43.9458
014257.06580.31.31901	Caverna VL-01	Itabirito	-20.2861	-43.9458
014258.06581.31.31901	Caverna VL-10	Itabirito	-20.2853	-43.9455
014259.06582.31.31901	Caverna VL-06	Itabirito	-20.2891	-43.9454
014260.06583.31.31901	Caverna VL-04	Itabirito	-20.2868	-43.9448
014413.06729.31.31901	Caverna MP-010	Itabirito	-20.2661	-43.8878
017796.06770.31.31901	Gruta das Meninas	Itabirito	-20.2506	-43.9662
018109.06831.31.31901	Caverna VL-40	Itabirito	-20.3	-43.9419
018111.06833.31.31901	Caverna VL-43	Itabirito	-20.2898	-43.9353

Registro CANIE	Nome da Estrutura	Município	Coordenadas	
			Lat.	Long.
018113.06835.31.31901	Caverna VL-47	Itabirito	-20.2842	-43.9357
018114.06836.31.31901	Caverna VL-48	Itabirito	-20.2979	-43.9432
018115.06837.31.31901	Caverna VL-49	Itabirito	-20.2988	-43.9412
018116.06838.31.31901	Caverna VL-50	Itabirito	-20.299	-43.9419
018117.06839.31.31901	Caverna VL-51	Itabirito	-20.2989	-43.941
018118.06840.31.31901	Caverna VL-52	Itabirito	-20.2993	-43.941
018119.06841.31.31901	Caverna VL-53	Itabirito	-20.2915	-43.9451
019832.06597.31.42304	Toca do Lobo	Moeda	-20.2764	-43.9544
025701.06853.31.31901	VL-39	Itabirito	-20.2755	-43.9537
027392.06598.31.42304	RVL-0011	Moeda	-20.2966	-43.9453
027393.06599.31.42304	RVL-0012	Moeda	-20.2957	-43.9468
027394.06600.31.42304	RVL-0013	Moeda	-20.2956	-43.9468
027395.06601.31.42304	RVL-0016	Moeda	-20.2963	-43.9468
027396.06602.31.42304	RVL-0017	Moeda	-20.2961	-43.9468
027397.06855.31.31901	RVL-0095	Itabirito	-20.2982	-43.9424
027398.06603.31.42304	VL-14	Moeda	-20.2946	-43.9468

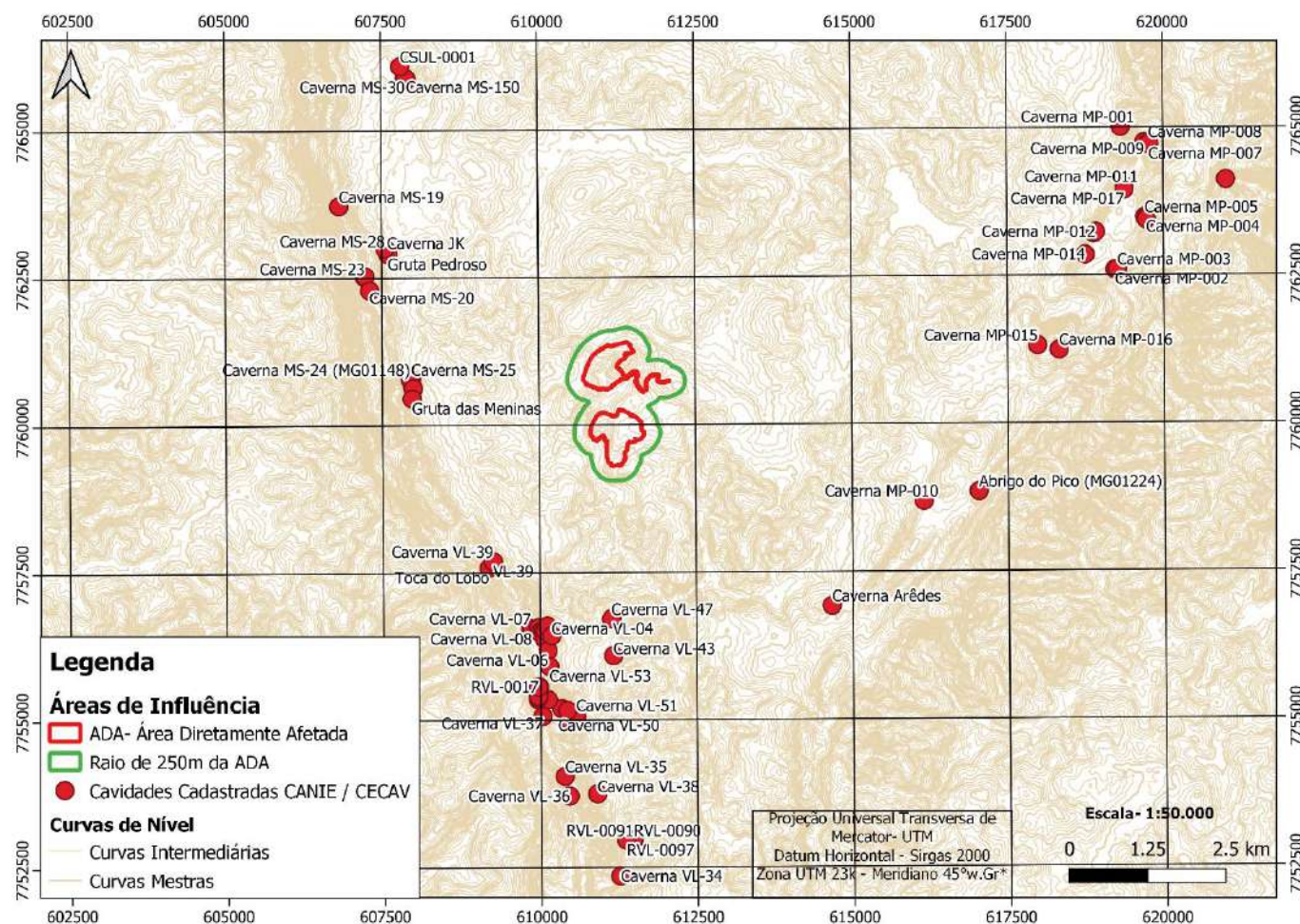


Figura 178 - Cavidades relacionadas em cadastros oficiais, na região de inserção do alvo de licenciamento.

Conforme o Anuário Estatístico Espeleológico (CECAV – ICMBio) é registrado hoje (dados de dezembro 2024), 12.911 cavidades no estado de Minas Gerais, constitui-se este cadastro no referencial oficial das cavidades existentes em todo o estado, e no país.

Estas informações reforçam o empenho e dedicação dos profissionais desta área de conhecimento em levantar e caracterizar o acervo espeleológico nacional (em 2011, o cadastro contava com 3.588 cavidades em MG, já em 2024, o cadastro já contava com 12.911 cavidades). Deve-se ainda dar o devido crédito as empresas em seus esforços de estudos ambientais para o licenciamento de seus empreendimentos como agentes financiadores deste processo, sem o qual não seria possível o expressivo avanço no conhecimento do acervo espeleológico de Minas Gerais e do Brasil.

❖ **Caracterização Geológica**

No arcabouço estratigráfico do QF podem ser individualizadas cinco grandes unidades: o embasamento que se constitui de terrenos granito-gnáissicos arqueanos, o Supergrupo Rio das Velhas que corresponde a sequencias metavulcanossedimentares, o Supergrupo Minas integrando unidades metassedimentares clásticas e químicas, além do Grupo Itacolomi e Supergrupo Espinhaço constituídos por litologias de origem metassedimentar clástica.

Os terrenos arqueanos compreendem diversos complexos granito-gnáissicos distribuídos no interior e periferia do QF. Esta unidade ainda é cortada por intrusões graníticas arqueanas, meso e paleoproterozóica. Intercalando os diferentes domos representados por estas rochas, ocorrem sequencias supracrustais do Supergrupo Rio das Velhas de origem metavulcânica caracterizando terrenos greenstone belt e do Supergrupo Minas com sequencias típicas de bacias sedimentares marinhas a transicionais.

A região em estudo compreende a porção centro-oeste do QF recebendo a toponímia de Serra da Moeda. Maiores detalhes da caracterização espacial desta porção do QF serão explicitadas no item “Unidade Geomorfológica Serra do Curral – Moeda”. Tratando-se no momento de sua

compartimentação estratigráfica específica, desde as bordas da serra (tanto a leste, quanto a oeste) unidades litológicas integrantes do Supergrupo Minas, sustentando as escarpas serranas e compreendendo o substrato rochoso dos vales fluviais.

De maior importância para o contexto geológico, favorável à geração e manutenção de estruturas cársticas as unidades do Supergrupo Minas constituem-se nas de maior relevância. Segundo a definição clássica (Dorr, 1969) este supergrupo de idade paleoproterozóica apresenta subdivisão em quatro grandes grupos, sendo estes da base para o topo Tamanduá, Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará.

Na região o Grupo Tamanduá encontra-se suprimido. No entanto é representado por uma sequência de quartzito, filito, xisto quartzoso e argiloso, itabirito filítico e dolomítico, conglomerado e quartzito grosseiro. Na base ocorre o Grupo Caraça constituído essencialmente por sedimentos clásticos subdivididos em duas formações: a Formação Moeda – na base, composta por quartzito, conglomerado e filito quartzoso, e a Formação Batatal compreende filito, metachert e lentes de formação ferrífera.

O Grupo Itabira integra uma associação de metassedimentos clastoquímicos, subdivididos nas formações Cauê e Gandarela. A formação Cauê é caracterizada por conter formação ferrífera do tipo Lago Superior (itabirito, itabirito dolomítico, itabirito anfibolítico), filito e horizontes manganésíferos. A Formação Gandarela é composta por rochas carbonáticas, mármore e filitos carbonáticos.

O Grupo Piracicaba compreende quatro formações. A Formação Cercadinho apresenta sequências de quartzito ferruginoso, filito ferruginoso, filito, quartzito e intercalações de dolomito. A Formação Fecho do Funil destaca-se pela presença maciça de rochas carbonáticas com associações de filito. A Formação Taboões de composição essencialmente quartzítica. E a Formação Barreiro com filito e filito grafitoso.

No topo da unidade ocorre o Grupo Sabará de constituição metavulcanossedimentar constituída de xisto com intercalação de

metagrauvaca, quartzito, quartzito feldspático, quartzito ferruginoso, formação ferrífera e metaconglomerado.

O Grupo Sabará não ocorre na área em estudo, assim como demais unidades sobrepostas representadas pelo Grupo Itacolomi (quartzito, filito e microconglomerado intercalado), e Formação Santo Antônio (quartzito sericítico com lentes de conglomerado polimítico e filito). E assentando-se de forma discordante sobre estas unidades podem ocorrer depósitos clásticos do Supergrupo Espinhaço.

Recobrimo este conjunto litoestratigráfico ocorre considerável conjunto de coberturas sedimentares fanerozóicas. Estes depósitos destacam-se em toda a UEQF-C com depósitos de cangas, sedimentos terrígenos fluviais e lacustres, relacionados a coberturas lateríticas de idade Terciária. Os depósitos de canga associados a esta unidade correspondem ao principal condicionador da espeleogênese associada aos depósitos de ferro lateríticos.

❖ **Unidade Espeleológica – Quadrilátero Ferrífero - Conceição**

A Unidade Espeleológica do Quadrilátero Ferrífero e Conceição (UEQF-C) anteriormente designada como Unidade Espeleológica do Quadrilátero Ferrífero por Auler et al. (2001), foi redefinida e estabelecida de forma a se adequar ao conceito proposto de unidade espeleológica orientado na IN 02/2017 MMA. Em Oliveira et al. (2011) passou a incorporar a região de Conceição do Mato Dentro, uma vez que esta região possui continuidade física com a extremidade norte do quadrilátero, além da semelhança de idade entre as rochas que compõe o arcabouço estratigráfico das duas regiões.

Ainda no que propõem a IN 02/2017 MMA, quanto à avaliação das cavidades existentes, aos seus aspectos e semelhanças com outras cavidades em âmbito local e regional, esta unidade espeleológica foi desmembrada em dez unidades geomorfológicas, garantindo a avaliação das cavidades nestas diferentes abrangências, sendo estes aspectos detalhados nos itens a seguir.

- **Litologia Hospedeira de Cavernas no QF**

A definição mais atualizada do que constitui a canga foi atribuída por Dorr (1969) a classificando em quatro tipos:

- **Canga Detrítica:** corresponde a uma rocha rica em ferro, de origem detrítica e formada pela litificação de seus fragmentos, geralmente itabiritos, minério de alto teor e em menor proporção quartzito e filito, derivados das rochas subjacentes e adjacentes aos itabiritos;
- **Canga Estruturada:** menos representativa por sua baixa distribuição espacial. Não corresponde a canga propriamente dita, mas ao itabirito intemperizado e limonitizado, e devido ao seu aspecto físico semelhante recebeu a denominação;
- **Canga Química:** aplica-se a canga com reduzida quantidade de fragmentos e expressiva quantidade de limonita. Por sua constituição característica e mais aluminosa e se apresenta preferencialmente em encostas suaves;
- **Canga Rica:** corresponde à rocha com fragmentos de composição essencialmente hematítica de conteúdo de ferro superior a 64%.

Os diferentes horizontes de canga e sua interação, principalmente com as rochas itabiríticas, constituem-se no principal arcabouço litológico capaz de abrigar cavidades e feições cársticas/pseudocársticas na região do QF. Importantes ocorrências cársticas são relatadas em outras litologias desta unidade espeleológica como quartzito, dolomito e filito (Oliveira, 2011). No entanto maior destaque, e acervo numérico mais expressivo de estruturas são relacionados aos depósitos de canga e itabirito de grande abrangência em todo o QF e região marginal como a Unidade Geomorfológica da Serra da Serpentina.

- **Espeleogênese Cavernas em Canga no QF**

No que se refere à espeleogênese das cavernas existentes nestas litologias, suas principais características residem na maior proximidade com a superfície do terreno e pequeno desenvolvimento, dificilmente ultrapassando os 25 metros de projeção horizontal. Estes fatores, também estão entre os

principais diferenciadores destas estruturas em relação às cavernas existentes em rochas carbonáticas, geralmente com maior desenvolvimento e maiores profundidades, podendo até apresentar drenagens predominantemente subterrâneas, as tornando mais susceptíveis a alterações ambientais e antrópicas.

As cavidades existentes nestas rochas também apresentam divergência em relação aos principais atributos que condicionam a espeleogênese, com a presença de rocha solúvel e elevado grau de diaclasamento (Karmann *et al.* 1979). Estas coberturas diferenciam-se das demais litologias presentes (siliciclasticas e carbonáticas) por não terem sido afetadas por eventos tectônicos dos ciclos transamazônico e brasileiro presentes e evidentes no QF e região, bem como em todas as demais Unidades e Províncias Espeleológicas do país (Karmann & Sanches, 1979).

As estruturas observadas, em parte condicionantes das cavidades presentes, correspondem à reativação de estruturas pretéritas arqueanas e proterozóicas. Embora estas estruturas pretéritas condicionem parte das cavidades presentes, a maioria observada apresenta estruturação associada à erosão remontante das bordas dos platôs, uma vez que estas litologias se apresentam como uma carapaça inerte ao intemperismo químico e resistente ao intemperismo mecânico (Dorr, 1969).

Neste sentido, a gênese destas cavidades (Piló & Auler, 2005; Piló, 2005; Auler, 2005; e Simmons, 1963) está associada a duas etapas. Uma etapa inicial corresponde à incidência de processos dissolutivos (químicos) e o seguinte com a ação de processos erosivos (físicos). A primeira fase é de caráter endógeno, envolvendo reações químicas na massa rochosa na zona freática, podendo ainda ocorrer influência de agentes microbiológicos (McFarlane & Twidale, 1987), promove a geração de zonas de alta porosidade. Nesta fase, segundo Simmons (1963), cavidades desenvolvidas nesta fase do processo ocorrem imediatamente abaixo dos mantos de canga, onde o intemperismo do material friável como filitos, xistos ou material detrítico, aliado a maior declividade das encostas sustentadas pelas cangas, acarreta o processo erosivo do material, originando cavidades erosivas.

Posterior a esta fase, o material friável resultante será lixiviado para o exterior através de processos de *piping*, ou semelhante. Este processo tem início na zona freática e pode ter continuidade na zona vadosa quando o *piping* for favorecido. Este processo se dá, preferencialmente, nas bordas de topos de serras, áreas de quebra acentuada do relevo e encostas íngremes onde, o gradiente do lençol freático é mais pronunciado, o que resulta em uma maior velocidade da água subterrânea e concomitante maior capacidade erosiva da mesma. Atingindo a superfície os processos físicos são acentuados. De forma menos incisiva este processo pode assentar-se na estruturação da rocha por constituir-se em um plano de fraqueza mais susceptível a erosão física.

Esta associação de processos e o consequente transporte de material, aliada ao abatimento de blocos, são responsáveis, pela mais expressiva e comum morfologia observada em cavernas de minério de ferro estudadas.

Na fase de dissolução, Simmons (op. Cit.), cita que nesta fase desenvolvem-se no contato com o itabirito. Onde sua morfogênese está relacionada ao teor de minerais solúveis e pela disposição do acamamento do itabirito. Podendo resultar em cavidades com tipologia de salões e condutos semelhantes às observadas em rochas carbonáticas.

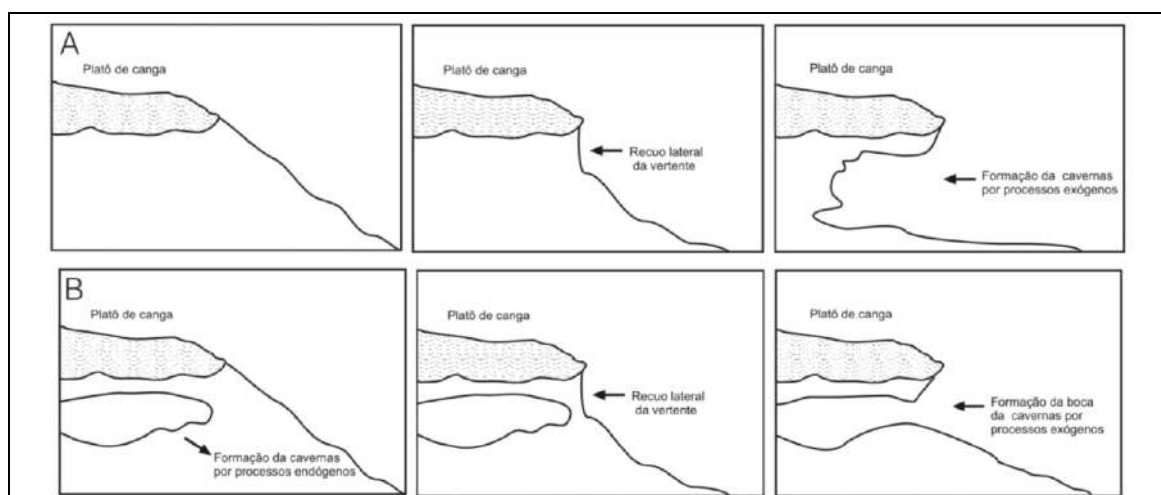


Figura 179– (A) Processo genético de cavidades geradas a partir de processos exógenos (erosivos), onde o substrato subjacente a canga é lateralmente erodida; (B) Processo genético de cavidades formadas por processos endógenos (dissolução), onde zona de contato entre o itabirito e a canga sofre processo de dissolução. Segundo (Stavale, 2007).

e) Unidade Geomorfológica

❖ Abordagem conceitual

A metodologia de classificação de cavidades naturais subterrâneas encontra-se oficialmente definida no Decreto Federal nº 6.640/2008 (que também estabelece a proteção de cavidades naturais subterrâneas no território brasileiro) indicando que sejam classificadas segundo o seu grau de relevância a partir da avaliação de seus atributos biológicos, físicos e socioeconômicos no enfoque local e regional.

A IN 02/2017 MMA regulamentada no decreto anteriormente citado, em seu Art. 2, indica que as cavidades naturais subterrâneas deverão ser avaliadas sob enfoque local e regional. Conforme o Art. 13 §3, o enfoque em **caráter local** deve considerar a “**unidade geomorfológica**”, expressamente compreendida, como aquela que apresenta continuidade espacial e que contempla, no mínimo, a área de influência da cavidade. No **enfoque regional** leva-se em consideração o cenário da “**unidade espeleológica**”, formalmente definida como “*área com homogeneidade fisiográfica podendo congrega diversas formas de relevo cárstico e pseudocárstico delimitada por um conjunto de fatores ambientais específicos para a sua formação*” (art. 13 § 4 e 5).

De forma generalista, a aplicação deste conceito para a variada gama de ambientes cársticos e pseudocársticos é de extrema dificuldade. As diferentes gêneses de ambientes cársticos que vão desde o tipo litológico, passando pelo contexto geomorfológico e ambiente climático em que se inserem, correspondem a fatores regionais, e os aspectos biológicos e socioeconômicos são de caráter local. A variável escala de representatividade compreende um dos fatores primordiais para o tratamento das informações espeleológicas do contexto nestas duas diferentes instâncias.

A primeira instância consiste na abordagem regional, incluindo as informações das unidades espeleológica e geomorfológica. Esta abordagem permite estabelecer a definição preliminar de a área encontrar-se em ambiente favorável ao desenvolvimento e manutenção de feições cársticas, integrando-se ao acervo cárstico/pseudocárstico da unidade espeleológica em que se insere.

- **Delimitação das Unidades Geomorfológicas**

A delimitação das unidades geomorfológicas (UGs) teve como base as determinações estabelecidas no Decreto nº 99.956/90, e alteradas conforme a redação dada pelo Decreto nº 6.640/08 (art. 5 § 3).

O principal critério para a definição da área de abrangência de cada unidade geomorfológica é litológico-fisiográfico. Aliado à avaliação da continuidade espacial por mapas geológicos e hipsométricos, imagem de satélite, ortofoto de alta resolução e da rede hidrográfica.

Pela base litológica-fisiográfica definiu-se as principais unidades geológicas capazes de abrigar estruturas cársticas e pseudocársticas. Estas unidades correspondem, especificamente, a rochas integrantes do Supergrupo Minas, de forma mais restritiva as formações Moeda, Cauê e Gandarela e coberturas lateríticas associadas.

De forma a definir a continuidade espacial, foram observados os dados hipsométricos e da rede de drenagens criando a compartimentação das diferentes UGs. Entre estas estruturas limitantes são consideradas bacias fluviais, planícies de inundação, entre outras, e criando intervalos naturais entre as UGs.

Integrando a UEQF-C, Oliveira et al. (2011) identificaram dez UGs segundo os conceitos estabelecidos pela IN 02/2009:

“... análises referentes ao enfoque local são delimitadas pela unidade geomorfológica que apresente continuidade espacial podendo abranger feições como serras, morrotes ou sistema cárstico o que for mais restritivo em termos de área desde que contemplada pela área de influência da cavidade...” (art. 14 §1).

Na UEQF-C são relatadas as Unidades Geomorfológicas da Serra da Serpentina, Itabira, Monlevade, Serra da Piedade, Morrarias de Dom Bosco, Serra da Gandarela, Serra de Ouro Preto-Antônio Pereira, Escapa Oriental do Caraça, Serra Azul e Serra do Curral – Moeda, sendo está na qual se insere a área do empreendimento em estudo.

❖ **Unidade Geomorfológica Serra do Curral - Moeda**

- Caracterização Regional:

Esta unidade geomorfológica (UG) compreende as extensões serranas que abrangem a borda oeste do QF, imediatamente a sul de Belo Horizonte, seguindo até as cidades de Jeceaba e Congonhas do Campo. Embora apresentando inflexões e variada toponímia (Curral, Moeda e Itabirito) possui expressiva continuidade espacial.

O seguimento da Serra do Curral corresponde ao alinhamento de direção nordeste/sudoeste, na porção norte da unidade geomorfológica. Apresenta cerca de 47 km de extensão e seus limites são dados pelas planícies fluviais dos rios Paraopeba e das Velhas, localizados em suas extremidades sudoeste e nordeste, respectivamente. Em sua porção central se junta às serras da Moeda e de Itabirito, seguindo para sul, respectivamente a oeste e a leste de forma paralela. A Serra da Moeda possui 51 km de extensão, sendo delimitada em sua porção sul, próximo à cidade de Jeceaba por rochas do embasamento num relevo mais arrasado e retrabalhado pelo Rio das Velhas em sua porção montante. Na Serra de Itabirito, sua porção sul é interrompida pelas planícies das cabeceiras do Rio das Velhas. Na região entre as serras da Moeda e Itabirito apresenta uma região com relevo tão escarpado quanto as serras, sustentado por rochas metassedimentares do Grupo Piracicaba, que compreende uma unidade geomorfológica de morrotes.

Suas elevações máximas situam-se em torno de 1.600 m, enquanto seu entorno em geral não passa de 1.000 m de altitude.

Esta UG tem sua compartimentação geomorfológica condicionada a diferentes fatores litoestruturais, onde as diferentes declividades das vertentes e de altimetria estritamente relacionadas à variação litológica geram o modelado do relevo. Este controle é marcante, onde apresenta feições como sinclinais alçados, representados pelo Sinclinal Moeda com cristas do tipo *hog back* ao longo de todo o alinhamento serrano.

Toda a extensão das serras é sustentada mais expressivamente por rochas itabiríticas e hematíticas da Formação Cauê (Grupo Itabira – Supergrupo

Minas) onde sua feição morfoestrutural representa basicamente as cristas mais elevadas, onde as vertentes externas apresentam as litologias mais antigas (expressivamente quartzitos da Formação Moeda) e as vertentes internas representadas por rochas metassedimentares do Grupo Piracicaba.

- Caracterização Local:

A morfoescultura local principal é controlada principalmente por fatores estruturais da configuração das unidades litológicas e dos diferentes níveis de alteração das rochas. O condicionamento das vertentes externas do sinclinal encontra-se com perfil escarpado representando os pontos de ruptura da estrutura frente ao esforço flexural. Estes pontos de ruptura consistem em *hogbaks* que representam uma barreira física praticamente intransponível ao longo dos três alinhamentos principais (Curral, Moeda e Itabirito).

As vertentes internas alçadas pelos esforços impostos apresentam-se flexionadas em direção ao eixo da estrutura, exibindo, à medida que se caminha nesta direção, unidades superiores da coluna estratigráfica regional.

Associado a este contexto estrutural, os materiais em grande maioria são de constituição semi-compacta a compacta, o que promove a geração e manutenção do perfil do terreno com escarpas elevadas e de reduzida erosão. Exceção a esta condição pode ser observada onde os processos erosivos foram mais incidentes promovendo a formação de ravinas e voçorocas com desníveis abruptos nas porções internas do sinclinal e sustentadas por rochas do Grupo Piracicaba.

Depósitos eluviais e detrito-coluvionáres são observados ao longo de todas as escarpas serranas avançando desde as áreas elevadas até as porções mais rebaixadas das encostas. Ao longo das baixas vertentes estes depósitos ocorrem como carapaças lateríticas, embora com reduzida espessura. Estes depósitos lateríticos consolidados representam antigas corridas de detritos, hoje em progressivo processo de erosão remontante.

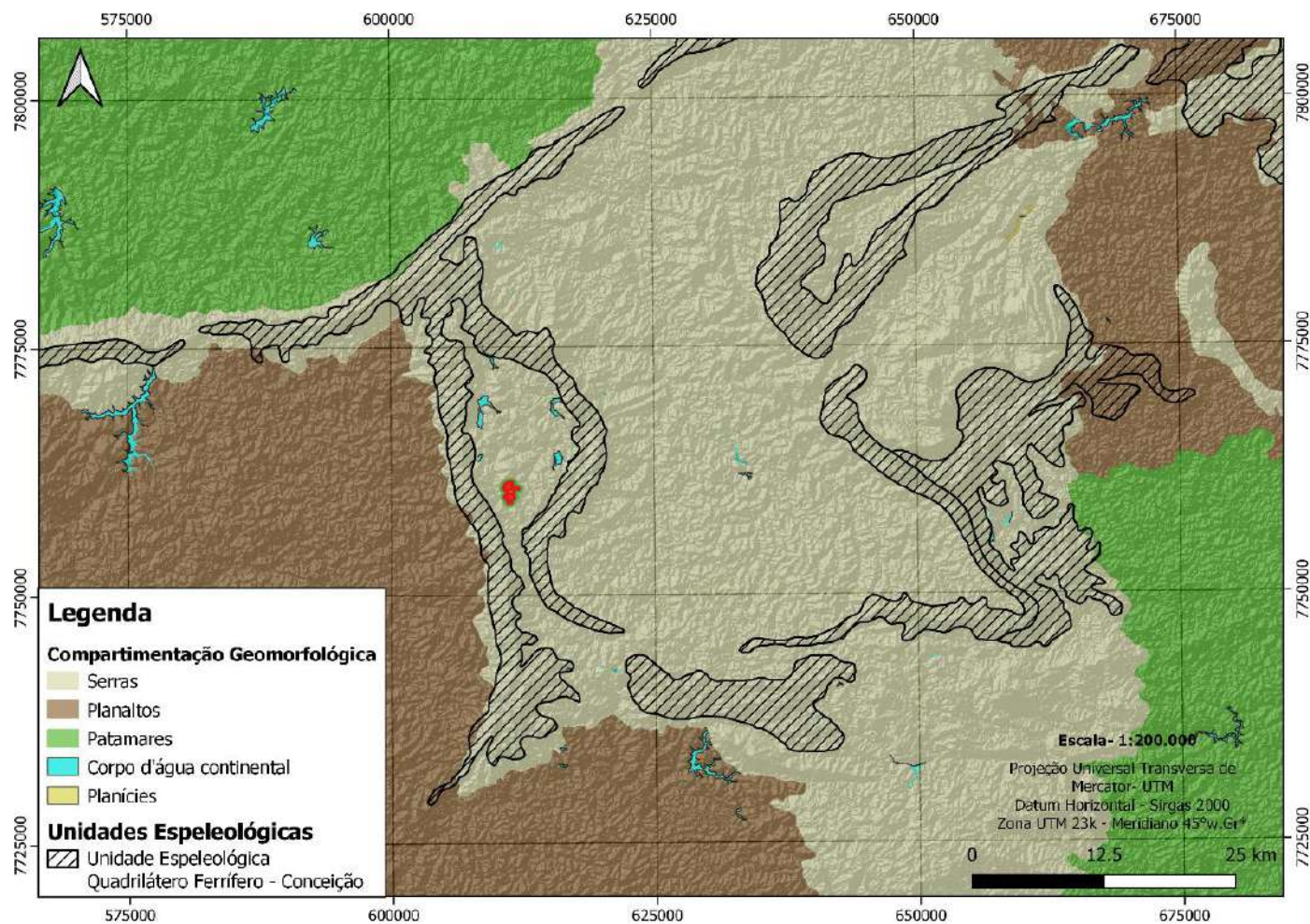


Figura 180 – Compartimentação geomorfológica da região.

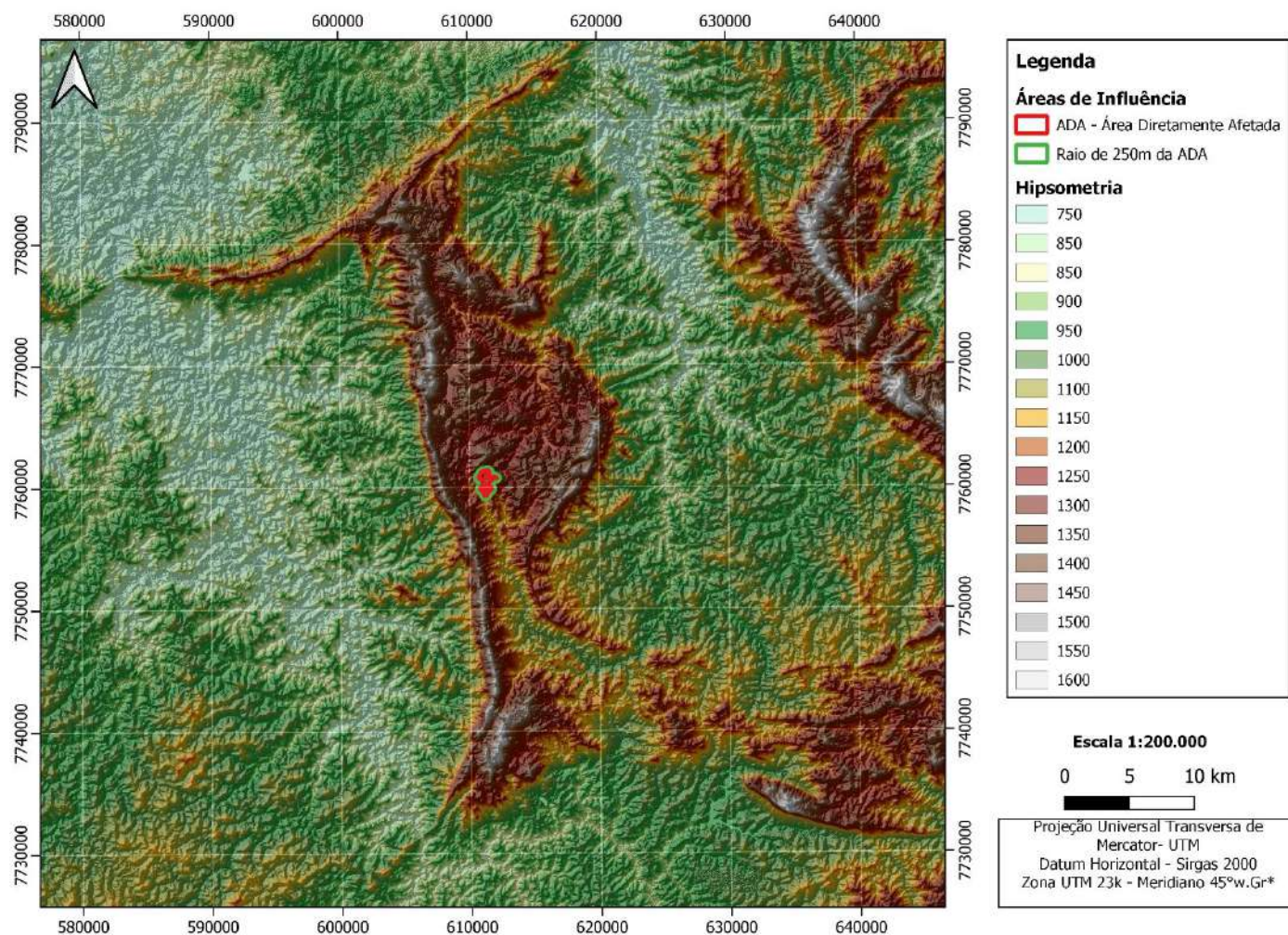


Figura 181 – Mapa Hipsométrico da Unidade Geomorfológica Serra da Serpentina exibindo a posição da área de influência do empreendimento.

❖ Avaliação do Potencial Espeleológico

No contexto da unidade espeleológica abordado no item “Unidade Espeleológica Quadrilátero Ferrífero – Conceição”, o potencial da área seria pouco favorável à presença de feições cársticas e pseudocársticas típicas de canga/itabirito, bem como em quartzito, uma vez que estas litologias ocorrem nas imediações do empreendimento. Ressaltando que devem ser considerados como locais potencialmente favoráveis, nos locais onde há litologias associadas ao Supergrupo Minas, Formação Fecho do Funil, são os terrenos mais passíveis de abrigar feições desta natureza.

Segundo estes aspectos, como critério geral para a identificação de feições cársticas, o conhecimento atual do patrimônio espeleológico brasileiro (nestas litologias), e sua abrangência local constituem-se em fatores redutores do potencial da região. Segundo o conhecimento atual do patrimônio espeleológico brasileiro existente, e a estimativa do potencial ainda desconhecido, encontram-se expresso na tabela abaixo:

Tabela 49 - Estimativa do potencial espeleológico brasileiro em relação a cavernas conhecidas e sua respectiva litologia (modificado de Piló & Auler, 2005).

Litologia	Nº de cavernas conhecidas	Provável potencial (cavernas ainda não conhecidas)	Porcentagem de cavernas conhecidas
Carbonatos	9.524	> 150.000	< 6,35%
Quartzitos/Arenitos	2.485	> 100.000	< 2,48%
Minério de Ferro/canga	2.517	> 10.000	< 25,17%
Outras Litologias	3.832	> 50.000	< 7,66%

Segundo estes dados, as cavidades em carbonatos constituem-se no principal acervo de cavidades existente e com potencial futuro, no entanto esta litologia ocorre de forma inexpressiva na região. Exposições desta litologia são observadas nos limites SW do Raio de 250 m da ADA do empreendimento.

Em relação ao acervo conhecido (em número de cavidades), as cavidades em quartzito/arenito têm expressão reduzida. No entanto seu potencial futuro para prospecções é elevado. Em função da compartimentação geológica, esta litologia não ocorre na vizinhança imediata do empreendimento.

O acervo espeleológico associado ao minério de ferro/canga corresponde ao patrimônio mais amplamente conhecido em relação ao potencial prospectivo. Este maior conhecimento é devido, principalmente, ao grande esforço empreendido pela cadeia produtiva mineral, em busca de conhecimento para subsidiar os licenciamentos ambientais de seus empreendimentos e garantir a preservação do patrimônio espeleológico nacional relevante.

No entanto este maior conhecimento do patrimônio espeleológico em minério de ferro/canga apresenta-se localmente como fator negativo a evidenciação de novas feições cársticas/pseudocársticas na região. Os terrenos da Unidade Espeleológica Quadrilátero Ferrífero atualmente são amplamente explorados e percorridos em toda a sua extensão (incluindo os limites do empreendimento) de forma a evidenciar este potencial espeleológico. As porções de terreno natural presentes frente às atividades de lavra implantadas. Assim o potencial para existência de cavidades nesta litologia, e neste empreendimento é bastante restrito.

O potencial prospectável de cavidades em outras litologias é restrito em relação ao acervo conhecido, implicando em grande potencial para o futuro. No entanto, este fator é irrelevante para a região, uma vez que outras litologias capazes de abrigar relevo cárstico não se apresentam com grande expressão no arcabouço litológico local, ou suas condições geomorfológicas não são favoráveis.

Ainda entre os dados bibliográficos, o contexto geomorfológico local, na figura da Unidade Geomorfológica Serra do Curral - Moeda, bem como os terrenos abrangidos pelas áreas de influência do empreendimento, seu conjunto horográfico é favorável à existência de cavidades nas faixas de terreno abrangidos por formações ferríferas e depósitos de canga, desenvolvidas sobre estas unidades e encostas da serra (também quando estes depósitos lateríticos se desenvolvem sobre os demais terrenos).

Em termos gerais verifica-se que em toda a abrangência do presente estudo (ainda com feições naturais preservadas) existe pouca ocorrência de exposições de rochas itabiríticas, tendo em sua maioria a exposição de rochas dolomíticas e depósitos detrítico lateríticos consolidados.

Uma grande porção da ADA definida encontra-se em terrenos que em sua grande maioria já se encontram antropizados, em grande parte sobre litologias de elevado potencial espeleológico, a porção central apresenta de aspecto mais suavizado e de baixa declividade. A porção centro oeste da ADA e a porção sudoeste do raio de 250 m se encontram em terrenos onde ainda são preservadas as feições naturais e com ocorrência de litologias de possível potencial espeleológico.

Principal fator redutor do potencial espeleológico corresponde à ausência de litologias aflorantes com condições favoráveis a geração e preservação de feições cársticas. Estas condições desqualificam parcialmente estas áreas (toda a extensão da ADA) como favoráveis a presença de estruturas espeleológicas.

Além destes caracteres, diversos outros aspectos devem ser considerados para avaliação do potencial espeleológico, sendo que sua abordagem será apresentada nos itens a seguir.

❖ **Mapa de Potencial Espeleológico**

i. Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil (Escala 1:2.500.000)

Segundo o Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil na escala 1:2.500.000 (CECAV-ICMBio, 2012), a área de influência do empreendimento encontra-se em local com potencial identificado como variando de muito alto a alto, para a ocorrência de cavidades.

No entanto, a grande escala deste mapa, associada à base cartográfica utilizada na sua elaboração (Mapa Geológico do Brasil, em escala 2.500.000 – CPRM), não permite a realização de uma avaliação aceitável para um levantamento de detalhe, bem como para as dimensões da ADA em questão.

Na escala deste mapa cada centímetro corresponde a vinte e cinco mil metros (25 km), em termos de área cada centímetro quadrado (1 cm²) corresponde a 6.250 hectares. A ADA deste licenciamento possui área total de 86.98 hectares. Portanto, a menor dimensão de detalhe deste mapa é cerca 71,85 vezes maior que a dimensão da ADA, o que não permite uma avaliação criteriosa do real potencial

espeleológico local. Condição esta que superestima o potencial espeleológico do alvo em licenciamento. Assim informações em menor escala permitem uma avaliação adequada deste aspecto.

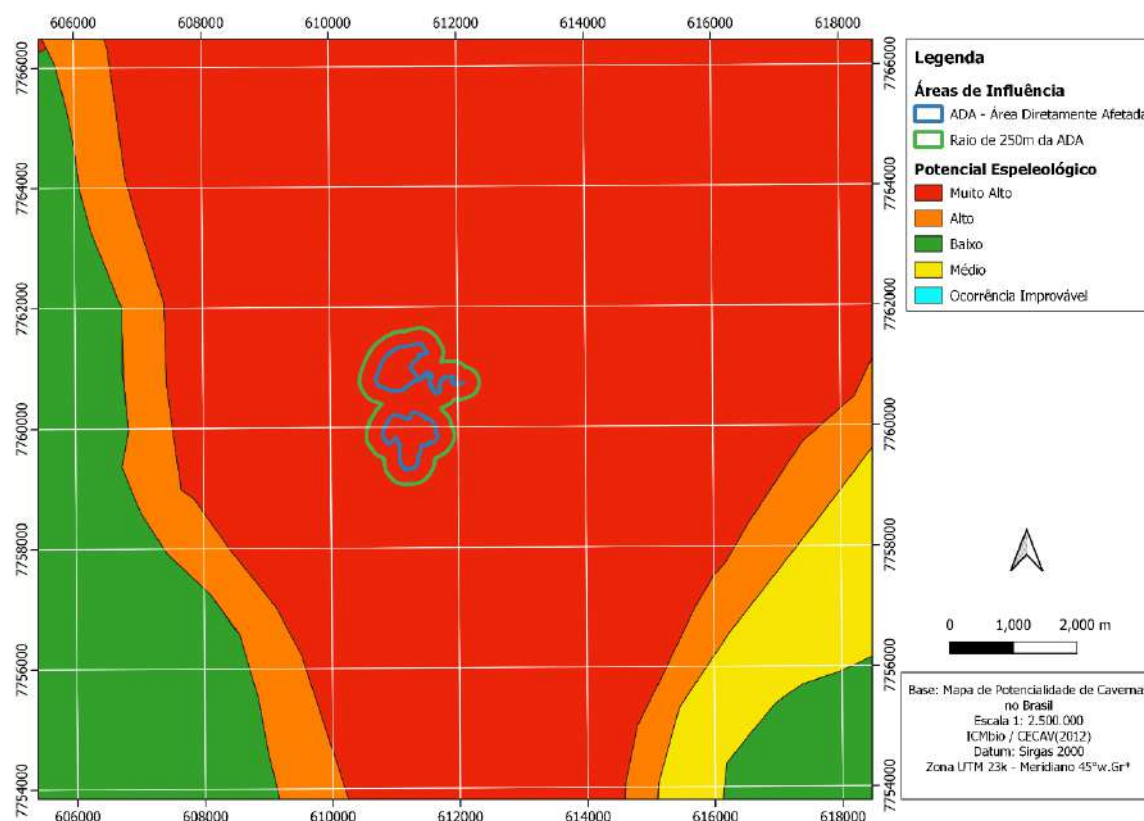


Figura 182 - Mapa de potencial espeleológico da região onde se insere o empreendimento, segundo o potencial estabelecido pelo CECav-ICMBio (Escala 1:2.500.000).

i. Mapa de Potencialidade de Ocorrências de Cavernas –Mapa Geológico da Folha Casa de Pedra, SF.23-X-A-III-3 e Mapa Geológico da folha Itabirito SF.23-X-A-III-1 (CODEMIG/UFMG 2005) (Escala 1:50.000)

Segundo a metodologia adotada a área com potencial elevado para ocorrência de cavidades corresponde as litologias (formação ferrífera bandada). Segundo os mesmos critérios adotados para a geração do mapa de potencial do CECav-ICMBio foi elaborado um mapa de potencial em escala de maior detalhe (1:50.000) como base no Mapa Geológico da Folha Casa de Pedra, SF.23-X-A-III-3 e Mapa Geológico da folha Itabirito SF.23-X-A-III-1 (CODEMIG/UFMG 2005).

Este mapa detalha a geologia local e retrata de forma mais assertiva seu real potencial espeleológico.

Segundo este mapa, a compartimentação geológica da área abrange além de rocha itabirítica (potencial elevado), e rochas gnáissicas (potencial baixo). Neste sentido fica claro que as áreas com potencial elevado são restritas, portanto, o potencial geral da área do empreendimento é baixo.

No próprio trabalho de Jansen *et al.*, 2014, os autores propõem esta medida (geração de um mapa de detalhe para o potencial espeleológico) como forma de ressaltar de forma assertiva o real potencial em nível local:

“Considerando o aumento na produção do conhecimento do Patrimônio Espeleológico e dos ambientes cársticos provenientes de dados de prospecção e estudos espeleológicos ligados a processos de licenciamento ambiental e de novas pesquisas de universidades e grupos de Espeleologia, bem como o desenvolvimento tecnológico de instrumentos ligados ao geoprocessamento, entendemos ser necessária a adaptação da metodologia utilizada, em escala mais detalhada, de forma a contemplar as diferentes litologias que compõem determinada Região Cárstica”.

Na escala deste mapa cada centímetro corresponde a 500 metros (0,5 km), em termos de área cada centímetro quadrado (1 cm²) corresponde a 50 hectares. A ADA deste licenciamento possui área total de 86,98 hectares. Portanto, a menor dimensão de detalhe deste mapa é cerca de Uma vírgula Setenta e Quatro (1,74) vezes menor que a dimensão da ADA. Assim o mapa gerado para um maior nível de detalhe retrata de forma mais assertiva o real potencial espeleológico da região onde se insere a área do presente licenciamento.

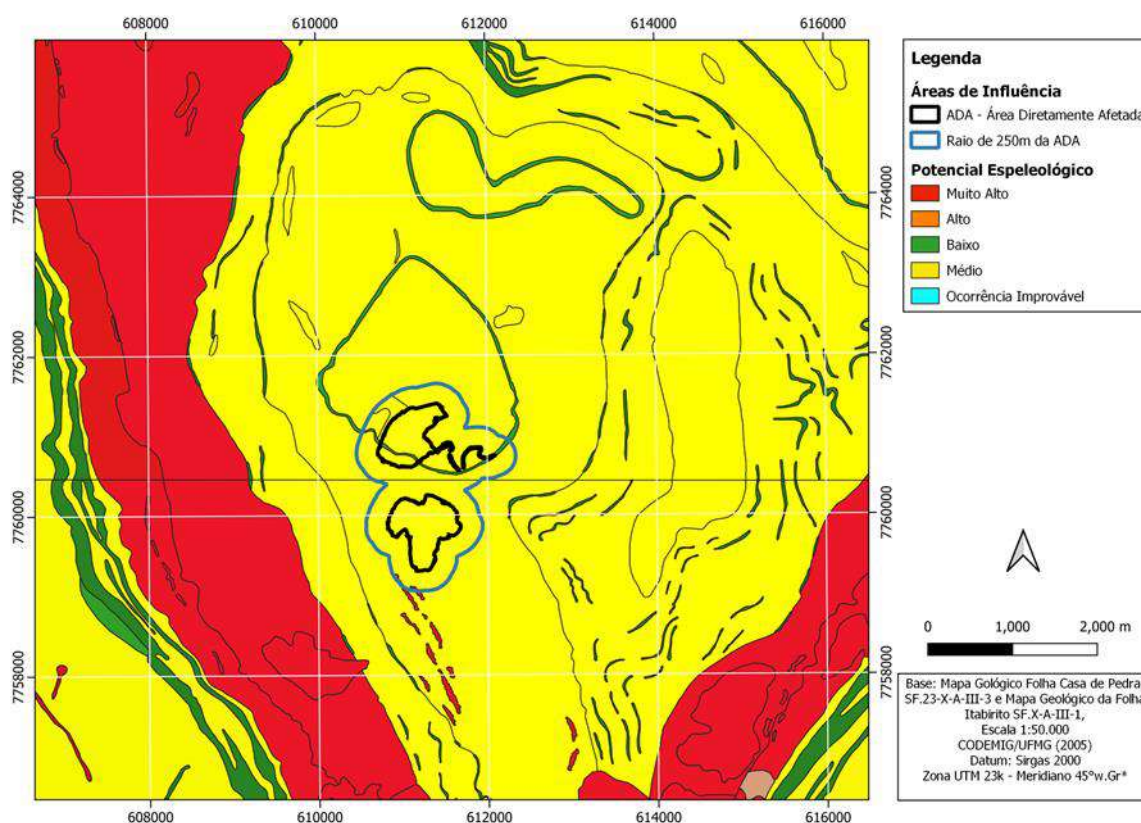


Figura 183 - Mapa de potencial espeleológico das Folhas Casa de Pedra e Itabirito para a região onde se insere o empreendimento, seguindo os critérios de potencial estabelecidos pelo CECav-ICMBio.

Segundo este mapa de detalhe do potencial espeleológico, a área do presente licenciamento encontra-se em terrenos de compartimentação geológica com potencial espeleológico médio. No local ocorrem rochas intensamente intemperizadas e com espesso manto de alteração, condição essa que reduz sobremaneira o potencial espeleológico.

❖ **Determinação da Densidade de Caminhamentos**

Seguindo os critérios adotados em Jansen (2014) estabeleceu-se o potencial espeleológico preliminar para o presente licenciamento. Partindo deste pressuposto, como passo seguinte é preciso determinar a densidade de caminhamentos necessários à plena avaliação do patrimônio espeleológico.

Para a definição da densidade de caminhada necessário nos trabalhos de prospecção espeleológica são estabelecidos critérios na IS-SISEMA-08/2017. Estes critérios foram definidos com base no que foi proposto e

apresentado no GT2 (Grupo de Trabalho 2) do Comitê Consultivo da IN02/2009 MMA (proposta apresentada pela REDESPELEO), sendo reformulados na IS-SISEMA - 08/2017 para adequar-se as especificidades desta temática, hoje existentes.

Conforme esta proposição da REDESPELEO, modificada e adotada pela IS-SISEMA- 08/2017, os caminhamentos da prospecção devem apresentar adensamento diferenciado para cada um dos níveis de potencial espeleológico preliminar obtido.

Tabela 50 - Densidade de caminhada espeleológica a ser realizado na prospecção espeleológica de áreas de mineração.

Potencial Espeleológico	Densidade da Malha de Caminhamento a ser adotada na Prospecção
Muito Alto a Alto	20 km/km ²
Médio	10 km/km ²
Baixo	5 km/km ²
Ocorrência Improvável	3 km/km ²

Neste caso, o potencial preliminar observado foi Médio. Assim, o mais adequado seria adotar como referência o maior potencial definido na área. Sendo este potencial muito alto, a densidade adequada seria de **20 km/km²** (para cada km² de área deve-se percorrer cerca de 20 km). A área a ser levantada incluindo a **ADA (86,98 Ha)** e seu **Raio de 250 metros (220,72 Ha)** possui **307,70 Ha (3,07km²)**, assim para seu adequado recobrimento seriam **necessários 61,4 km de caminhada**.

Dessa forma todo o detalhamento necessário foi adotado para a verificação plena do potencial espeleológico da área de influência deste licenciamento.

i. Caminhamento Espeleológico

Segundo os critérios estabelecidos nos itens anteriores, sobretudo quanto a densidade mínima de caminhada, a ser adotada foram realizados os trabalhos de prospecção espeleológica na ADA acrescida de seu raio de 250

metros. Nestes caminhamentos acumulou-se um total de 128,93 km percorridos. Após esta expressiva amostragem do terreno foram identificadas 3 feições cársticas/pseudocársticas em feições geomorfológicas favoráveis a gênese destas estruturas na superfície do empreendimento.

Este total de caminhamentos realizados corresponde a uma densidade de 41,99 km/km², densidade esta superior à indicada pela IS-SISEMA - 08/2017, para áreas com potencial médio para presença de feições cársticas, e próxima a densidade demandada para áreas com potencial alto/muito alto.

Ressalta-se ainda que, a Herculano Mineração já possuía expressivo quantitativo de caminhamentos, os quais em parte abrangem a área avaliada neste estudo. Estes caminhamentos adicionais também foram considerados na avaliação da prospecção espeleológica. Estes caminhamentos adicionais correspondem a parte dos caminhamentos de avaliação neste estudo, os quais foram complementados com novos caminhamentos. Destaca-se que todos os caminhamentos utilizados já foram validados em vistorias de licenciamentos anteriores, bem como os pontos de destaque levantados foram verificados, não sendo relatada nenhuma cavidade.

Estes caminhamentos foram realizados no ano de 2015 e complementação foi executada em agosto de 2025, por uma equipe composta por um Geólogo e um auxiliar de campo, do quadro da Herculano Mineração Ltda.

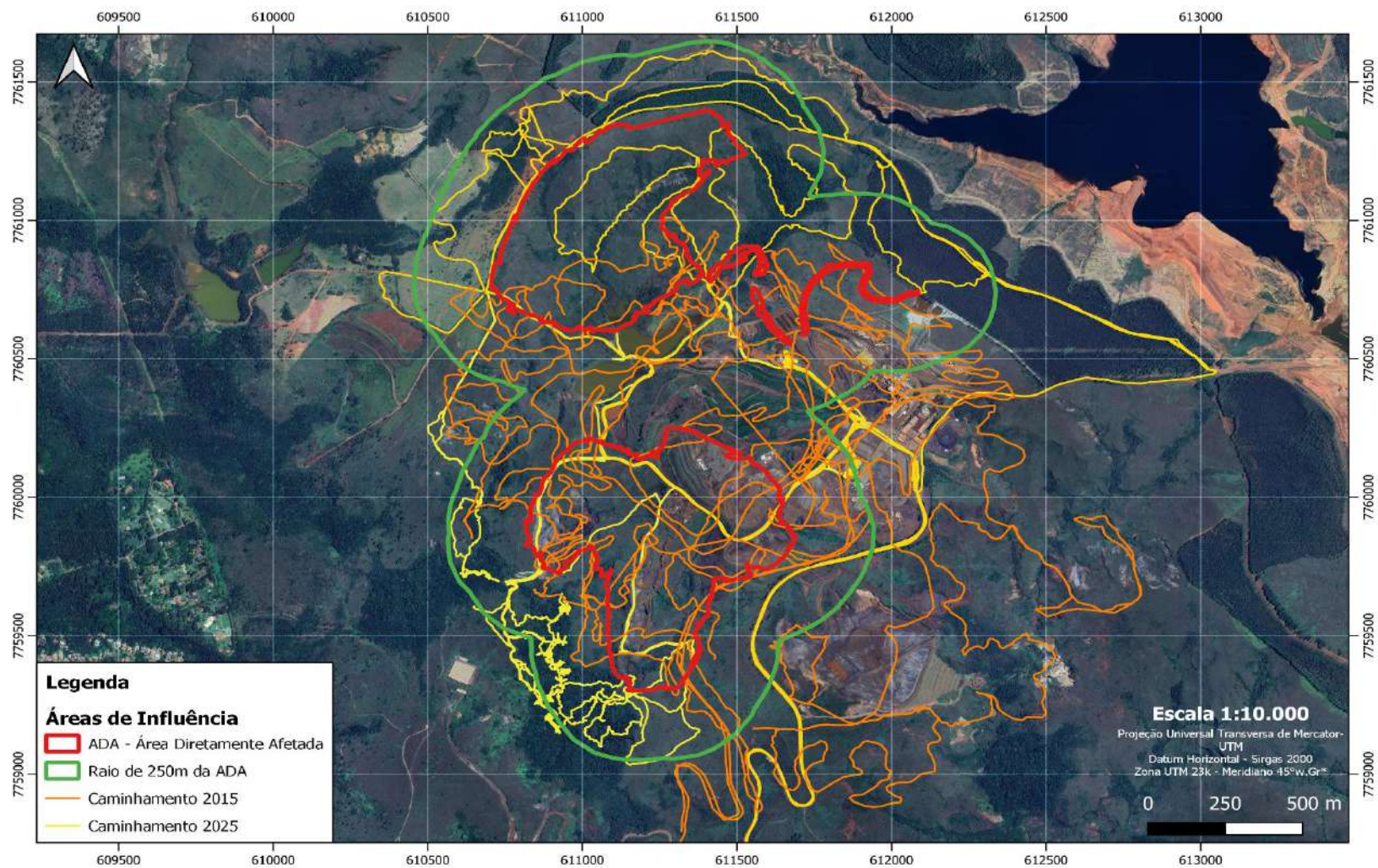


Figura 184 - Caminhamento Espeleológico.

- **Pontos de Controle**

Este caminhamento seguiu um padrão de detalhamento onde todos os prováveis pontos de ocorrência de cavidades foram averiguados e outros com menor potencial foram amostrados, onde se buscou cobrir toda extensão de área geológica/geomorfológica favorável da ADA.

Foram plotados e descritos um total de 31 pontos de caminhamento, dos quais pode se constatar três pontos (19, 22, 23) com evidência de feições cársticas/pseudocársticas, nos limites da ADA.

Destacando que o ponto 19 apesar de possuir dimensões mais expressivas, esse ponto está localizado fora das áreas de influência do presente estudo.

As outras estruturas localizadas nos pontos 22 e 23 foram identificadas como abrigos o que não caracteriza cavidade natural subterrânea.

A prospecção espeleológica foi realizada preferencialmente nas extensões de terreno natural favorável a existência de feições cársticas/pseudocársticas. Estes terrenos encontram-se em grande maioria na porção S/SW, da área de estudo. Os terrenos que incidem na porção NE da área encontram-se amplamente descaracterizados pelas atividades de lavra, e estruturas operacionais do empreendimento, mesmo assim foram percorridos com grande detalhamento para uma avaliação de pontos passíveis de ocorrência de cavidades.

A seguir são apresentadas as descrições dos pontos de caminhamento com suas respectivas localizações (coordenadas UTM) na área de estudo.

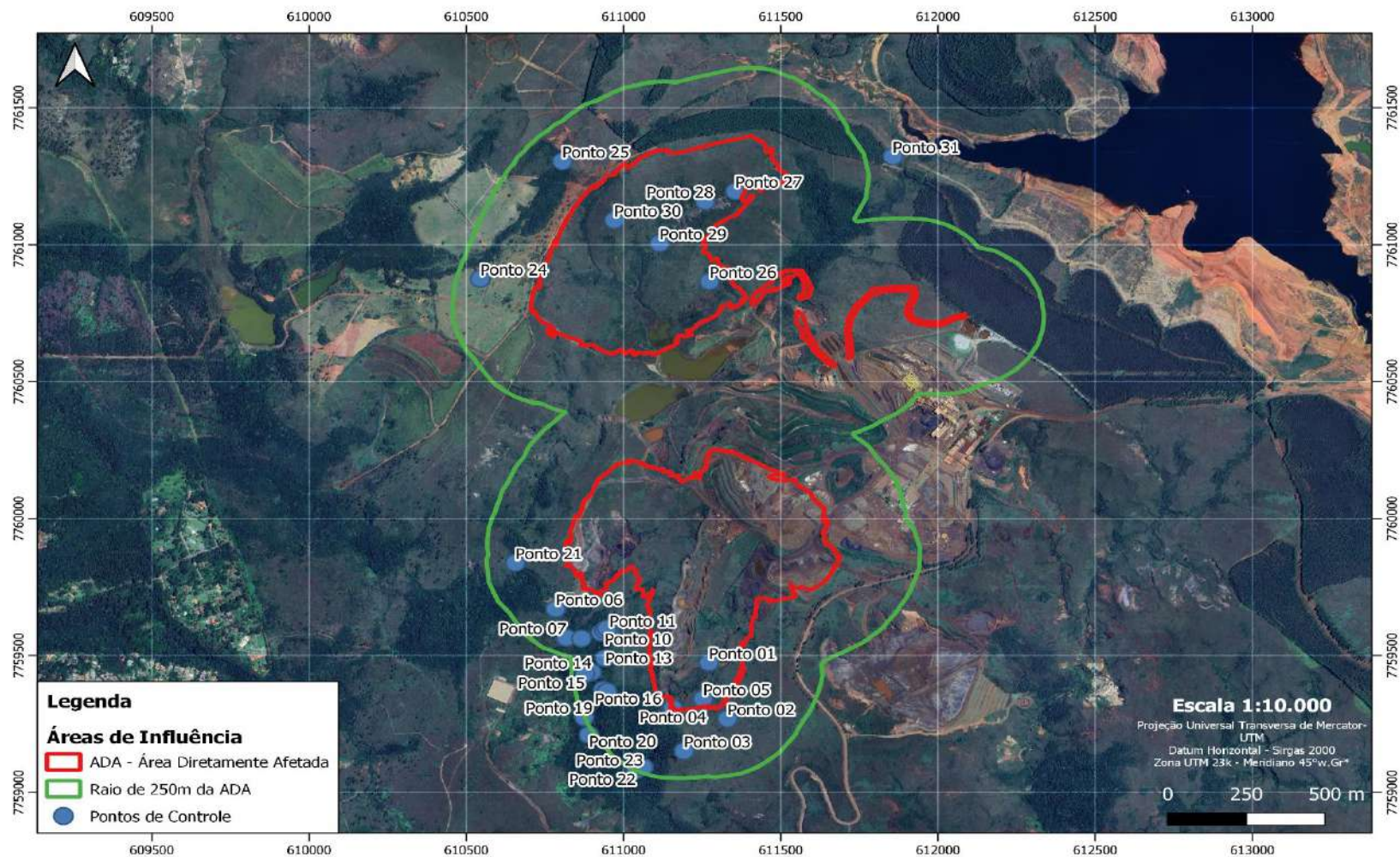














Figura 185 - Pontos de Campo.




Ponto	Coordenadas UTM		Descrição	Foto
	E (m)	N (m)		
001	611271.504	7759473.944	Gretas de ressecamento na porção centro sul da área do estudo.	
002	611330.766	7759269.131	Vista da porção N da área, imagem captada da porção S, em primeiro plano pode se notar a vegetação típica do cerrado e ao fundo a morfologia do relevo mediamente ondulado.	
003	611192.137	7759151.704	Vista da porção SW da área, imagem captada da porção S, em primeiro plano pode se notar a vegetação típica do cerrado e ao fundo a morfologia do relevo ondulado.	




Ponto	Coordenadas UTM		Descrição	Foto
	E (m)	N (m)		
004	611156.794	7759307.994	Vista da parte central da área, nota se em primeiro plano uma grande voçoroca, caracterizando o local de implantação da pilha de estéril do empreendimento. Área sem vestígios de feição cárstica.	
005	611252.897	7759341.798	Blocos rolados de formação ferrífera na porção S da área, a vegetação típica do cerrado é predominante nessa porção da área. Sem nenhum vestígio de feição cárstica.	
006	610784.665	7759670.434	Em primeiro plano a drenagem do Ribeirão Silva, em segundo plano a estação de bombeamento.	



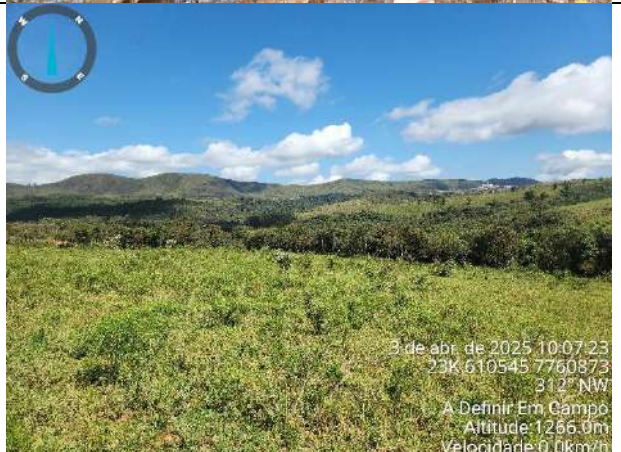
Ponto	Coordenadas UTM		Descrição	Foto
	E (m)	N (m)		
007	610817.52	7759565.407	Reentrância gerada pela sobreposição de blocos fraturados de dolomito.	
008	610866.177	7759562.66	Reentrância gerada pela sobreposição de blocos fraturados de dolomito.	
009	610928.151	7759584.288	Reentrância formada por fratura em grandes blocos de dolomito apresenta abertura estreita e baixo desenvolvimento linear.	




Ponto	Coordenadas UTM		Descrição	Foto
	E (m)	N (m)		
010	610939.59	7759592.626	Bloco em ângulo negativo, desenvolvido em litologia dolomítica, área sem vestígios de ocupação da fauna local.	 27 de ago. de 2024 09:40:24 23K 610945 7759592 301° NW Itabirito Minas Gerais Altitude: 1163.0m Velocidade: 0.0km/h
011	610955.153	7759592.637	Claraboia de acesso a abrigo de pequeno porte, feição desenvolvida em litologia dolomítica.	 27 de ago. de 2024 09:56:49 23K 610948 7759600 245° SW Alameda Pico do Itacolomi Itabirito Minas Gerais Altitude: 1192.0m Velocidade: 0.0km/h
012	610947.674	7759598.994	Reentrância desenvolvida em rocha dolomítica apresenta abertura em forma de claraboia na parte superior, apresenta baixo desenvolvimento linear.	 27 de ago. de 2024 10:06:43 23K 610944 7759600 273° W Itabirito Minas Gerais Altitude: 1173.7m Velocidade: 0.0km/h




Ponto	Coordenadas UTM		Descrição	Foto
	E (m)	N (m)		
013	610941.542	7759490.011	Reentrância entre blocos fraturados de Dolomito	 <p>27 de ago. de 2024 10:31:47 23K 609584 7758870 300° NW 40 Caminho Serra da Saudade Itabirito Minas Gerais Altitude: 1065m</p>
014	610897.975	7759439.377	Reentrância desenvolvida em litologia dolomítica formado em zona de fraturamento entre blocos, apresenta baixo desenvolvimento linear e baixa projeção horizontal.	 <p>27 de ago. de 2024 13:32:09 23K 610884 7759441 243° SW 40 Caminho Serra da Saudade Itabirito Minas Gerais Altitude: 1181.9m Velocidade: 0.0km/h</p>
015	610876.941	7759433.203	Reentrância gerada pela sobreposição de blocos fraturados de dolomito.	 <p>27 de ago. de 2024 13:37:52 23K 610871 7759430 187° S 40 Caminho Serra da Saudade Itabirito Minas Gerais Altitude: 1175.7m Velocidade: 0.0km/h</p>


Ponto	Coordenadas UTM		Descrição	Foto
	E (m)	N (m)		
016	610935.165	7759375.164	Abrigo formado pela ação das águas do Ribeirão Silva, abrigo localizado dentro da calha principal da drenagem.	 <p>27 de ago. de 2024 14:21:04 23K 610933 7759380 211° SW Rua Caminho Serra da Canastra Itabirito Minas Gerais Altitude: 1164,3m Velocidade: 0,0km/h</p>
017	610946.085	7759367.789	Reentrância desenvolvida em litologia dolomítica formada em zona de fraturamento entre blocos apresenta baixo desenvolvimento linear e baixa projeção horizontal.	 <p>27 de ago. de 2024 14:29:30 23K 610963 7759398 119° SE 40 Caminho Serra da Saudade Itabirito Minas Gerais Altitude: 1161,5m Velocidade: 0,0km/h</p>
018	610948.18	7759368.771	Reentrância, formada em blocos sobrepostos de dolomito, possui duas aberturas.	 <p>27 de ago. de 2024 14:34:19 23K 610955 7759374 253° W 40 Caminho Serra da Saudade Itabirito Minas Gerais Altitude: 1104,3m Velocidade: 0,0km/h</p>

Ponto	Coordenadas UTM		Descrição	Foto
	E (m)	N (m)		
19	610935.165	7759375.164	Cavidade as margens do Ribeirão do Silva, feição formada pela ação das águas do ribeirão inserida em área de inundação, a cavidade está localizada fora do raio de 250 m da ADA.	 A photograph showing a natural rock cavity or cave entrance. The rock is reddish-brown and appears to be part of a larger geological formation. A wooden stick is placed on the ground in front of the cavity for scale. The ground is covered with dry leaves and debris. A compass rose is visible in the top left corner of the photo. Metadata in the bottom right corner reads: 27 de ago. de 2024 15:05:34, 227° SW, Altitude: 1190.5m, Velocidade: 0.0km/h.
20	610946.085	7759367.789	Bloco em ângulo negativo, desenvolvido em litologia dolomítica, ponto localizado fora do Raio de 250 m.	 A photograph of a large, light-colored rock block (dolomite) protruding from a cliff face. A person in a blue uniform and helmet is standing next to the block for scale. The background shows a steep, rocky slope. A compass rose is visible in the top left corner of the photo. Metadata in the bottom right corner reads: 30 de ago. de 2024 09:04:40, 23K 610893 7759206, 107° E, Altitude: 1169.8m, Velocidade: 0.9km/h.
021	610656.116	7759838.498	Calha do Ribeirão do Silva exibindo baixa carga de sedimentos composta principalmente por fragmentos de filito e quartizito.	 A photograph of a dry, rocky stream bed (calha) surrounded by dense vegetation. The stream bed is composed of various rock fragments, including filite and quartzite. A compass rose is visible in the top left corner of the photo. Metadata in the bottom right corner reads: 30 de ago. de 2024 11:39:16, 23K 610653 7759839, 150° SE, Altitude: 1173.7m, Velocidade: 0.0km/h.

Ponto	Coordenadas UTM		Descrição	Foto
	E (m)	N (m)		
22	611039.29	7759080.855	Abrigo em litologia dolomítica as margens do Ribeirão do Silva. Abrigo formado pela ação das águas durante o período de cheias.	 <p>23 de set. de 2024 09:44:03 23K 611039.29 7759080.855 298° NW Itapirita Altitude: 1205.0m Velocidade: 0.0km/h</p>
23	611062.555	7759092.88	Abrigo em litologia dolomítica as margens do Ribeirão do Silva. Abrigo formado pela ação das águas durante o período de cheias.	 <p>23 de set. de 2024 09:38:59 23K 611062.555 7759092.88 151° SE Itapirita Altitude: 1139.2m Velocidade: 0.0km/h</p>
24	610544.4	7760875.198	Vista da porção NW do raio de 250 m, área de pastagens destinada a criação de gado.	 <p>3 de abr. de 2025 10:07:23 23K 610544.4 7760875.198 312° NW A Definir Em Campo Altitude: 1266.0m Velocidade: 0.0km/h</p>

Ponto	Coordenadas UTM		Descrição	Foto
	E (m)	N (m)		
25	7761304.525	610805.166	Efeito erosivo causado pela percolação de água próxima a uma drenagem, material sem sustentação para ser caracterizado como feição cárstica.	 8 de mai. de 2025 10:46:10 23K 610805 7761299 128° SE Itabirito Altitude: 1392.5m Velocidade: 0.0km/h
26	611273.57	7760865.651	Área de campo, vista para a área da ITM, o local não apresenta indícios de feições cársticas.	 8 de mai. de 2025 08:48:53 23K 611274 7760865 141° SE Itabirito Altitude: 1269.4m Velocidade: 0.0km/h
27	611355.291	7761195.401	Detalhe da ação erosiva exposta nas vertentes da voçoroca, local não apresenta incidência de feições cársticas.	 8 de mai. de 2025 09:12:03 23K 611354 7761194 76° E Itabirito Altitude: 1332.2m Velocidade: 0.0km/h

Ponto	Coordenadas UTM		Descrição	Foto
	E (m)	N (m)		
28	611259.259	7761157.944	Detalhe da litologia presente no ponto representada por filitos cinza a prateados, friáveis.	 8 de mai. de 2025 09:21:45 23K 611259 7761156 1811 S Altitude: 1295.3m Velocidade: 0.0km/h
29	611114.747	7761005.025	Vista do talvegue inserido na área pretensa a instalação da pilha norte, local não possui incidência de feições cársticas.	 8 de mai. de 2025 10:11:00 23K 611115 7761006 62° NE Itabirito Altitude: 1238.9m Velocidade: 0.0km/h
30	610970.297	7761089.297	Vista da porção N-NE, ao fundo nota-se a o local de implantação da pilha norte, um dos objetos do licenciamento, área sem presença de feições espeleológicas.	 8 de mai. de 2025 11:08:46 23K 610970 7761088 109° E Itabirito Altitude: 1295.4m Velocidade: 0.0km/h

Ponto	Coordenadas UTM		Descrição	Foto
	E (m)	N (m)		
31	611855.854	7761322.001	Vista do limite NE do raio de 250m ao fundo observa se a barragem de Maravilhas da Vale, região sem presença de feições espeleológicas.	 <p>9 de mai. de 2025 09:42:57 23K 611857 7761319 125° SE Itabirito Altitude: 1306,3m Velocidade: 0.0km/h</p>

f) Conclusões

Avaliados todos os aspectos teóricos, consultadas base de dados oficiais, e realizadas todas as verificações necessárias com a campanha de prospecção espeleológica conclui-se que a Área Diretamente Afetada do empreendimento, bem como a extensão de seu raio de 250 metros, não possui estruturas cársticas/pseudocársticas em superfície, bem como não apresentam indícios físicos da presença de estruturas endocársticas que apresentem relevância.

As características ressaltadas na descrição das Unidades Espeleológica e Geomorfológica da região, bem como toda a metodologia adotada para a definição das áreas favoráveis ou não favoráveis à presença de feições cársticas/pseudocársticas, indicaram a inexistência de potencial espeleológico em formações ferríferas e depósitos detriticos ferruginosos e litologias carbonáticas.

No que se referem às cavidades cadastradas no CECV-ICMBio, estas se encontram a uma distância superior a 2.5 km. Esta distribuição espacial permite descaracterizar qualquer influência do empreendimento ocasionando em interferências sobre elas.

Neste sentido, conforme se encontra expresso na IS-SISEMA- 08/2017, não são pertinentes a este licenciamento as demais obrigações necessárias a avaliação do patrimônio espeleológico.

Mesmo diante da desobrigação foi realizado o mapeamento e caracterização das feições identificadas na área do estudo, a partir dessas

informações foi elaborado o relatório sobre Critérios Locacionais anexado aos documentos do SLA (SEMAD) (Sistema de Licenciamento Ambiental).

6.1.7 Recursos Hídricos e qualidade das águas superficiais e de sedimentos de fundo

6.1.7.1 HIDROGRAFIA REGIONAL

O município de Itabirito, município onde se encontra a Herculano Mineração, insere-se na bacia hidrográfica do rio das Velhas. Esta, por sua vez, está localizada na região central do Estado de Minas Gerais, entre as latitudes 17°15'S e 20°25'S e longitudes 43°25'W e 44°50'W. Ela corresponde à Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPCRH) SF5 (São Francisco 5).

A nascente principal do rio das Velhas encontra-se no município de Ouro Preto, especificamente dentro do Parque Municipal Cachoeira das Andorinhas, numa altitude de, aproximadamente, 1.500 m. A área da bacia compreende uma área de 27.850 km², sendo que o rio principal percorre uma distância de 806,84 km, até desaguar no rio São Francisco em Barra do Guaicuí, distrito de Várzea da Palma, em uma altitude de 478 m. Cabe mencionar que o rio das Velhas é o maior afluente em extensão da Bacia do Rio São Francisco.

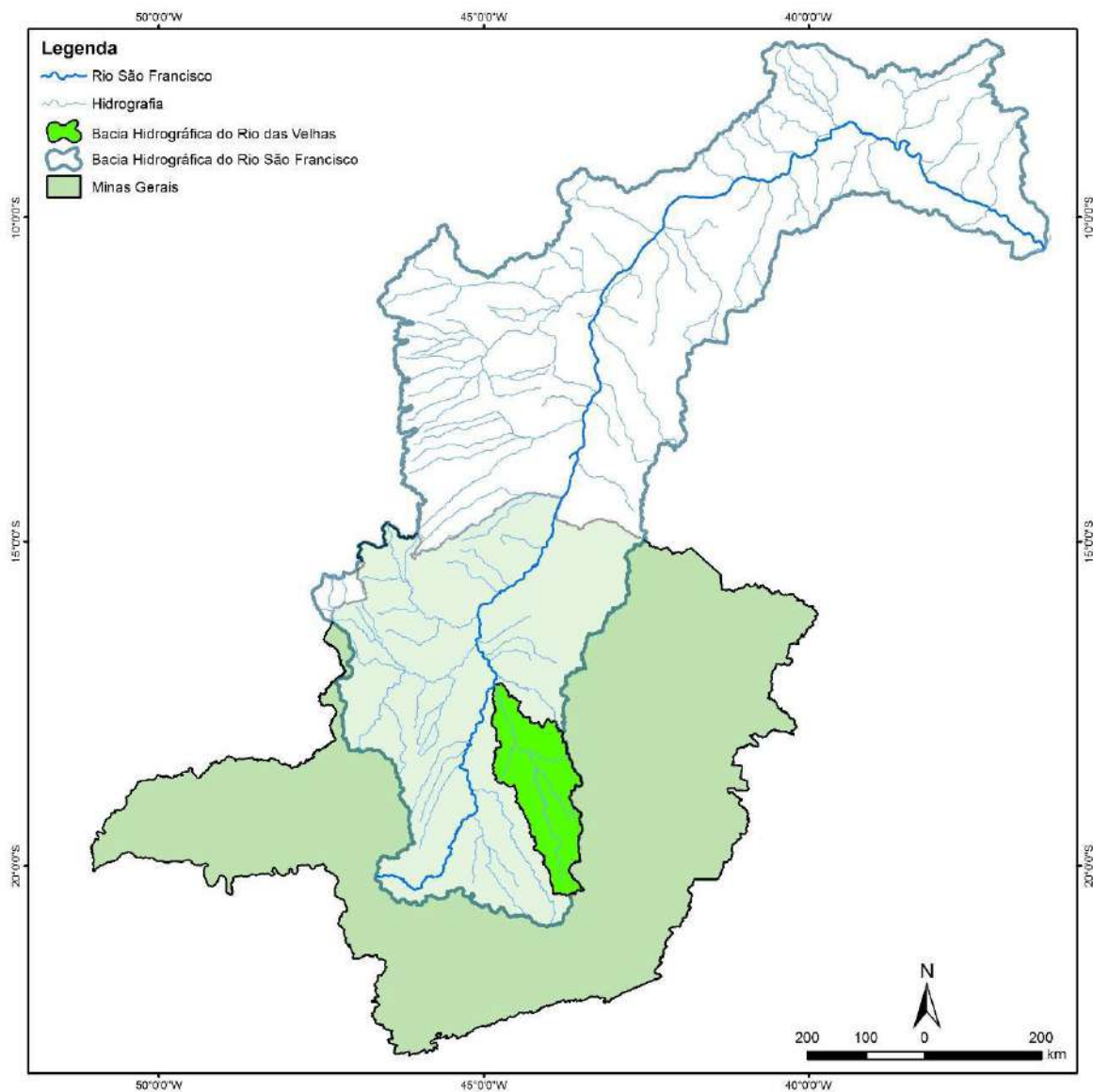


Figura 186 - Bacia do Rio São Francisco, em destaque a bacia do rio das Velhas e o Estado de Minas Gerais.

Fonte: https://siga.cbhvelhas.org.br/publicacoesArquivos/siplan_pubMidia_2_VOL_I_Diagnostico.pdf

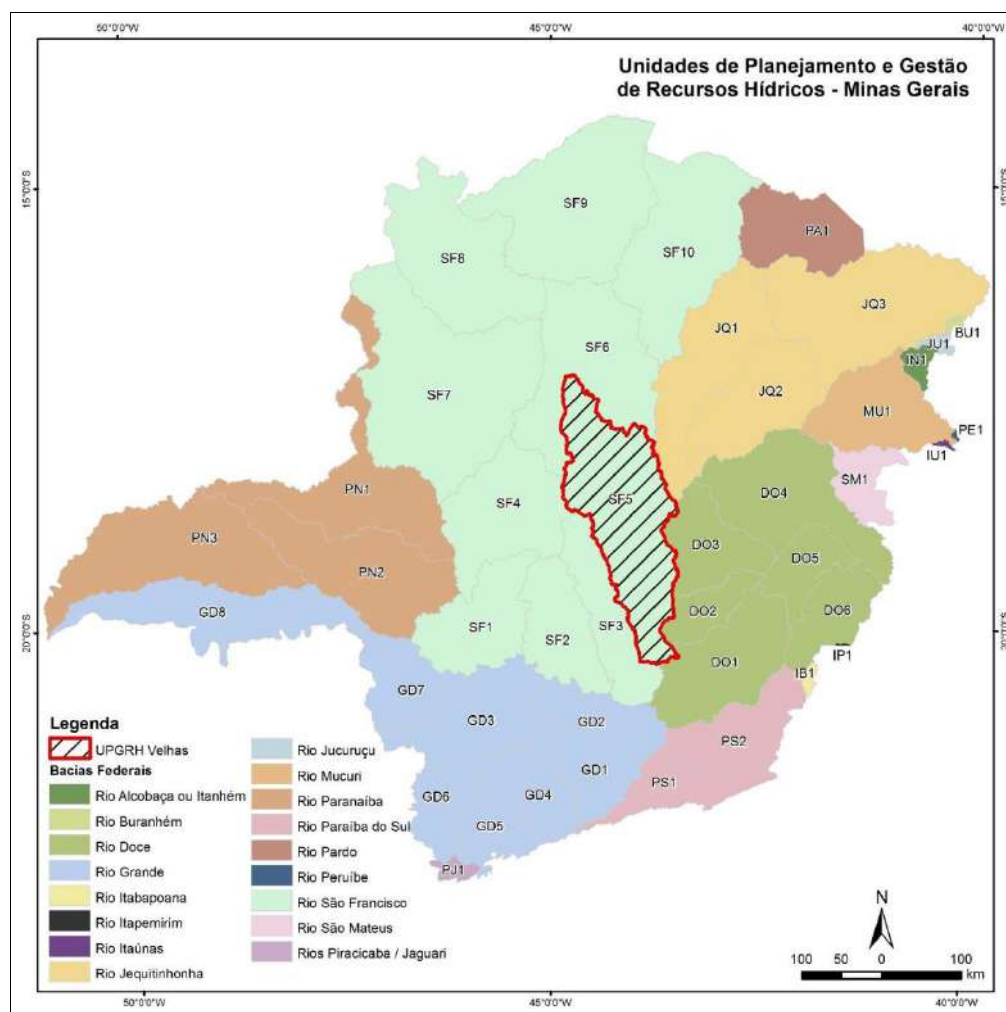


Figura 187 - Localização da UPGRH Velhas.

Fonte: https://siga.cbhvelhas.org.br/publicacoesArquivos/siplan_pubMidia_2_VOL_I_Diagnostico.pdf

A bacia do rio das Velhas apresenta ao longo de seu percurso uma significativa quantidade de drenagens que a alimenta, tendo como principais afluentes: rio Bicudo, ribeirão Jequitibá, ribeirão da Mata, ribeirão Arrudas, ribeirão do Onça e rio Itabirito (estes pela margem esquerda); e rio Curimataí, rio Pardo, rio Paraúna/Cipó, rio Taquaraçu e ribeirão Caeté/Sabará (estes pela margem direita).

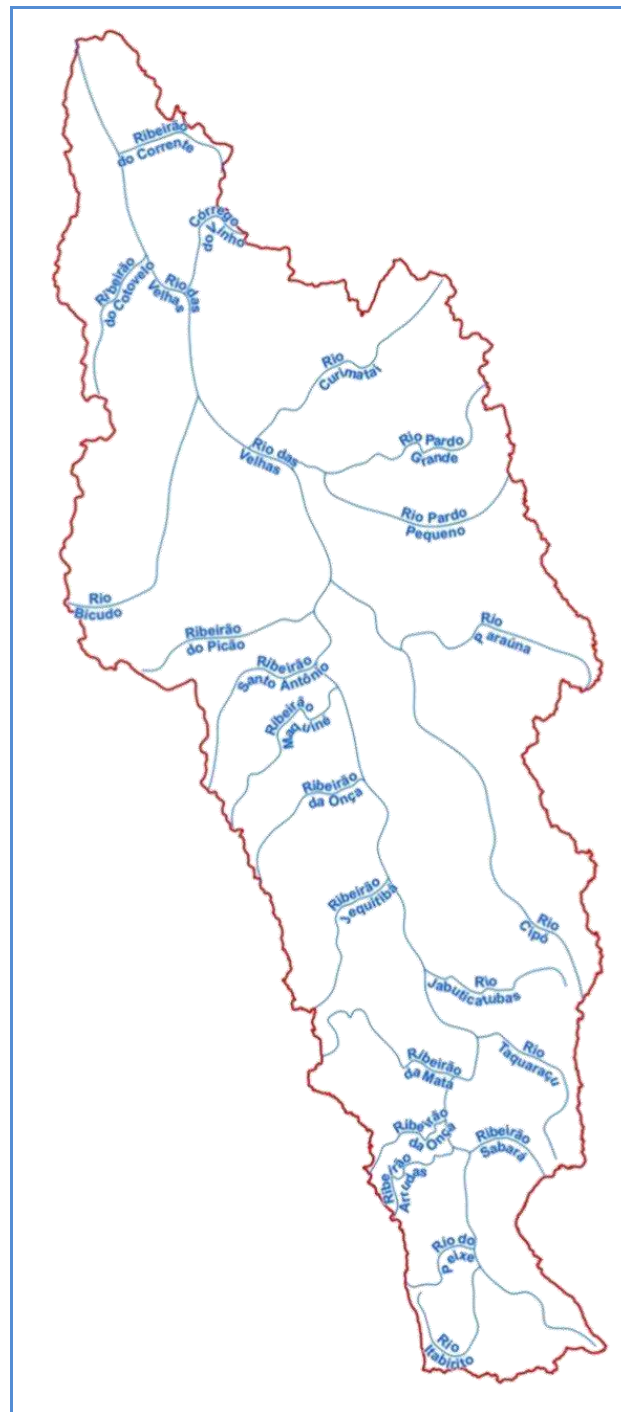


Figura 188 - Rio das Velhas e seus afluentes.

Fonte: <http://www.cbhvelhas.org.br/planodiretor/>

A bacia do rio das Velhas é subdividida em 23 regiões de planejamento e gestão de recursos hídricos, denominadas Unidades Territoriais Estratégicas (UTES) definidas pela Deliberação Normativa CBH Rio das Velhas nº 01, de 09 de fevereiro de 2012.

Tabela 51 - Unidades Territoriais Estratégicas da Bacia Hidrográfica do rio das Velhas.

Região	UTE / SCBH		Área (km²)	Percentual da bacia
Alto	01	UTE Nascentes	541,58	1,94%
	02	SCBH Rio Itabirito	548,89	1,97%
	03	UTE Águas do Gandarela	323,69	1,16%
	04	SCBH Águas da Moeda	544,32	1,95%
	05	SCBH Ribeirão Caeté / Sabará	331,56	1,19%
	06	SCBH Ribeirão Arrudas	228,37	0,82%
	07	SCBH Ribeirão Onça	221,38	0,79%
Médio Alto	08	UTE Poderoso Vermelho	360,48	1,29%
	09	SCBH Ribeirão da Mata	786,84	2,83%
	10	SCBH Rio Taquaraçu	795,5	2,86%
	11	SCBH Carste	627,02	2,25%
	12	SCBH Jabo/Baldivim	1.082,10	3,89%
	13	SCBH Ribeirão Jequitibá	624,08	2,24%
Médio Baixo	14	UTE Peixe Bravo	1.169,89	4,20%
	15	UTE Ribeirões Tabocas e Onça	1.223,26	4,39%
	16	UTE Santo Antônio/Maquiné	1.336,82	4,80%
	17	SCBH Rio Cipó	2.184,86	7,85%
	18	SCBH Rio Paraúna	2.337,61	8,39%
	19	UTE Ribeirão Picão	1.716,59	6,16%
	20	UTE Rio Pardo	2.235,13	8,03%
Baixo	21	SCBH Rio Curimataí	2.218,66	7,97%
	22	SCBH Rio Bicudo	2.274,48	8,17%
	23	UTE Guaicuí	4.136,93	14,85%
Bacia do Rio das Velhas			27.850,00	-

Fonte: https://siga.cbhvelhas.org.br/publicacoesArquivos/siplan_pubMidia_2_VOL_I_Diagnostico.pdf

Apesar das UTEs apresentarem características variadas, há aspectos que permitem a identificação de regiões homogêneas, e que, após uma análise de feições comuns a um conjunto de UTEs feita na atualização do seu PRDH, foi possível realizar seu agrupamento.

Assim a divisão anteriormente adotada pelo PRDH 2004 para a bacia do rio das Velhas (Alto - Médio - Baixo) foi ajustada, conforme os limites das UTEs, de forma que cada nova região formasse um agrupamento de UTEs com características semelhantes. Portanto, foram definidas 04 macrorregiões de planejamento:

Tabela 52 - Relação entre UTEs e as macrorregiões de planejamento do rio das Velhas.

Macro Região de Planejamento	UTE / SCBH	
Alto	01	UTE Nascentes
	02	SCBH Rio Itabirito
	03	UTE Águas do Gandarela
	04	SCBH Águas da Moeda
	05	SCBH Ribeirão Caeté / Sabará
	06	SCBH Ribeirão Arrudas
	07	SCBH Ribeirão Onça
Médio Alto	08	UTE Poderoso Vermelho
	09	SCBH Ribeirão da Mata
	10	SCBH Rio Taquaraçu
	11	SCBH Carste
	12	SCBH Jabo/Balim
	13	SCBH Ribeirão Jequitibá
Médio Baixo	14	UTE Peixe Bravo
	15	UTE Ribeirões Tabocas e Onça
	16	UTE Santo Antônio/Maquiné
	17	SCBH Rio Cipó
	18	SCBH Rio Paraúna
	19	UTE Ribeirão Picão
	20	UTE Rio Pardo
Baixo	21	SCBH Rio Curimataí
	22	SCBH Rio Bicudo
	23	UTE Guaicuí

A região do Alto rio das Velhas compreende toda a área do Quadrilátero Ferrífero, tendo o município de Ouro Preto como limite sul dessa região e os municípios de Belo Horizonte, Contagem e Sabará como limite norte. Esta região é composta por dez municípios, constituindo 9,8% do total da bacia do rio das Velhas, dentre estes está o município de Itabirito, onde se localiza a HERCULANO MINERAÇÃO.

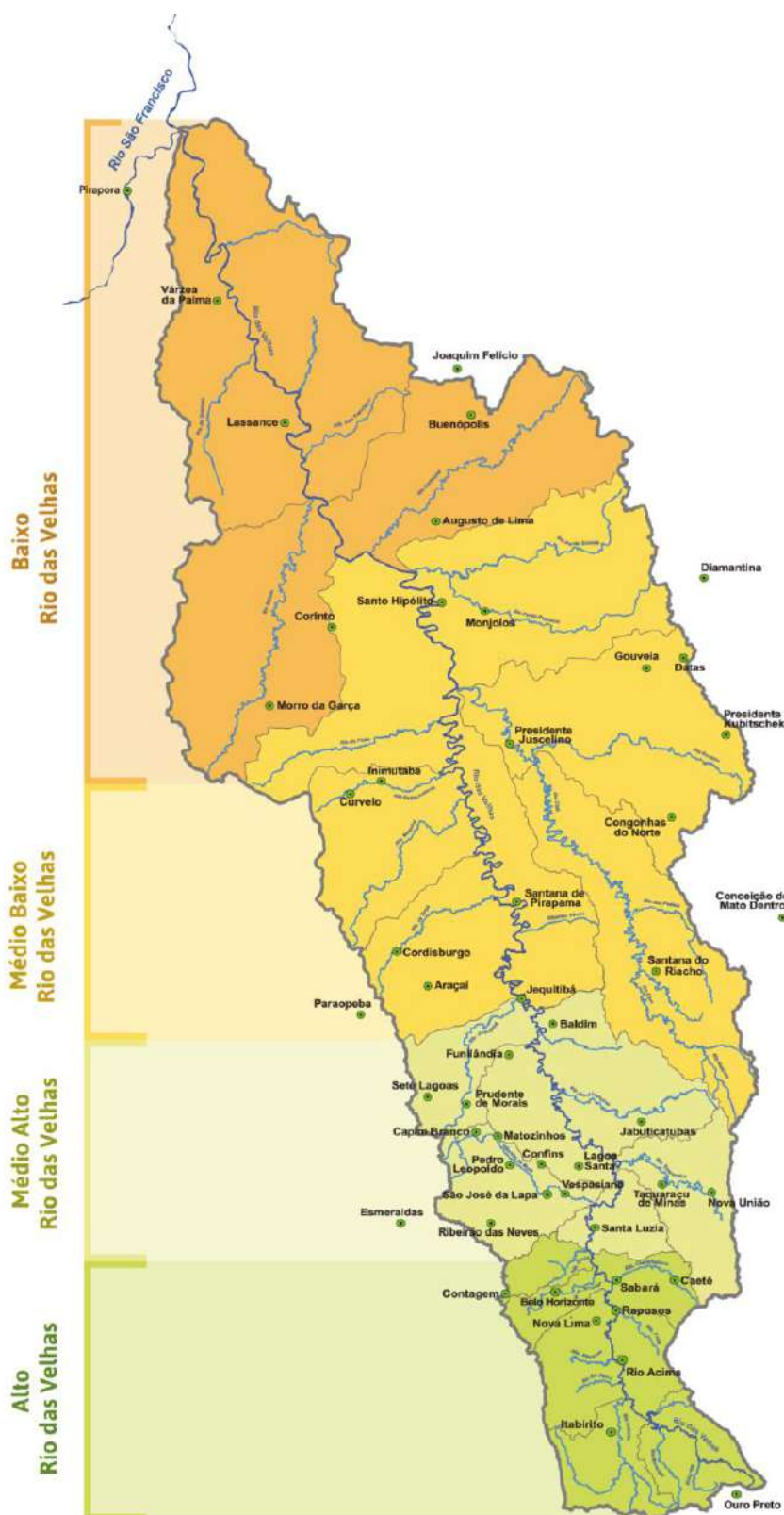


Figura 189 - Subdivisões da bacia hidrográfica do Rio das Velhas.

Fonte: <https://cbhvelhas.org.br/a-bacia-hidrografica-do-rio-das-velhas/>

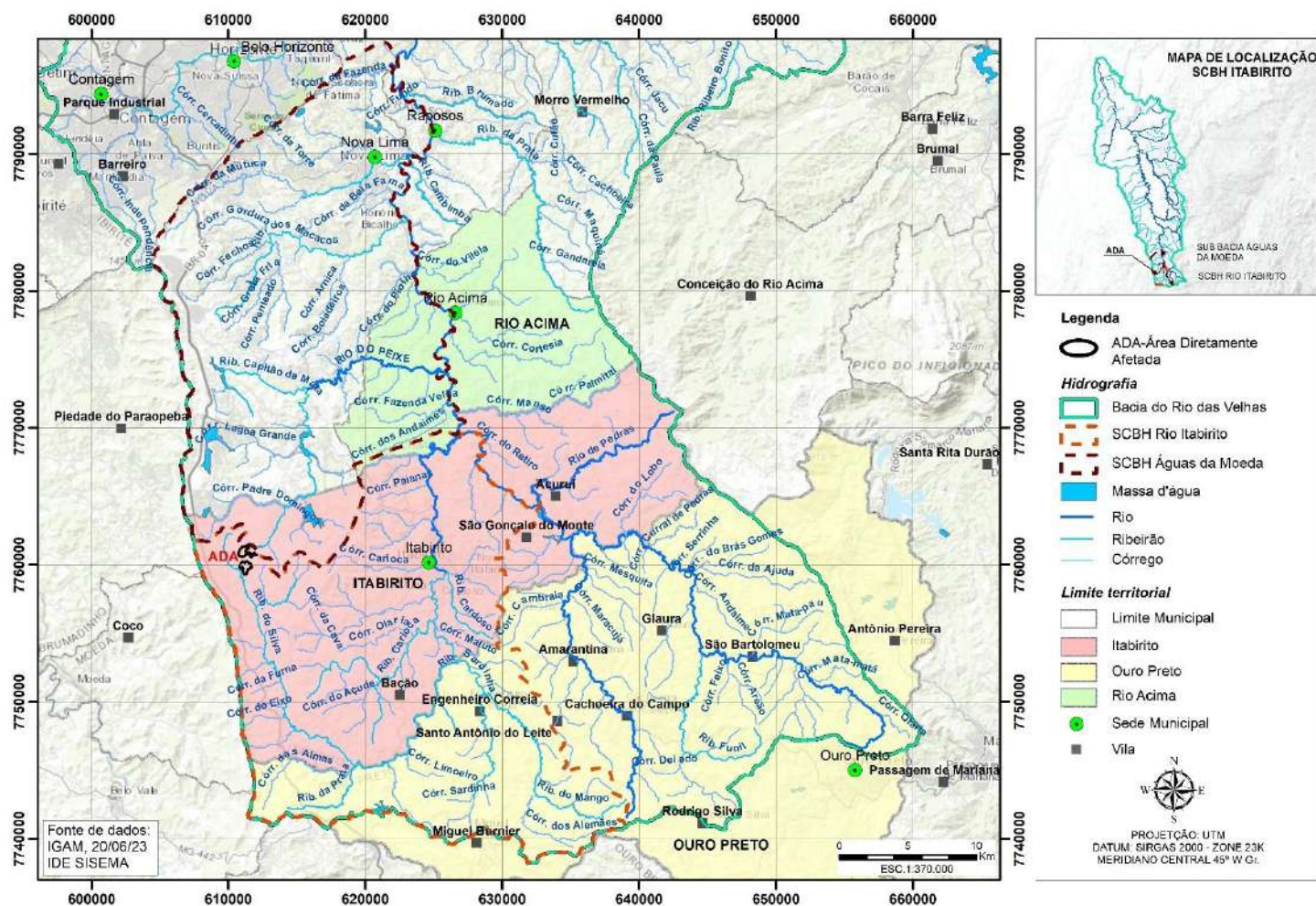


Figura 190 – Localização da ADA na Bacia do Rio das Velhas e sua localização em relação ao SCBH Itabirito.

a) Unidade Territorial Estratégica (UTE) Rio Itabirito e Subcomitê Rio Itabirito

Conforme o CBH Rio das Velhas, a Unidade Territorial Estratégica (UTE) Rio Itabirito, com uma área de 541,58 km², está localizada no Alto Rio das Velhas. É composta pelos municípios de Itabirito, Ouro Preto e Rio Acima. O município de maior porte populacional é Itabirito, que concentra 90,1% do total, sendo este o município no qual a Herculano Mineração encontra-se instalada.

Seus principais cursos d'água são o Rio Itabirito, Ribeirão Mata Porcos, Ribeirão do Silva, Córrego do Mango e Ribeirão Bação. Cabe mencionar que o Rio das Velhas possui 73 km inseridos na Unidade Territorial.

O Rio Itabirito escoa para o Rio das Velhas e corresponde a um importante contribuinte ao abastecimento da população da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

A totalidade da área está inserida no Quadrilátero Ferrífero, o que a qualifica como área prioritária para conservação.

A UTE possui o Subcomitê Rio Itabirito que foi instituído pelo CBH Rio das Velhas no dia 12 de maio de 2006 e integra os municípios de Ouro Preto, Rio Acima e Itabirito. O objetivo do Subcomitê é promover a gestão compartilhada e participativa, promovendo o debate das questões hídricas em nível regional.

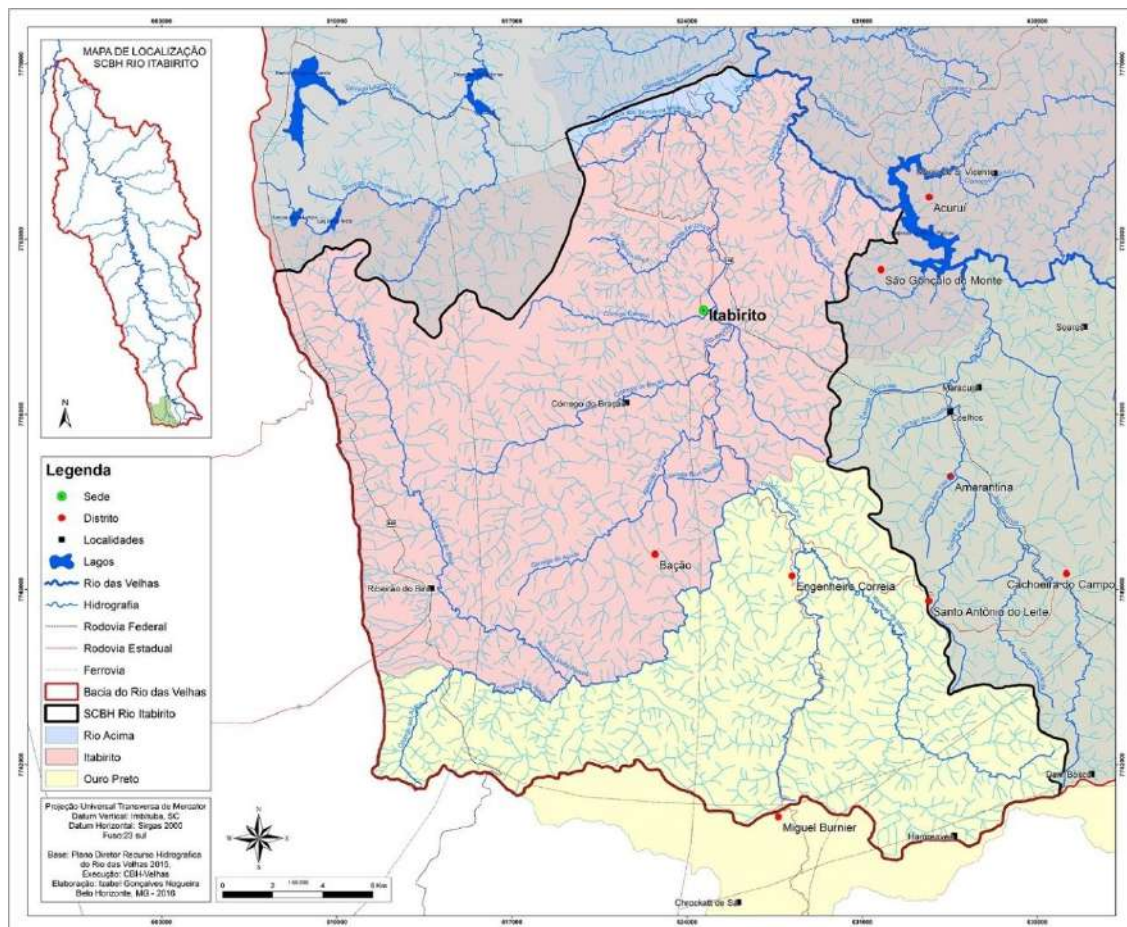


Figura 191 - Bacia do Rio das Velhas e SCBH Rio Itabirito.

Fonte: <https://cbhvelhas.org.br/rioitabirito/>

6.1.7.2 HIDROGRAFIA LOCAL

Itabirito, município onde se encontra a HERCULANO MINERAÇÃO, insere-se no Alto Rio das Velhas, e sua drenagem principal, a bacia do rio Itabirito, integra a SCBH Rio Itabirito, que corresponde a uma das 23 regiões de planejamento e gestão de recursos hídricos, denominadas Unidades Territoriais Estratégicas (UTES), e também corresponde a uma das Subcomitês de Bacia Hidrográfica (SCBH) de cursos d'água afluentes do rio das Velhas.

Os principais afluentes do Rio Itabirito são: Ribeirão do Silva, Ribeirão Carioca, Córrego do Bação, Córrego Carioca, Córrego da Mina, Ribeirão Mata Porcos e Ribeirão do Mango, sendo chamado de Rio Itabirito a partir da confluência desses dois últimos. E dentre estes principais afluentes destaca-se a microbacia do Ribeirão do Silva que corresponde à microunidade hidrográfica de inserção do empreendimento em questão.

O Ribeirão do Silva possui suas cabeceiras localizadas na faixa de itabiritos do Grupo Itabira, adjacente ao lineamento da Serra da Moeda, desaguando, por sua vez, no Ribeirão Mata Porcos que é tributário (afluente) do rio Itabirito. Está situada na porção oeste do município de Itabirito, ocupando uma área de 95,80 km², com aproximadamente 20 km de extensão.

Uma particularidade do Ribeirão do Silva diz respeito à sua disposição geográfica, onde se pode observar que está situado dentro da falha geológica do sinclinal moeda correndo no sentido norte/sul, fora do padrão da maioria dos cursos d'água da região, até sair do Sinclinal, onde aí, já com o nome de Ribeirão Mata Porcos, passa a correr no sentido sul/norte como as demais drenagens da região, denotando uma inversão do sentido do fluxo.

Em função da sua localização espacial verifica-se que o Ribeirão do Silva se encontra em terreno acidentado, em vales profundos e encaixados, com presença de mata de galeria ou vegetação ciliar em grande parte de seu percurso. A maioria de seus tributários e cabeceiras tem sua origem na borda leste da Serra da Moeda em meia vertente, cruzando a BR 040 por baixo, até atingir o leito principal em cota inferior.

À leste da Herculano Mineração existem dois importantes tributários da bacia do ribeirão do Silva, que também correm no sentido Norte/Sul, que são o Ribeirão Arêdes e o Córrego Benevides. Possuem, basicamente, as mesmas características de padrão morfológico do Silva que são sinuosidade acentuada em meio a vales encaixados e profundos.

As estruturas de apoio da HERCULANO, incluindo as instalações de tratamento e futuro pit do Tanque Seco e a pilha de estéril/rejeito, estão restritas a porção noroeste do Morro do Tanque Seco, onde as drenagens contribuem para formação de uma drenagem natural de pequena extensão, entrando logo no Ribeirão do Silva, principal afluente da margem direita do Ribeirão Mata Porcos, que por sua vez contribui na formação do Rio Itabirito, pertencente à bacia hidrográfica do Rio das Velhas.

As drenagens superficiais locais dependem das chuvas, existindo praticamente apenas uma nascente perene, situada logo abaixo da barragem de rejeito (B1), mesmo assim de pequena vazão no período seco, cuja drenagem está seccionada por outras duas barragens (B2 e B3).

A principal fonte abastecedora de água para o empreendimento é o Ribeirão do Silva. A captação é feita logo abaixo do empreendimento, com o líquido sendo recalcado para a bacia da barragem B3 (de jusante) antes mencionada, de onde é novamente bombeada para a caixa de abastecimento de todo o sistema produtivo (Caixa do Cristo).

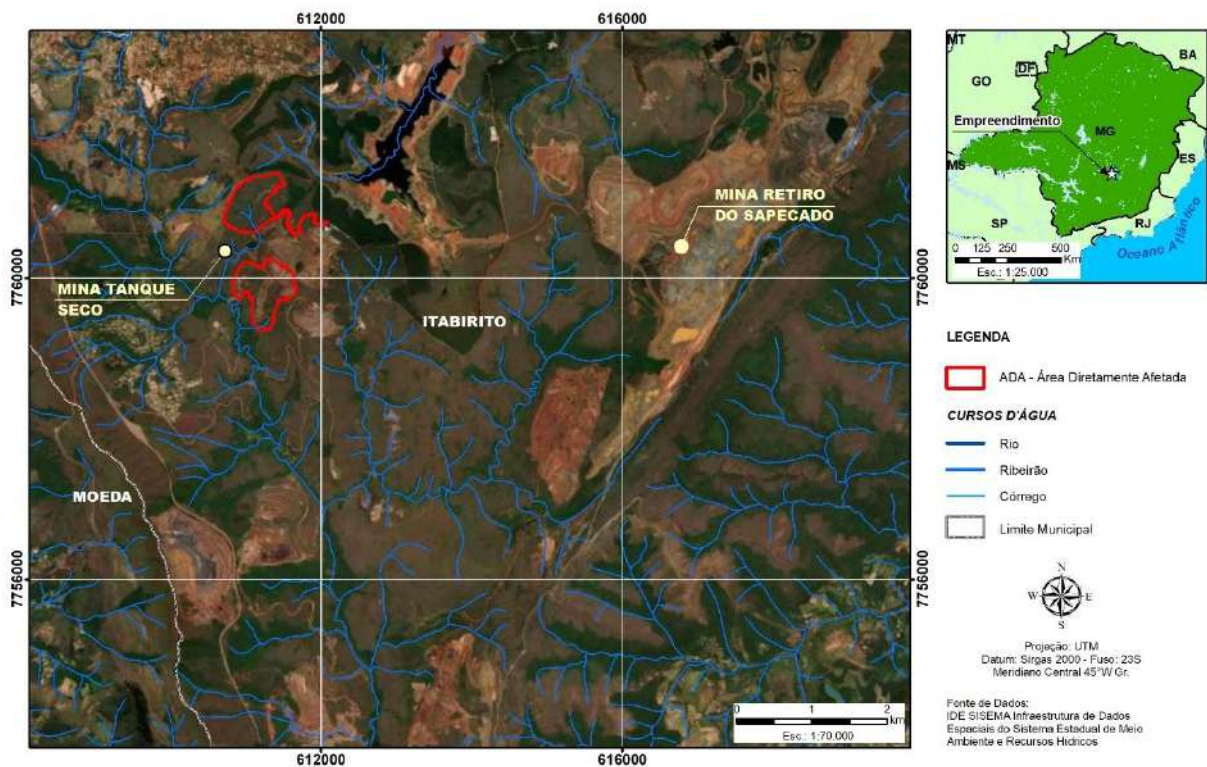


Figura 192 - Hidrografia local do empreendimento da Herculano Mineração, destacando-se a área diretamente afetada (ADA).

6.1.7.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E DE SEDIMENTOS DE FUNDO

6.1.7.4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

a) Introdução

i. Recurso Água

O homem a utiliza em quase todas as suas atividades, desde as mais cotidianas, como higiene pessoal, preparo de alimentos, limpeza de moradias, até as mais complexas, como a irrigação de plantações e produção industrial.

A água não é encontrada pura na natureza. Ao cair em forma de chuva, já carrega impurezas do próprio ar. Ao atingir o solo seu grande poder de dissolver e carrear substâncias altera ainda mais as suas propriedades.

Além da quantidade, a qualidade é outro aspecto da água que assegura determinado uso ou conjunto de usos. A qualidade é representada por características intrínsecas, geralmente mensuráveis, de natureza física, química e biológica (DERÍSIO, 2000).

Essas características, se mantidas dentro de certos limites, viabilizam determinado uso. Esses limites constituem critérios (recomendações) ou padrões (regras legais) da qualidade da água (DERÍSIO, 2000).

b) Qualidade das Águas

A análise de qualidade da água é baseada na comparação de suas características físico-químicas e microbiológicas com padrões estabelecidos para os diversos tipos de usos previstos, tais como consumo humano e irrigação.

Águas naturais podem ter a qualidade alterada por fontes externas de poluição ou contaminação. Entretanto, a contaminação pode ser proveniente de fatores naturais ao ambiente, especialmente no sistema subterrâneo, onde a dissolução de minerais pode introduzir determinados elementos na água em concentrações elevadas tornando-a imprópria para diversos tipos de uso.

Neste item será avaliada a qualidade das águas superficiais e dos sedimentos de fundo nas áreas do empreendimento minerário da Herculano

Mineração Ltda, nos locais conhecidos como Tanque Seco e Retiro do Sapecado, no município de Itabirito/MG.

O presente estudo tem como objetivo subsidiar o processo de licenciamento ambiental da ampliação do empreendimento minerário da Herculano Mineração Ltda., denominado Projeto Pellet Feed. Essa nova fase contempla a implantação da lavra em uma nova cava (Cava A), a abertura de acessos internos, a instalação de duas pilhas de estéril/rejeito (Pilha Norte e Pilha Sul), além da ampliação da capacidade de lavra e beneficiamento de minério de ferro do complexo minerário, passando de 5.300.000 t/ano para 10.200.000 t/ano. Todas essas intervenções estão previstas para ocorrer no local denominado Tanque Seco, no município de Itabirito/MG.

O objetivo de se avaliar a qualidade das águas na área de influência do projeto em estudo é de levantar um histórico das atuais características das águas, ou seja, antes de novas intervenções na área e, assim, possibilitar futuras análises comparativas, além de servirem como referência para o monitoramento dos eventuais impactos ambientais identificados no presente estudo, sejam presentes ou futuros. Também servirá para subsidiar a tomada de decisões, visando à implementação de ações preventivas e/ou corretivas, objetivando a melhoria da qualidade ambiental.

O monitoramento da qualidade das águas também tem como objetivo avaliar a eficiência dos sistemas de controle adotados pela empresa, permitindo assim a tomada de ações preventivas e corretivas adequadas às diferentes situações percebidas. Desta forma, é possível estudar as tendências ao longo do tempo, ou seja, verificar as condições presentes, projetando situações futuras, de forma a evitar ou minimizar consequências indesejadas.

Os pontos de coleta estão distribuídos na área de influência do projeto objeto deste estudo e servirão de comparativo com resultados de análises a serem efetuadas durante a operação do mesmo, permitindo assim, avaliar possíveis impactos sobre a qualidade das águas e a tomada de medidas corretivas caso seja necessário.

A qualidade das águas superficiais dos cursos d'água na área diretamente afetada pela ampliação do empreendimento, na Mina Tanque Seco

vêm sendo avaliada de forma sistemática através do Programa de Monitoramento Hídrico e de Efluentes Líquidos implantado na empresa desde 2001, em atendimento às condicionantes impostas nas diversas licenças obtidas por ela ao longo de suas atividades.

O programa de monitoramento implantado desde 2001 no local denominado de Tanque Seco contempla onze (11) pontos de coleta sendo: seis de águas superficiais e cinco pontos de efluentes líquidos (oleosos e sanitários), sendo que no presente estudo serão avaliados três (3) pontos de águas superficiais inseridos no ribeirão do Silva. As análises atualmente são realizadas semestralmente conforme exigência da Licença de Operação – LO 078/2017.

Além dos pontos de águas superficiais já avaliados pela Herculano através de seu programa de monitoramento hídrico e de efluentes líquidos, também será analisado um ponto no ribeirão Arêdes localizado no Retiro do Sapecado, a jusante da lavra da Herculano Mineração.

A numeração dos pontos adotada no presente estudo será a mesma do programa de monitoramento executado pela empresa, sendo que o ponto novo inserido na área do Retiro do Sapecado será denominado de **P14**, dando sequência à numeração já existente.

Os pontos de coleta para avaliação da qualidade das águas a serem discutidos no presente estudo estão listados a seguir.

Tabela 53 - Pontos de coleta de águas superficiais (UTM - SIRGAS 2000 – Fuso 23 K).

Ponto de Coleta	Coordenadas	
TANQUE SECO		
P1 – Vertedouro da barragem B3.	X=610985	Y= 7760395
P2 - Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante do empreendimento.	X=610771	Y=7759676
P3 – Ribeirão do Silva, a jusante do empreendimento.	X= 611109	Y=7758740
RETIRO DO SAPECADO		
P14 – Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes.	X=615388	Y=7759346

Obs.: Cor azul- Pontos já monitorados pela empresa. Cor verde: ponto novo.

A figura a seguir ilustra uma imagem de satélite e uma do IBGE exibindo a área do projeto minerário da Herculano Mineração, destacando-se os pontos de água superficial no Tanque Seco (ADA) e no Retiro do Sapecado a serem avaliados no presente estudo.

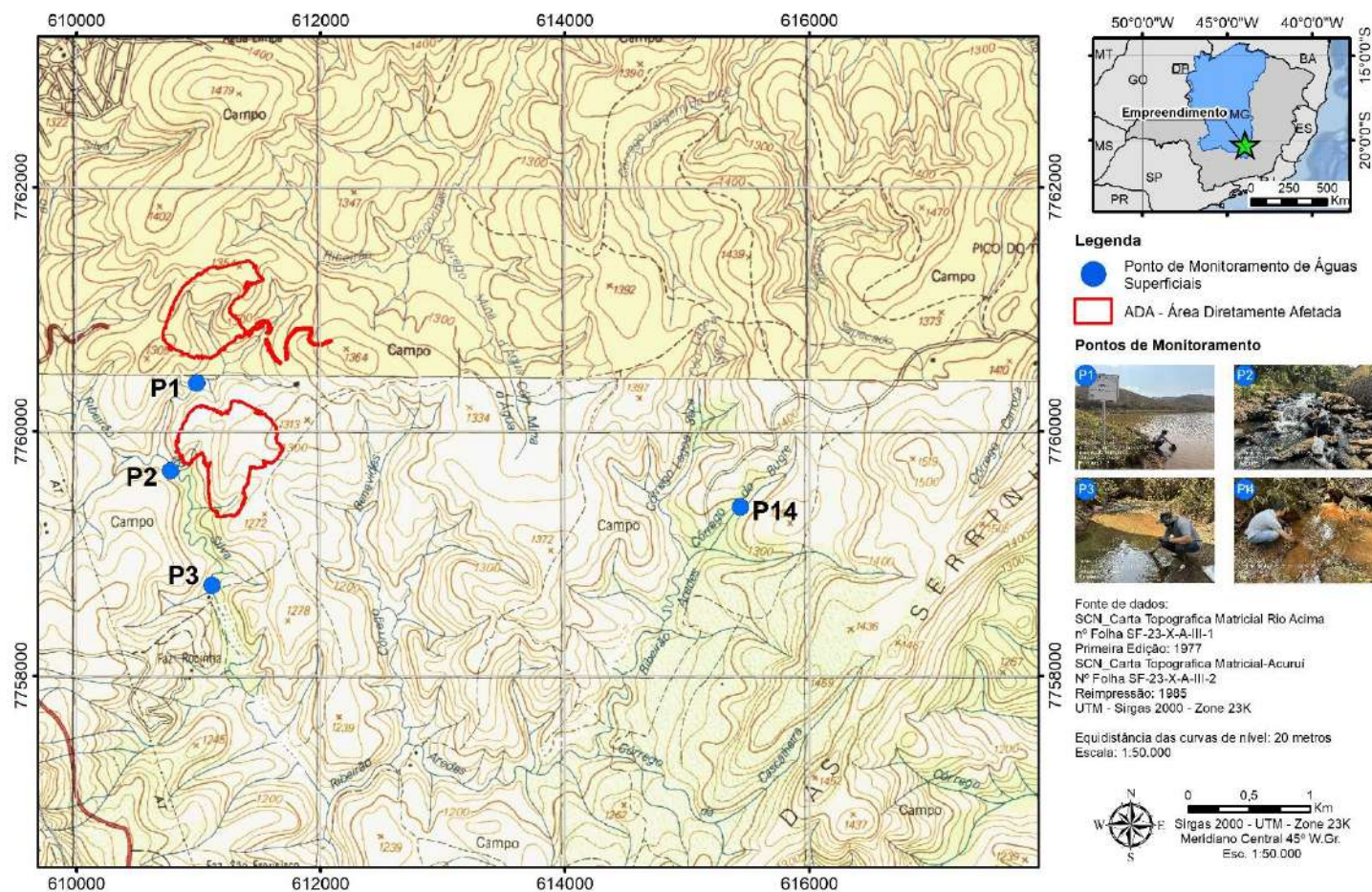
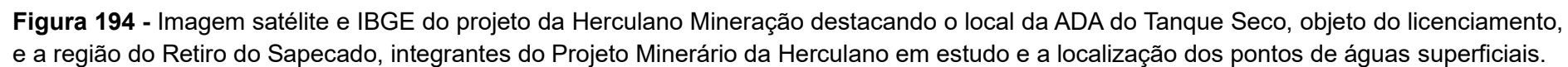


Figura 193 - Imagem satélite e IBGE do projeto da Herculano Mineração destacando o local da ADA do Tanque Seco, objeto do licenciamento, e a região do Retiro do Sapecado, integrantes do Projeto Minerário da Herculano em estudo e a localização dos pontos de águas superficiais.



c) Pontos de Amostragem de Águas superficiais

Para a avaliação da qualidade das águas superficiais inseridas nas áreas integrantes do projeto minerário da Herculano Mineração (Tanque Seco – ADA - e Retiro do Sapecado) objeto do presente estudo, foram definidos 4 (quatro) pontos distribuídos nos ribeirões do Silva e do Arêdes (no Córrego Bugre, tributário do Rib. Arêdes).

O ribeirão do Silva e o ribeirão do Arêdes pertencem à bacia hidrográfica do rio das Velhas, a qual pertence à bacia do rio São Francisco, que deságua no Oceano Atlântico, que, por sua vez se liga a todos os oceanos do planeta.

A localização dos pontos de coleta é apresentada através da figura anterior.

Os pontos de monitoramento da qualidade das águas a serem avaliados na Área Diretamente Afetada (ADA) pelas Pilhas Norte e Sul e pela Cava A são 3 (três) pontos inseridos no ribeirão do Silva, já monitorados pela empresa desde 2001. Entretanto, no presente estudo serão discutidos os resultados a partir de 2017 considerando o ano da licença de operação LO 078/2017. Portanto, os resultados a serem apresentados se referem ao período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025. Também foi realizada uma campanha na data 16/09/24, onde foram avaliados os parâmetros exigidos em condicionante e alguns extras que foram analisados também no monitoramento de sedimento, para que fosse possível fazer uma correlação nos dois compartimentos água e sedimento.

Os pontos localizados no ribeirão do Silva (**P1** - Vertedouro da barragem B3; **P2** - Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante do empreendimento e **P3** - Ribeirão do Silva, a jusante do empreendimento) são analisados atualmente semestralmente, conforme exigência estabelecida na condicionante da licença de operação citada acima.

Com relação ao Retiro do Sapecado que faz parte do projeto minerário da Herculano, foi realizada uma campanha de monitoramento em um ponto de coleta localizado no Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes. A avaliação da qualidade da água no ribeirão do Arêdes (**P14** - Córrego Bugre,

tributário direto do Ribeirão Arêdes) foi baseada em uma campanha realizada na data 16/09/24. Também foi coletada amostra de sedimento. Os parâmetros foram os mesmos dos pontos **P1** a **P3**. A numeração do ponto localizado no ribeirão Arêdes seguiu a sequência adotada dos outros pontos de coleta integrantes do Programa de Monitoramento Hídrico e de Efluentes Líquidos executado pela empresa.

Cabe ressaltar novamente que no caso específico do Retiro do Sapecado será avaliada uma campanha efetuada em 16/09/24, uma vez que a empresa, até o momento, não realiza o monitoramento da qualidade das águas neste local. Os resultados desta campanha servirão para se ter conhecimento da qualidade atual das águas do Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes.

Nos quatro pontos de análise da qualidade das águas superficiais foi analisada uma série de parâmetros físico-químicos, microbiológicos e hidrobiológicos, os quais estão descritos a seguir:

- ⇒ Parâmetros físicos: turbidez, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos totais, cor verdadeira e temperaturas da água e do ar;
- ⇒ Parâmetros químicos: pH, condutividade elétrica, ferro solúvel, ferro total, manganês solúvel, manganês total, oxigênio dissolvido, DBO, óleos e graxas, potencial Redox, alumínio solúvel, arsênio total, cádmio total, chumbo total, cobre solúvel, cromo total, níquel total, mercúrio total, zinco total; fenóis, substâncias tensoativas, fósforo total e nitrogênio total;
- ⇒ Microbiológicos: coliformes totais, *Escherichia coli* e *Enterococos faecium* e *faecalis* e;
- ⇒ Hidrobiológicos: Comunidade planctônica (fitoplâncton e zooplâncton) e comunidade bentônica.

Os parâmetros em **azul** foram adicionados na campanha realizada na data 16/09/24, com o objetivo de avaliar melhor a qualidade atual das águas em termos, por exemplo, de elementos traços, nutrientes, levando-se em

consideração os usos previstos para os corpos d'água e as fontes potenciais de poluição existentes na bacia hidrográfica.

Cabe ressaltar que na campanha do dia 16/09/24 foi realizado, também, o monitoramento hidrobiológico e de sedimento de fundo, os quais serão discutidos em outros itens do presente estudo.

Os resultados obtidos neste estudo servirão para se fazer um histórico da qualidade das águas antes do início das atividades do presente licenciamento.

As coletas e análises realizadas de 2017 a janeiro de 2021 e a campanha de setembro de 2024 foram efetuadas pelo laboratório Visão Ambiental, homologado pela Rede Metrológica. A partir de março de 2021 as análises passaram a ser realizadas pela Ecoar Monitoramento Ambiental acreditado pelo Inmetro.

d) Metodologias de Coleta e de Análise

Conforme o Art. 46 (Capítulo VII – Disposições finais e transitórias) da DN Conjunta COPAM/CERH-MG nº 8, de 21 de novembro de 2022, os métodos de coleta e de análises de águas são os especificados em normas técnicas cientificamente reconhecidas, inclusive editadas por instituições públicas.

i. Metodologias de Coleta

A coleta de água nos corpos hídricos superficiais foi realizada pelos laboratórios Visão Ambiental e foi de acordo com a *NBR-9898/1997 - Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores* e Procedimento Interno POP/AP-204 e ECOAR Monitoramento Ambiental conforme *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition* – 1060 e 9060.

As amostras de sedimento foram coletadas pelo laboratório Visão Ambiental conforme a NBR-9898/1987 citada acima nos mesmos locais onde foram coletadas as amostras de águas superficiais.

ii. Metodologias de Análise

A metodologia de análise utilizada para as amostras de águas superficiais foi realizada segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition*.

Com relação às análises realizadas pela Visão Ambiental em setembro de 2024, utilizou-se como referência o “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, em sua 24^a edição de 2023.

A determinação dos parâmetros físico-químicos pela Visão Ambiental (pH, Eh, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura) foi realizada por meio de equipamentos portáteis de campo no próprio local de amostragem.

e) Enquadramento dos cursos d’água inseridos na bacia hidrográfica do rio das Velhas e limites máximos permitidos de acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH – MG 08/2022.

i. Bacia do Rio das Velhas

Os pontos de monitoramento hídrico a serem discutidos neste relatório estão inseridos na bacia hidrográfica do rio das Velhas, a qual pertence à bacia do rio São Francisco, que deságua no Oceano Atlântico, que, por sua vez se liga a todos os oceanos do planeta.

Toda a Bacia Hidrográfica do rio das Velhas está localizada dentro do estado de Minas Gerais, em sua região central, ocupando uma área de drenagem de 29.173 km²⁶.

⁶Fonte: <http://cbhvelhas.org.br/a-bacia-hidrografica-do-rio-das-velhas/>



Figura 195 - Mapa da bacia do rio São Francisco e inserção da sub-bacia do rio das Velhas⁷.

A bacia geográfica abrange um total de 51 municípios, com uma população estimada de 4.500.000 habitantes⁸. Os municípios da região têm uma grande importância econômica (42% do PIB estadual) e social para o Estado, uma vez que a bacia hidrográfica inclui a maior parte da região metropolitana de Belo Horizonte. O rio das Velhas constitui o principal manancial para o abastecimento de água da capital.

⁷Fonte:

<http://www.manuelzao.ufmg.br/assets/files/Textos%20educacao/Bacia%20do%20Rio%20das%20Velhas.pdf>

⁸Fonte:<http://pt.slideshare.net/expressodasideias/projeto-manuelzao-riodasvelhaspolignano>



A região tem forte concentração industrial – somente nas sub-bacias dos ribeirões Arrudas e do Onça existem mais de 3.100 indústrias, das quais metade são consideradas poluidoras, uma vez que as indústrias não realizam

⁹**Fonte:**<http://pt.slideshare.net/expressodasideias/projeto-manuelzao-riodasvelhaspolignano>

um adequado tratamento dos efluentes. Além dos esgotos industriais, as águas recebem enormes quantidades de esgotos domésticos e resíduos da mineração, além de resíduos sólidos descartados de forma inadequada pelas cidades¹⁰.

O rio das Velhas tem sua nascente na Serra do Veloso, proximidade de Ouro Preto, e deságua no rio São Francisco, em Guaicuí, distrito de Várzea da Palma, próximo a Pirapora, com uma vazão média de 265 m³/s, percorrendo uma extensão de 716 km e drenando uma bacia de 29.173 km².



Figura 197 - Rio das Velhas¹¹.

A bacia do rio Itabirito, principal drenagem do Alto Rio das Velhas, integra a SCBH Rio Itabirito, que corresponde a uma das 23 regiões de planejamento e gestão de recursos hídricos, denominadas Unidades Territoriais Estratégicas (UTES) do Rio das Velhas, e também corresponde a um dos 18 Subcomitês de Bacia Hidrográfica (SCBH) de cursos d'água afluentes do rio das Velhas.

¹⁰ **Fonte:** RIO DAS VELHAS, O 6º RIO MAIS POLUÍDO DO BRASIL | ÁGUA, VIDA & CIA – Fernando José de Sousa (ferdinandodesousa.com)

¹¹ **Fonte:** <http://cbhvelhas.org.br/noticias/expedicao-rio-das-velhas-te-quero-vivo-encerra-navegacao-em-santa-luzia/>



Rio Itabirito.



Encontro do rio Itabirito com o rio das Velhas.

Figura 198 - Rio Itabirito e o encontro com o rio das Velhas¹².



Figura 199 - Rio das Velhas¹³.

A lavra do Retiro do Sapecado encontra-se inserida em meio a duas microbacias integrantes da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, sendo uma a do rio Itabirito, o qual integra a UTE Rio das Velhas, e a outra do ribeirão Congonhas, que integra a UTE Águas de Moeda.

A UTE Águas da Moeda sofre muitos impactos, dentre eles os relacionados à mineração e a retirada de vegetação nativa por parte de empreendimentos imobiliários, mineradoras e comerciantes. A região apresenta forte expansão imobiliária, por condomínios residenciais de classe alta e de lazer,

¹²Fonte: <https://manuelzao.ufmg.br/wp-content/uploads/2018/08/6-caderno-itabirito-15jul2013-site-.pdf>

¹³Fonte: <https://manuelzao.ufmg.br/wp-content/uploads/2018/08/6-caderno-itabirito-15jul2013-site-.pdf>

e sofre com os lançamentos de esgotos domésticos e com o aporte de carga difusa¹⁴.

Tendo em vista que, na bacia do ribeirão Congonhas/rio do Peixe, mais especificamente, a área de influência do projeto se encontra antropizada (Córrego Sapecado/Córrego Lagoinha) e corresponde a uma área de intensa atividade minerária, não será monitorada, pois não haveria um ponto sem influência de outras mineradoras.

¹⁴ Fonte: <https://cbhvelhas.org.br/aguasdamoeda/>

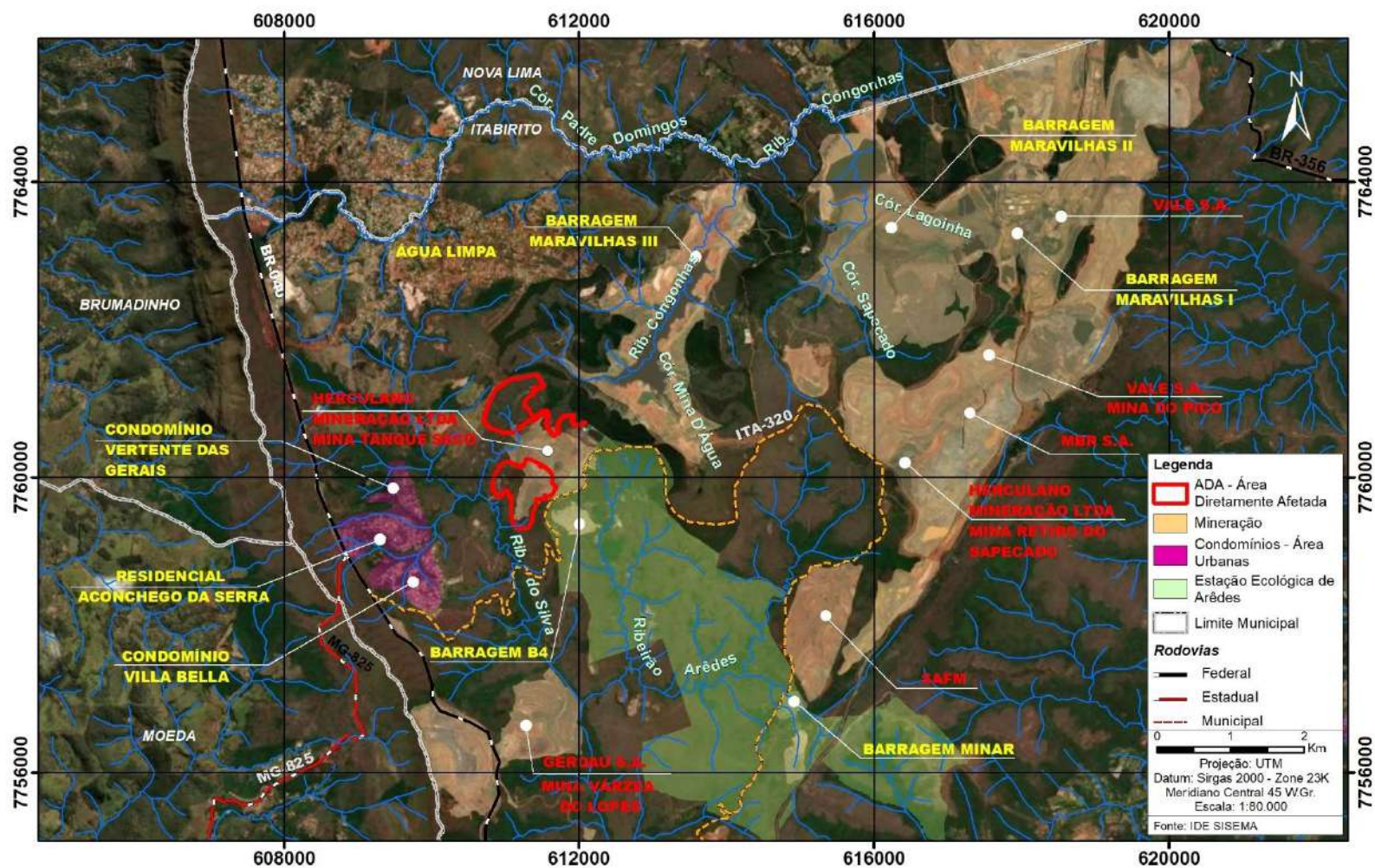


Figura 200 - Imagem satélite Google Earth com situação atual da atividade minerária na região de inserção do empreendimento.

A bacia hidrográfica do rio Itabirito é importante contribuinte da bacia do rio das Velhas, que é o principal afluente do rio São Francisco em Minas Gerais.

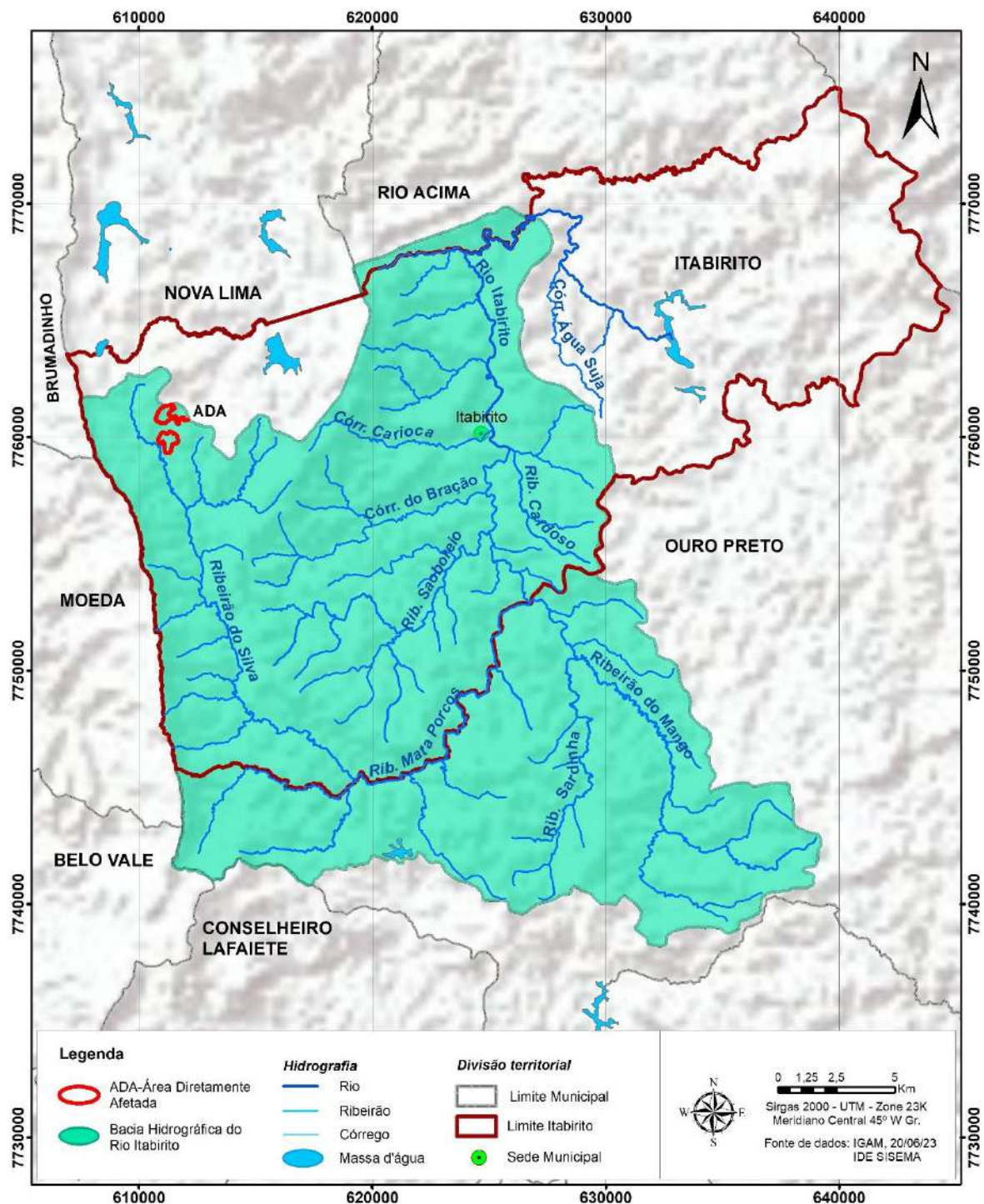


Figura 201 - Bacia hidrográfica do rio Itabirito, MG.

O rio Itabirito situa-se na zona central do domínio geológico e geomorfológico do Quadrilátero Ferrífero e sua bacia hidrográfica possui área aproximada de 520 Km², compreendendo parte dos municípios de Rio Acima, Ouro Preto e Itabirito, sendo que a maior porção se encontra no município de Itabirito.

Os principais afluentes do rio Itabirito são: ribeirão do Silva, ribeirão Carioca, córrego do Bação, córrego Carioca, córrego da Mina, ribeirão Mata Porcos e ribeirão do Mango, sendo chamado de rio Itabirito a partir da confluência desses dois últimos. E dentre estes principais afluentes destaca-se a microbacia do ribeirão do Silva que corresponde a uma das microunidades hidrográficas de inserção do empreendimento localizado no Tanque Seco.



Rio Itabirito



Ribeirão Silva - Mata Porcos. Foto: Myr Projetos 2013.



Ribeirão do Mango próximo a sua foz no Rio Itabirito.
Foto: Myr Projetos 2013.



Córrego Carioca onde é feita captação de água. Foto: Myr Projetos 2013.



Corrego do Bação. Foto: Myr Projetos 2013.



Baixo Itabirito. Foto: Myr Projetos 2013.

Figura 202 - Registro fotográfico de alguns afluentes do rio Itabirito¹⁵.

¹⁵Fonte: <https://manuelzao.ufmg.br/wp-content/uploads/2018/08/6-caderno-itabirito-15jul2013-site-.pdf>

A drenagem verificada na área do projeto da Herculano nesta microbacia, corresponde ao córrego Bugre, afluente do ribeirão Arêdes que se junta ao ribeirão do Silva. Estes, por sua vez, se agregam ao ribeirão Mata Porcos, tributário (afluente) do rio Itabirito, que, por seu turno, é afluente de primeira ordem do rio das Velhas, em cuja bacia do rio São Francisco todos se integram.

O ribeirão Arêdes tem sua nascente localizada na vertente oeste da Serra das Serrinhas, em uma altitude de, aproximadamente, 1400 metros. O ribeirão Arêdes, desce a encosta da serra e, imediatamente após a confluência com os afluentes da margem direita - córrego do Bugre e córrego Lagoa Seca - muda a direção do seu curso para o sul.

O ribeirão Arêdes constitui o maior e principal afluente do ribeirão do Silva e tem como tributários principais os córregos Benevides, Lagoa Seca, do Bugre e da Cascalheira.

O córrego do Bugre é um dos pontos de descarga do aquífero formado pelos itabiritos da formação Cauê. Este córrego, após receber água da formação ferrífera, em sua nascente, passa a correr sobre as rochas da formação Gandarela até sua confluência com o ribeirão Arêdes.

O ribeirão Mata Porcos nasce da confluência do córrego Retiro ou da Cruz com o ribeirão do Silva. Principais atividades são de mineração e ocupação antrópica em loteamentos.

A figura a seguir apresenta um diagrama unifilar da bacia do rio Itabirito.



Em resumo, a drenagem da área da lavra compreende a cabeceira do córrego Sapecado que, se junta ao córrego Lagoinha, e deságua no ribeirão Congonhas, afluente do rio do Peixe o qual deságua no rio das Velhas, sendo todos, portanto, pertencentes à bacia do rio São Francisco.

¹⁶Fonte: FLORENCIO, E. (2010)

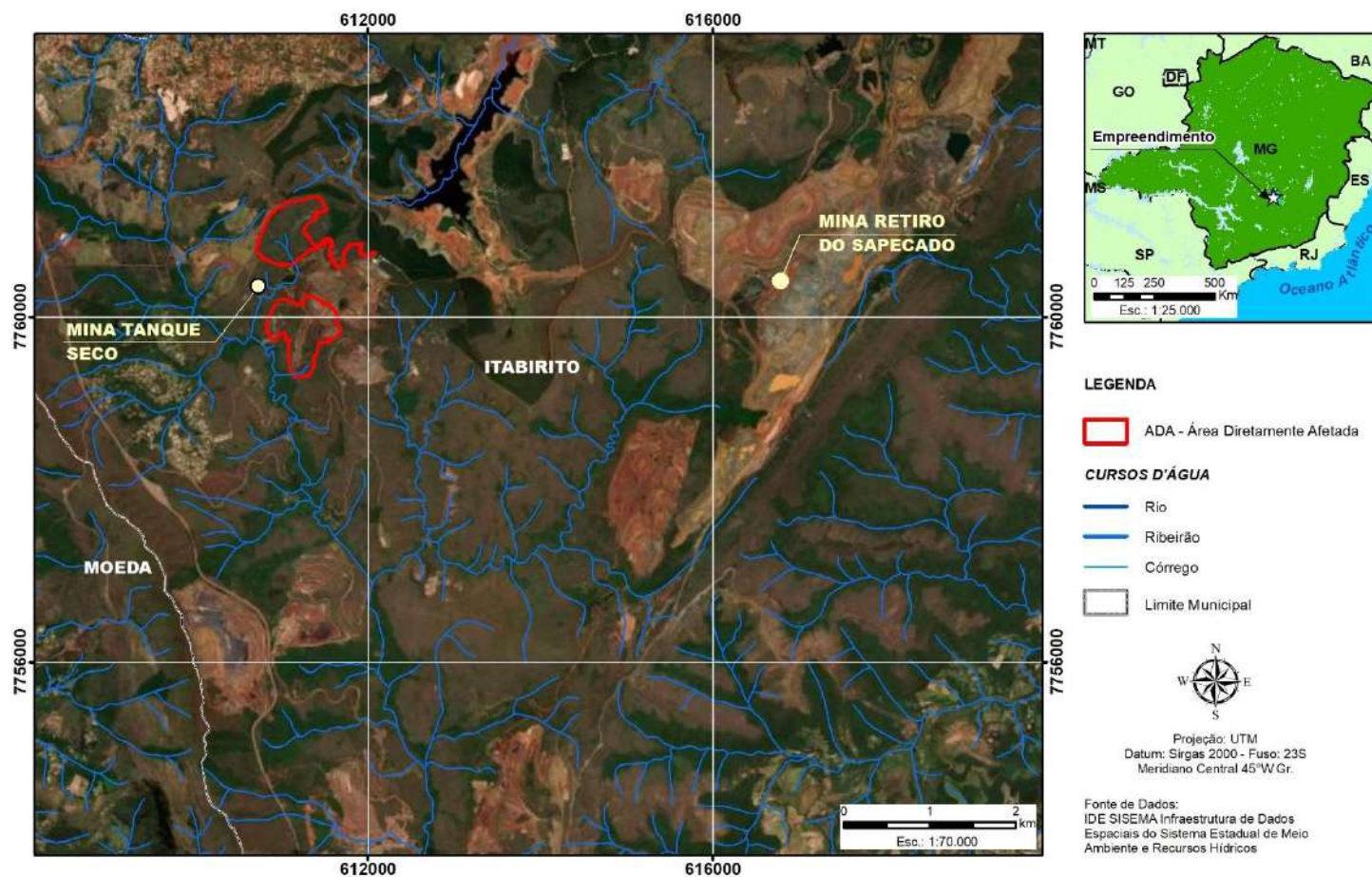


Figura 204 - Hidrografia local do empreendimento da Herculano Mineração, destacando-se a área diretamente afetada (ADA).

Especificamente na bacia do rio Itabirito as principais atividades geoeconômicas são as atividades de mineração de ferro, agrosilvopastoris, extração de areia, atividades siderúrgicas, laticínios e indústrias têxteis. Além disso, há forte movimento no comércio instalado no centro da sede urbana do município de Itabirito (SILVA, 2020).

Por causa do posicionamento territorial da bacia hidrográfica de Itabirito, a presença de minerais de óxido de ferro é abundante o que favorece a exploração mineral desde os períodos áureos do ciclo do ouro na colonização. Com isso, as pressões ambientais sobre a bacia se intensificaram à medida que ocorreu avanço tecnológico no setor econômico minerário.

A bacia do rio Itabirito vem sofrendo pressões oriundas da expansão das atividades imobiliárias e implantação de infraestrutura viária. Além disso, a atividade agropecuária e o crescente aporte de sedimentos e esgotos sem tratamento, despejados diretamente nos cursos de água, vêm alterando a qualidade das águas desta importante sub-bacia do rio das Velhas¹⁷.

Segundo MYSSIOR, S. (2013)¹⁸, a bacia do rio Itabirito sinaliza grande predisposição a processos erosivos, que finalizam na maioria das vezes em movimentação de massas. Esses processos estão concentrados em vertentes íngremes, verificadas em praticamente todos os setores da bacia, especialmente nas porções nordeste e sudeste. Em campo, verificou-se que as causas da maioria dos processos erosivos estão relacionadas com atividades minerárias desativadas e sem descomissionamento; implantações de vias sem pavimentação que não apresentam dispositivos de controle dos fluxos de águas superficiais e outras intervenções relacionadas com uso agropecuário, principalmente a substituição de vegetação nativa por pastagens, em vertentes com declividade acentuada.

A característica fundamental da região é a mineração em suas diversas modalidades, em proximidade a uma grande região metropolitana, características conjuntas que possuem um elevado potencial de uso e ocupação do solo, especialmente na porção oeste da bacia (MYR, 2013)¹².

¹⁷Fonte:

https://cdn.agenciapeixe vivo.org.br/arquivos/images/subcomites/Itabirito/093_REL_PROD_2_R06_REV1_140315.pdf

¹⁸ Fonte: <https://manuelzao.ufmg.br/wp-content/uploads/2018/08/6-caderno-itabirito-15jul2013-site-.pdf>

ii. Levantamento de usos preponderantes das águas em área de expansão do empreendimento

A Herculano Mineração contratou a empresa Cajueiro Ambiental – ME para a elaboração do Estudo de Levantamento dos Usos Preponderantes das Águas em áreas de expansão do seu empreendimento. A seguir será apresentado um resumo das informações apresentadas no mencionado estudo.

No dia 22 de julho de 2025 foi realizada uma visita técnica de campo pela equipe da Cajueiro Ambiental nas áreas de influência da expansão do empreendimento da Herculano no município de Itabirito / MG: Área de Influência Direta (AID) e Área de Influência Indireta (AII), cabendo ressaltar que a delimitação destas áreas é apresentada em capítulo específico do Volume 3 do presente Estudo de Impacto Ambiental - EIA. O principal objetivo desta visita foi verificar *in loco* os possíveis usos atuais das águas nas áreas analisadas.

O Art. 2º (inciso LII) da DN Conjunta COPAM-CERH/MG nº 8/2022, define uso preponderante como sendo um “*uso considerado preponderante sobre outro, quando exigir melhor qualidade de água para ser ou continuar sendo exercido*”.

As áreas de influência da expansão estão inseridas na Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Itabirito, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas e à Unidade Territorial Estratégica (UTE) Rio Itabirito.

Para análise da classificação dos corpos de água da região (AID e AII) foram consultados os dados do IDE-SISEMA, assim, segundo esta plataforma, a AID possui apenas corpos de águas enquadrados como Classe 2, enquanto a AII possui corpos de água enquadrados como Classe 1 e 2. Para os usos atuais das águas nas áreas AII e AID, buscou-se também através do IDE-SISEMA, as outorgas de direito de uso de recursos hídricos e os cadastros de uso insignificante de recursos hídricos na Sub-Bacia do Rio Itabirito.

Assim, para as áreas de influência do empreendimento, foram verificadas, conforme o IDE-SISEMA, 110 portarias de outorga.

Ao analisar as 110 portarias de outorga de uso de água na região, o relatório identificou que o consumo humano é a finalidade mais comum, respondendo por 36% das outorgas. Isso se deve à grande presença de

condomínios e fazendas na área. Em seguida, vêm os usos classificados como "outros" (20%), a mineração com 16% das outorgas — refletindo a forte atividade na sub-bacia — e o abastecimento público, com 13%, que serve distritos como São Gonçalo do Bação em Itabirito e Engenheiro Correia em Ouro Preto.



Figura 205 - Outorgas de direito de uso de recursos hídricos - AII e AID.

Fonte: Estudo de Levantamento dos Usos Preponderantes das Águas, elaborado pela empresa Cajueiro Ambiental, com base nas informações do IDE-SISEMA.

Tabela 54 – Outorgas de direito de uso de recursos hídricos - AII e AID.

Finalidade de uso	Nº outorgas	Tipo Consumo*	Tipo de uso	Total outorgas
Consumo humano	8	Consuntivo	Superficial	40
	32	Consuntivo	Subterrâneo	
Outros usos	2	Consuntivo	Superficial	22
	16	Não Consuntivo	Superficial	
	4	Consuntivo	Subterrâneo	
Mineração	6	Consuntivo	Superficial	18

Finalidade de uso	Nº outorgas	Tipo Consumo*	Tipo de uso	Total outorgas
	8	Não Consuntivo		
	4	Consuntivo	Subterrâneo	
Abastecimento público	2	Consuntivo	Superficial	14
	12	Consuntivo	Subterrâneo	
Dessedentação animal	6	Consuntivo	Subterrâneo	6
Indústria	4	Consuntivo	Subterrâneo	4
Geração de energia	2	Não Consuntivo	Superficial	2
Serviços/Lazer e turismo	2	Não Consuntivo	Superficial	2
Aquicultura	2	Consuntivo	Subterrâneo	2
TOTAL GERAL				110

Fonte: Estudo de Levantamento dos Usos Preponderantes das Águas, elaborado pela empresa Cajueiro Ambiental, com base nas informações do IDE-SISEMA.

*Os usos consuntivos são aqueles que retiram água do manancial para sua destinação, como a irrigação, a utilização na indústria e o abastecimento humano. Já os usos não consuntivos não envolvem o consumo direto da água - o lazer, a pesca e a navegação, são alguns exemplos, pois aproveitam o curso da água sem consumi-la (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA).

Também foram verificados 258 cadastros de usos insignificantes nas áreas de influência do empreendimento.

Assim como nas outorgas, o consumo humano é a finalidade de uso predominante, com 122 cadastros (47%), devido à presença de fazendas, lanchonetes, transportadoras e até mesmo mineradoras. Os usos classificados como "outros" vêm em seguida, com 60 cadastros (23%), representados por mineradoras, fazendas e construtoras. A dessedentação animal aparece com 34 cadastros (13%), a maioria para uso em fazendas.

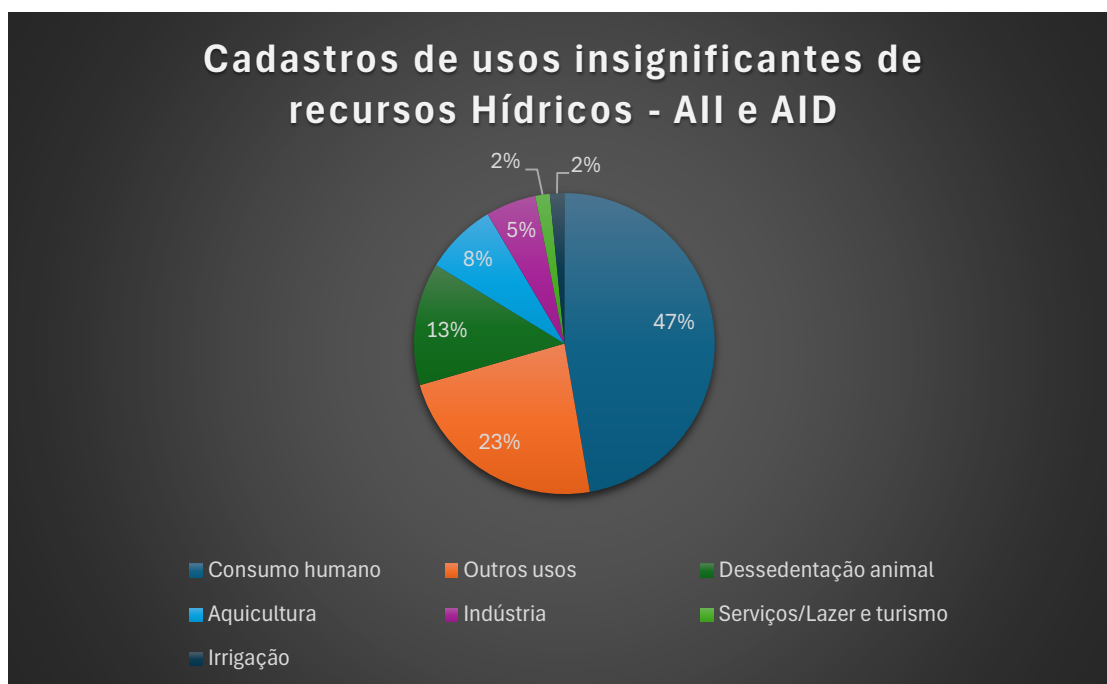


Figura 206 - Cadastros de usos insignificantes de recursos hídricos - AII e AID.

Fonte: Estudo de Levantamento dos Usos Preponderantes das Águas, elaborado pela empresa Cajueiro Ambiental, com base nas informações do IDE-SISEMA.

Tabela 55 – Cadastros de usos insignificantes de recursos hídricos - AII e AID.

Finalidade de uso	Nº cadastros	Tipo Consumo*	Tipo de uso	Total cadastros
Consumo humano	72	Consuntivo	Superficial	122
	50	Consuntivo	Subterrâneo	
Outros usos	54	Consuntivo	Superficial	60
	6	Consuntivo	Subterrâneo	
Dessedentação animal	30	Consuntivo	Superficial	34
	4	Consuntivo	Subterrâneo	
Aquicultura	16	Consuntivo	Superficial	20
	4	Consuntivo	Subterrâneo	
Indústria	12	Consuntivo	Superficial	14
	2	Consuntivo	Subterrâneo	

Finalidade de uso	Nº cadastros	Tipo Consumo*	Tipo de uso	Total cadastros
Serviços/Lazer e turismo	4	Consuntivo	Superficial	4
Irrigação	2	Consuntivo	Superficial	4
	2	Consuntivo	Subterrâneo	
TOTAL GERAL				258

Fonte: Estudo de Levantamento dos Usos Preponderantes das Águas, elaborado pela empresa Cajueiro Ambiental, com base nas informações do IDE-SISEMA.

*Os usos consuntivos são aqueles que retiram água do manancial para sua destinação, como a irrigação, a utilização na indústria e o abastecimento humano. Já os usos não consuntivos não envolvem o consumo direto da água - o lazer, a pesca e a navegação, são alguns exemplos, pois aproveitam o curso da água sem consumi-la (ANA).

Com base nos levantamentos, a Herculano Mineração, por meio da Cajueiro Ambiental, realizou um estudo que detalha os usos da água na Sub-Bacia do Rio Itabirito, onde se localizam as áreas de expansão do empreendimento. O estudo utilizou dados do IDE-SISEMA para analisar as outorgas e os cadastros de uso insignificante, revelando que o consumo humano é a finalidade predominante em ambos os casos.

Em relação às outorgas, foram verificadas 110 portarias, com 36% destinadas ao consumo humano, seguido por "outros usos" (20%) e mineração (16%). Já nos usos insignificantes, foram registrados 258 cadastros, sendo que 47% são para consumo humano, seguidos por "outros usos" (23%) e dessedentação animal (13%).

A análise desses dados mostra que as atividades de consumo humano, como as de condomínios e fazendas, são os usos mais comuns na região, tanto para outorgas quanto para usos insignificantes.

iii. Enquadramento dos cursos d'água inseridos nas áreas do Tanque Seco (ADA) e do Retiro do Sapecado.

O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes, é um dos instrumentos importantes das Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos. O enquadramento tem como objetivo estabelecer

metas de qualidade para os cursos d'água, a fim de assegurar os usos preponderantes estabelecidos.

Uma forma de definir a qualidade das águas dos mananciais é enquadrá-los em classes definindo-se, para cada uma, os usos a que se destina e os requisitos a serem observados. Essa classificação está associada ao uso predominante da água e não aos padrões de qualidade existentes. Quanto mais nobre for o uso, menor é a classe.

No Brasil, a classificação das águas é definida pela Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA)¹⁹. Esta resolução determina classes de qualidade dos corpos hídricos requeridas para atendimento aos diversos usos da água, dos mais aos menos exigentes.

USOS DAS ÁGUAS DOÇES	CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
	ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas		Classe mandatória em terras indígenas			
Recreação de contato primário					
Aquicultura					
Abastecimento para consumo humano	Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário					
Pesca					
Irrigação		Para águas minerais, águas e frutos que se deterioram, não se lavam e que não são ingeridos crus, sem remoção de película	Para águas, frutos, peixes, jardins, campos de recreio e lazer	Para águas, frutos, peixes, jardins, campos de recreio e lazer	
Dessecação de animais					
Navegação					
Harmonia paisagística					

Observação: As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água.

Figura 207 - Usos das Águas e Classes de Enquadramento segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005²⁰.

Em termos da legislação Estadual, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 8, de 21 de novembro de 2022 “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”.

¹⁹ Fonte: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>

²⁰ Fonte: <https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2022/11/DO3-Relatorio-da-Proposta-de-Enquadramento-dos-Corpos-de->

Em relação ao enquadramento das águas da bacia do rio das Velhas, essa foi enquadrada conforme o Art. 1º da Deliberação Normativa COPAM nº 20, de 24/06/1997.²¹

Abaixo segue o trecho correspondente à área do projeto da Herculano Mineração (Tanque Seco (ADA) e Retiro do Sapecado).

“Art. 1º - As águas da bacia do rio das Velhas ficam enquadradas da seguinte forma:

10 - SB do Ribeirão Mata Porcos/Itabirito

Trecho 20- Ribeirão Mata-Porcos/Itabirito, das nascentes até a confluência com Rio das Velhas **Classe 2.**

Inclui-se o ribeirão do Silva.

Conforme o item III do Art. 4º do capítulo II – Da classificação dos corpos de água da DN CONJUNTA COPAM/CERH n.º 008/2022²² as águas doces podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000, ou norma que a substitua;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto e;
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

Conforme o trecho 20 citado acima, os pontos **P1** a **P3** inseridos no ribeirão do Silva e o **P14** no Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes, recebem o enquadramento de **Classe 2**.

²¹ Fonte: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=115>

²² Fonte: <https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=56521>

A figura a seguir apresenta o enquadramento dos principais cursos de água da bacia do rio Itabirito.

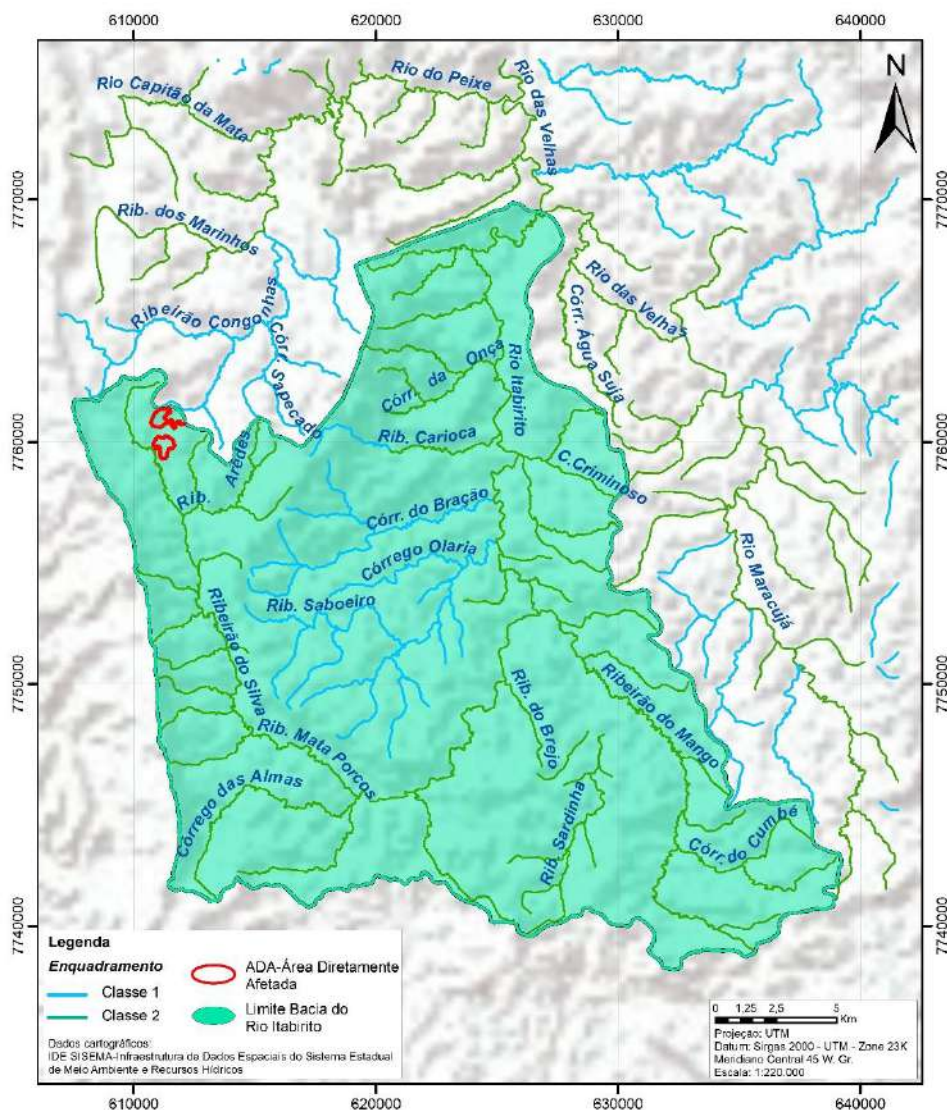


Figura 208 - Enquadramento dos principais cursos de água da bacia do rio Itabirito.

Fonte: Adaptado de DN COPAM N° 20, de 24 de junho de 1997.

Os resultados dos vários parâmetros físico-químicos e microbiológicos obtidos no monitoramento da qualidade das águas no ribeirão do Silva (Tanque Seco) e no Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes (Retiro do Sapecado) foram comparados com os limites máximos permitidos estabelecidos pela DN Conjunta COPAM/CERH - MG n.º 008, de 21 de novembro de 2022.

Para a discussão dos resultados das amostragens realizadas sobre os cursos de águas superficiais, serão tomados como referência os limites estabelecidos pela legislação ambiental do Estado de Minas Gerais correspondentes ao seu enquadramento, conforme a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH - MG n.º 008, de 21 de novembro de 2022.

Na tabela a seguir constam os limites máximos permitidos para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados segundo a DN Conjunta COPAM/CERH n.º 008/2022 e de acordo com o enquadramento dos cursos d'água.

Tabela 56 – Limites máximos permitidos segundo a DN Conjunta COPAM/CERH n.º 008/2022 para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados para as águas superficiais Classe 2.

Parâmetros	Unidades	Limite Máximo Permitido - LMP (Classe 2)
pH	-	6,0 a 9,0
Cor verdadeira	mgP.L ⁻¹	75
Turbidez	UNT	100
Condutividade elétrica a 25° C	µS.cm ⁻¹	NA
Oxigênio Dissolvido	mg.L ⁻¹ O ₂	≥ 5,0
DBO ₍₅₎	mg.L ⁻¹ O ₂	5
Sólidos sedimentáveis	mL.L ⁻¹	NA
Sólidos em suspensão	mg.L ⁻¹	100
Sólidos dissolvidos totais	mg.L ⁻¹	500
Sólidos totais	mg.L ⁻¹	NA
Óleos e graxas	mg.L ⁻¹	Virtualmente ausentes
Fenóis	mg.L ⁻¹	0,003
Surfactantes aniônicos	mg.L ⁻¹	0,5
Ferro solúvel	mg.L ⁻¹	0,3
Ferro total	mg.L ⁻¹	NA
Alumínio solúvel	mg.L ⁻¹	0,1
Arsênio total	mg.L ⁻¹	0,01
Cádmio total	mg.L ⁻¹	0,010
Chumbo total	mg.L ⁻¹	0,010
Cobre solúvel	mg.L ⁻¹	0,009
Cromo total	mg.L ⁻¹	0,05
Fósforo total	mg.L ⁻¹	0,1 (Lótico)
Manganês solúvel	mg.L ⁻¹	NA
Manganês total	mg.L ⁻¹	0,1
Mercúrio Total	mg.L ⁻¹	0,0002
Zinco total	mg.L ⁻¹	0,18
Nitrogênio total	mg.L ⁻¹	NA
Temperatura da água	°C	NA
Temperatura do Ar	°C	NA
Coliformes totais	NMP.100 mL ⁻¹	NA
<i>Escherichia coli</i>	NMP.100 mL ⁻¹	1.000
<i>Enterococcus faecium/faecalis</i>	NMP.100 mL ⁻¹	NA

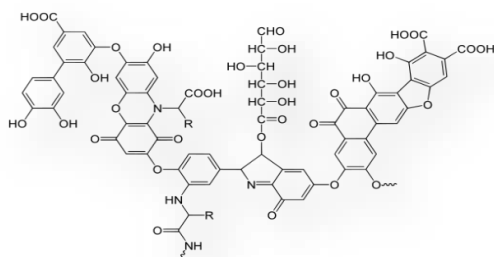
Obs.: NA – Não se aplica. Não foram estabelecidos limites máximos permitidos para estes parâmetros.

f) Significados ambientais de alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos

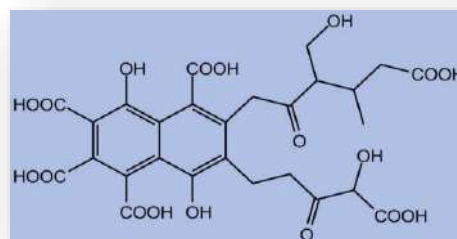
i. Parâmetros Físico-químicos

⇒ Cor

A cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas minúsculas de dimensões inferiores a $1\mu\text{m}$ - denominadas coloides - finamente dispersas, de origem orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos) ou mineral (resíduos industriais, compostos de ferro e manganês). Corpos d'água de cores naturalmente escuras são encontrados em regiões ricas em vegetação, em decorrência da maior produção de ácidos húmicos. Um exemplo internacionalmente conhecido é o do rio Negro, afluente do rio Amazonas, cujo nome faz referência a sua cor escura, causada pela presença de produtos de decomposição da vegetação e pigmentos de origem bacteriana (*Chromo bacterium violaceum*).



Ácido Húmico



Ácido Fúlvico

Figura 209 - Modelos das estruturas moleculares dos ácidos húmico e fúlvico²³.

⇒ **Sólidos suspensos e sólidos dissolvidos**

Os sólidos presentes na água podem estar distribuídos da seguinte forma: Sólidos totais que é a soma de sólidos dissolvidos (voláteis e fixos) e sólidos suspensos (sedimentáveis e não sedimentáveis).

Os sólidos em suspensão podem ser definidos como as partículas passíveis de retenção por processos de filtração.

²³Fonte: https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_h%C3%BAmico#/media/File:Humic_acid.svg; <http://www.imujer.com/salud/4235/el-acido-fulvico-y-sus-efectos-en-la-salud>

Os sólidos dissolvidos são constituídos por partículas de diâmetro inferior a $10^{-3} \mu\text{m}$ e que permanecem em solução mesmo após a filtração.

Em águas naturais, a concentração de sólidos dissolvidos totais em amostras de águas superficiais dá ideia das taxas de desgaste das rochas por intemperismo.

A entrada de sólidos na água pode ocorrer de forma natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos) ou antropogênica (lançamento de lixo e esgotos).



Figura 210 - Filtragem de uma Amostra de água (sólidos suspensos e dissolvidos).

⇒ **Sólidos sedimentáveis**

Sólidos sedimentáveis é a porção dos sólidos em suspensão que se sedimenta sob a ação da gravidade durante um período de uma hora, a partir de um litro de amostra mantida em repouso em um cone Imhoff.



Figura 211 - Cone Imhoff.

⇒ **Sólidos totais**

Os sólidos totais (ST) presentes na água correspondem à soma dos sólidos suspensos (SS) com os sólidos dissolvidos (SD).

Sólidos Totais - resíduo que resta na cápsula após a evaporação em banho-maria de uma porção de amostra e sua posterior secagem em estufa a 103-105°C até peso constante. Também denominado resíduo total.

⇒ **Turbidez**

Uma importante propriedade da água é a turbidez, a qual está diretamente relacionada à sua qualidade como água doce e potável.

A turbidez pode ser definida como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido. A alteração na penetração da luz na água decorre da presença de material em suspensão, sendo expressa por meio de unidades de turbidez (também denominadas unidades de Jackson ou nefelométricas).

A turbidez natural das águas está, geralmente, compreendida na faixa de 3 a 500 unidades. Para fins de potabilidade, a turbidez deve ser inferior a uma unidade. Tal restrição fundamenta-se na influência da turbidez nos processos usuais de desinfecção, atuando como escudo aos microorganismos patogênicos e assim minimizando a ação do desinfetante.



Figura 212 - Encontro das águas do rio Negro (à direita), menos turvo, com as do rio Solimões, que possui muitas partículas em suspensão²⁴.

⇒ pH

O pH representa a concentração de íons hidrogênio H^+ (em escala antilogarítmica), dando uma indicação de acidez, neutralidade ou alcalinidade. A faixa de pH é de 0 a 14. $pH = -\log [H^+]$

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies.

Também o efeito indireto é muito importante podendo, determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados. Outros fatores, além do pH, podem exercer efeitos sobre a solubilidade de nutrientes.

Muitos peixes e outros animais aquáticos podem sobreviver a valores de pH menores que 5,0, mas a este pH os metais se solubilizam muito facilmente, aumentando as possibilidades de toxidez. Acima de 6,0 há uma melhora na pesca e na agricultura.²⁵

²⁴**Fonte:**<http://www.infoescola.com/quimica/turbidez-da-agua/> Foto: guentermanaus / Shutterstock.com

²⁵**Fonte:**MOTA, D.A.M. Laudo de Perícia Técnica.

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies.

Também o efeito indireto é muito importante podendo, determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados. Outros fatores, além do pH, podem exercer efeitos sobre a solubilidade de nutrientes.

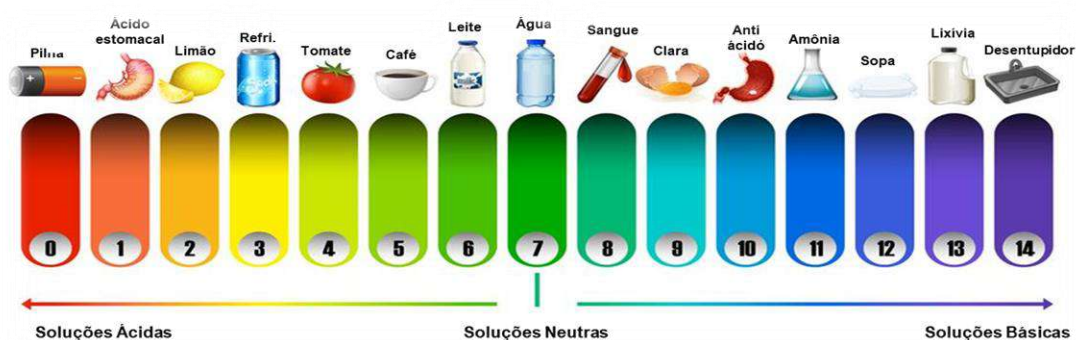


Figura 213 - Escala de pH²⁶.

⇒ Condutividade elétrica

A condutividade é uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água, e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes.

A condutividade das águas superficiais é bastante variada, podendo ser baixa, em valores de 50 micromhos/cm, em locais onde a precipitação é pobre e a litologia local é formada por rochas resistentes ao intemperismo, até valores de 50.000 50 micromhos/cm, que é a condutividade da água do mar.²⁷

Enquanto as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1000 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$.

²⁶Fonte: <https://pt.vecteezy.com/arte-vetorial/292506-uma-escala-de-ph-no-fundo-branco>

²⁷Fonte: MOTA, D.A.M. Laudo de Perícia Técnica.

⇒ Óleos e graxas

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Estas substâncias geralmente são hidrocarbonetos, gorduras, ácidos graxos, ésteres, sabões, ceras, óleos minerais, etc.

Óleos e graxas, de acordo com o procedimento analítico empregado, consistem no conjunto de substâncias que um determinado solvente consegue extrair da amostra e que não se volatiliza durante a evaporação do solvente a 100°C. Estas substâncias ditas solúveis em n-hexano compreendem ácidos graxos, gorduras animais, sabões, graxas, óleos vegetais, ceras, óleos minerais, etc. Este parâmetro costuma ser identificado também por MSH – Material Solúvel em Hexano.

⇒ DBO

DBO é a abreviatura de Demanda Bioquímica de Oxigênio. A DBO é medida, em geral, em miligramas por litro (mg.L^{-1}) e traduz indiretamente a quantidade de matéria orgânica presente no corpo de água. A matéria orgânica é formada por inúmeros componentes, como compostos de proteína, carboidratos, ureia, surfactantes (detergentes), gordura, óleos, fenóis, pesticidas, etc.

⇒ Oxigênio dissolvido (OD)

O OD é um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição das águas decorrentes de despejos orgânicos. Trata-se de um gás muito pouco solúvel em água, variando entre $14,6 \text{ mg.L}^{-1}$ a 0°C até $7,6 \text{ mg.L}^{-1}$ a 30°C, dependendo da altitude (pressão) e sais dissolvidos.

A solubilidade do OD é função da altitude e da temperatura do corpo de água. Em geral, ao nível do mar e à temperatura de 20°C, a concentração de saturação é de $9,2 \text{ mg.L}^{-1}$.

Em corpos d'água, as medidas de oxigênio dissolvido (OD) são vitais para a manutenção de condições oxidantes (aeróbias) para degradar matéria orgânica e para manter, por exemplo, o fósforo nos sedimentos dos lagos.

Abaixo seguem as formas de entrada e saída de oxigênio dissolvido das águas:

➤ Entrada de oxigênio na água

- **Atmosfera:** refere-se ao oxigênio atmosférico, transferido para a água através da difusão. Aumenta com qualquer tipo de turbulência (ondas, ventos, quedas, etc.) e;
- **Fotossíntese:** o oxigênio é produzido através da fotossíntese dos organismos aquáticos fotossintetizantes. Muitos fatores (fonte de nutrientes, temperatura, luz, etc.).

➤ Saídas do oxigênio

- Atividade respiratória de plantas e animais;
- Combustão;
- Degradação, principalmente pela ação de raios ultravioleta, com formação de ozônio (O_3);
- Combinação com metais do solo (principalmente o ferro), formando óxidos metálicos e;
- Nitrificação.

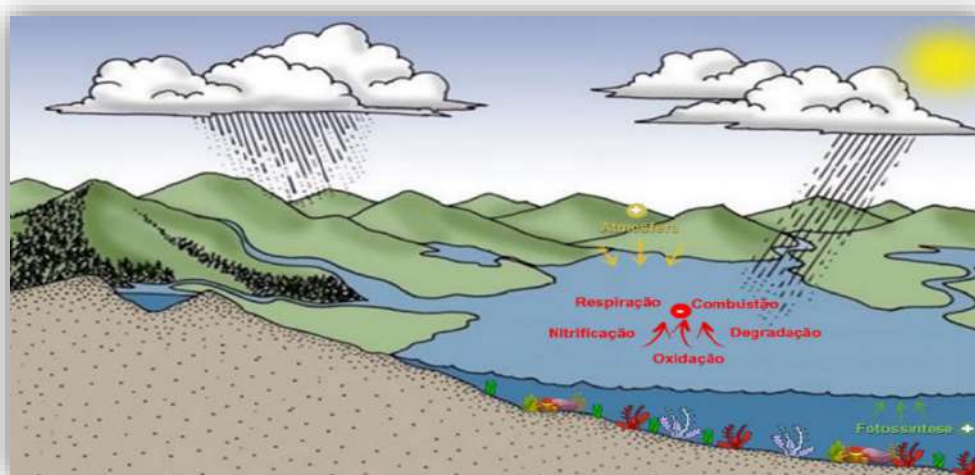
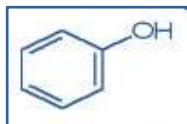


Figura 214 - Formas de entrada e saída do oxigênio dissolvido da água²⁸.

²⁸ Fonte adaptada: <https://www.pinterest.ca/pin/147352219032218719/?lp=true>

⇒ Fenóis

São definidos como os hidróxidos derivados do benzeno.



Os fenóis provêm da decomposição de folhas e matéria orgânica, ácidos húmicos e fúlvicos. Provêm da decomposição no solo e na água de vegetais (principalmente de madeiras).

Os fenóis e seus derivados aparecem nas águas naturais através das descargas de efluentes industriais. Indústrias de processamento da borracha, de colas e adesivos, de resinas impregnantes, de componentes elétricos (plásticos) e as siderúrgicas, entre outras, são responsáveis pela presença de fenóis nas águas naturais.

⇒ ABS (substâncias tensoativas)

Analicamente, detergentes ou surfactantes são definidos como compostos que reagem com o azul de metileno sob certas condições especificadas. Estes compostos são designados “Substâncias Ativas ao Azul de Metileno” (MBAS - Methylene Blue Active Substances) e suas concentrações são relativas ao sulfonato de alquil benzeno linear (LAS) que é utilizado como padrão na análise.

A diferença das duas substâncias está no tipo de cadeia e na biodegradabilidade. O ABS (Alquilbenzeno sulfonato de sódio) possui cadeia ramificada e biodegradabilidade lenta, enquanto o LAS (Sulfonato de alquil benzeno) possui cadeia linear e é biodegradável.

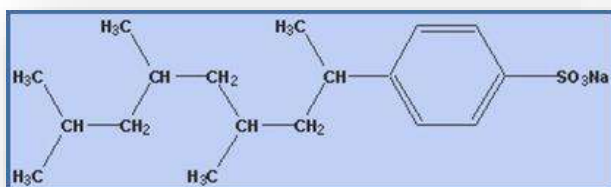


Figura 215 - Modelo da estrutura química do Alquilbenzeno sulfonato de sódio - ABS.

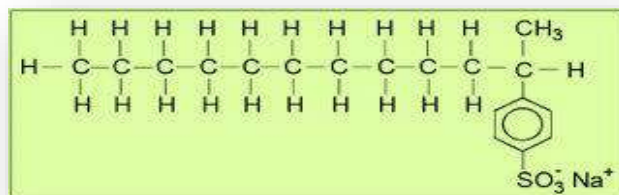


Figura 216 - Modelo da estrutura química do sulfonato de alquil benzeno – LAS.

⇒ Nitrogênio

São diversas as fontes de nitrogênio nas águas naturais. Os esgotos sanitários constituem em geral a principal fonte, lançando nas águas nitrogênio orgânico devido à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal, devido à hidrólise sofrida pela ureia na água. Alguns efluentes industriais também concorrem para as descargas de nitrogênio orgânico e amoniacal nas águas, como algumas indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, farmacêuticas, de conservas alimentícias, matadouros, frigoríficos e curtumes. A atmosfera é outra fonte importante devido a diversos mecanismos: fixação biológica desempenhada por bactérias e algas, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos, contribuindo para a presença de nitrogênio orgânico nas águas; a fixação química, reação que depende da presença de luz, concorre para as presenças de amônia e nitratos nas águas; as lavagens da atmosfera poluída pelas águas pluviais concorrem para as presenças de partículas contendo nitrogênio orgânico, bem como para a dissolução de amônia e nitratos. Nas áreas agrícolas, o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados também contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio. Também nas áreas urbanas, as drenagens de águas pluviais associadas às deficiências do sistema de limpeza pública, constituem fonte difusa de difícil caracterização.

Os compostos de nitrogênio são nutrientes para processos biológicos. São tidos como macronutrientes, pois, depois do carbono, o nitrogênio é o elemento exigido em maior quantidade pelas células vivas. Quando descarregados nas águas naturais conjuntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento do meio tornando-o mais fértil e possibilitam

o crescimento em maior extensão dos seres vivos que os utilizam, especialmente as algas, o que é chamado de eutrofização.

A eutrofização é o crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, a níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água. O principal fator de estímulo é um nível excessivo de nutrientes no corpo d'água, principalmente nitrogênio e fósforo.



Figura 217 - Exemplo de água eutrofizada (Lagoa eutrofizada/área alagada - Parque Ecológico do Tietê - Núcleo Engenheiro Goulart, São Paulo, SP, Brasil)²⁹.

⇒ **Fósforo**

O fósforo está naturalmente presente em formações rochosas na crosta terrestre, usualmente na forma de fosfato. Por terem alto valor nutritivo para plantas e animais, os fosfatos são utilizados em fertilizantes e como complementos alimentares para animais. Eles são também usados na fabricação de produtos químicos industriais, produtos farmacêuticos e ainda em detergentes. Altas concentrações de fosfato em águas superficiais podem indicar afluxo de

²⁹Fonte: <https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/14ee05799687a760>.

fertilizantes, descarga de esgoto doméstico ou a presença de efluentes industriais ou detergentes. Embora fosfatos oriundos dessas fontes sejam usualmente polifosfatos ou ligados organicamente, todos irão degradar com o tempo para ortofosfato ou fosfato reativo. Quando altas concentrações de fosfato persistem, algas e outras vidas aquáticas começam a proliferar, eventualmente levando a uma queda na concentração de oxigênio dissolvido na água, devido à aceleração da decomposição de matéria orgânica. Medições de concentração de fosfatos são usadas para controlar a corrosão e a formação de incrustações em caldeiras e torres de resfriamento, sendo também um dos principais causadores de crescimento bacteriano. Os fosfatos formam resíduos insolúveis em águas com teor de dureza elevado³⁰.

⇒ **Arsênio (As)**

Arsênio é um semimetal, muito quebradiço, cristalino, e sob aquecimento oxida-se rapidamente para óxido arsênioso, incolor e inodoro. Pode apresentar-se em duas formas alotrópicas: o cinza metálico e o amarelo, e consequentemente, ser encontrado na forma livre, porém o mais comum é na forma de minerais. O mineral mais comum e rico em arsênio é a arsenopirita (AZEVEDO & CHASIN, 2003).

O arsênio é encontrado em ambiente natural nos estados de oxidação -3, +3 e +5. É um veneno bem conhecido, e não é um elemento essencial para o corpo humano. Na água, esse metaloide é encontrado em dois estados de oxidação: +3 e +5. Ocorre raramente em estado nativo e tem como principais minerais a arsenopirita (FeAsS), loellingita (FeAs_2), ouro-pigmento (As_2S_3) e o realgar (AsS).

Arsenopirita é o mineral mais comum, sofre oxidação através de processos orgânicos e inorgânicos, liberando o As para formar novos minerais, ou conduzindo sua solubilização em água superficiais e subterrâneas, formando As (V) e As (III).

³⁰ Fonte: http://www.tratamentodeagua.com.br/r10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=304



Figura 22 – Arsenopirita.

Sua principal utilização é em vidros clarificados, ligas metálicas, fogos de artifício e em diversos biocidas. Elemento altamente tóxico, carcinogênico para a maioria dos seres vivos embora seja micronutriente para alguns. As principais ocorrências brasileiras de arsênio estão associadas a depósitos auríferos do tipo *greenstonebelt* na Bahia (rio Itapicuru), Goiás (Crixas) e Minas Gerais (Paracatu).

A contaminação por arsênio (As) na água de consumo humano, no solo, na irrigação e no ser humano pode ser devido a:

- ⇒ **Fontes Naturais:** minerais e rochas contendo arsênio (As) e solos e sedimentos formados a partir destas rochas, a atividade geotermal e vulcânica. Traços deste metalóide são encontrados em águas naturais e fontes termais.
- ⇒ **Fontes Antropogênicas:** preservação da madeira, utilização agrícola, rejeitos de mineração, refino de metais e queima de carvão rico em As, uso industrial de certos tipos de vidros, tintas e corantes.

É encontrado em verduras e frutas. Em moluscos, concentra-se até 100 mg.kg⁻¹, sendo que a ingestão de 130 mg é fatal. Apresenta efeito cumulativo, sendo carcinogênico.

No Brasil as fontes de arsênio (As) naturais relacionam-se rochas que hospedam os depósitos auríferos sulfetados, como os de Morro Velho, Cuiabá, Raposos, São Bento, Passagem de Mariana, no Quadrilátero Ferrífero - QF e

outros como o do Morro do Ouro em Paracatu, Fazenda Brasileiro na Bahia e Crixás em Goiás.

As fontes antropogênicas no Brasil são pontuais e relacionadas atividades de mineração, a uma metalúrgica no RJ e no Amapá /Serra do Navio. No QF o As ocorre nos depósitos auríferos na forma de arsenopirita e como impureza pirita.

⇒ **Bário (Ba)**

O bário (Ba) é um metal alcalino-terroso de coloração branco-prateada, de altíssima densidade e alto ponto de fusão. Não é encontrado livre na natureza, mas quando puro é altamente oxidável e em contato com o ar apresenta aspecto fluorescente. Seus principais minerais são a barita (BaSO_4) e witherita (BaCO_3).

O bário (Ba) pode ocorrer naturalmente na água, na forma de carbonatos em algumas fontes naturais.

Decorre principalmente das atividades industriais e da extração da bauxita. Os sais de bário são utilizados industrialmente na elaboração de cores, fogos de artifício, fabricação de vidro, inseticidas, etc.

Elemento básico para a fabricação de fluidos de perfuração de poços profundos, de vidros e pigmentos, borracha e papel. Ele não apresenta função biológica conhecida, os compostos insolúveis não são tóxicos, mas quando dissolvido ionicamente na água, é altamente tóxico. As maiores reservas de barita no Brasil estão na Bahia (Aramari e Camamu), Minas Gerais e São Paulo (CPRM, 2016).

⇒ **Cádmio (Cd)**

O cádmio é um metal de transição, com coloração branco acinzentado, podendo se apresentar na cor prata esbranquiçado, azulado ou metálico lustroso. É dúctil à temperatura ambiente e sua consistência é tão mole que pode ser facilmente cortado com uma faca. A abundância do cádmio na crosta terrestre é em torno de 0,1 a 0,2 ppm.

O Cd possui propriedades químicas semelhantes ao Zn e entra facilmente em solução durante os processos intempéricos. O cádmio é encontrado

em pequena quantidade na natureza, e, em geral associado a outros minérios de zinco, como a esfalerita (ZnS), na qual se encontra na proporção de 0,1 a 0,5%. Ocorre também na forma de sulfeto (CdS), formando a grenockita, minério sem importância comercial. É quase sempre obtido como subproduto dos minérios de zinco, cobre e chumbo, por destilação, em colunas de fracionamento (AZEVEDO & CHASIN, 2003)³¹.

A principal fonte natural de lançamento de cádmio na atmosfera é a atividade vulcânica.

Os principais usos do cádmio são: em revestimento do aço e do ferro, como estabilizador para cloreto de polivinila (PVC), em pigmentos para plástico e vidro, baterias níquel-cádmio e ligas. Também usado como inseticida.

O cádmio pode adentrar sistemas aquáticos devido a inúmeros fatores, tais como: intemperismo, erosão do solo e da camada de rocha viva, descargas atmosféricas diretas devido a operações industriais, vazamento de aterros e locais contaminados e pelo uso de lodo de esgoto e fertilizantes na agricultura (AZEVEDO & CHASIN, 2003 apud LIU H-M et al, 2002).

É bastante tóxico quando inalado e dificilmente é expelido pelos seres vivos acumulando-se nos organismos. A toxicidade é menor quando ingerido ou em contato com a pele. A maior parte do cádmio é recuperada como subproduto de minas de zinco, cobre ou chumbo (CPRM, 2016).

O cádmio do ponto de vista biológico, não é nem essencial e nem benéfico. É considerado bioacumulativo, ou seja, tem a capacidade de se acumular ao longo da cadeia alimentar, como o chumbo e o mercúrio.

Apresenta efeito agudo, sendo que uma única dose de 9 g pode levar à morte e efeito crônico, concentrando-se nos rins, no fígado, no pâncreas e na tireóide.

No Japão, um aumento na concentração de cádmio de 0,005 a 0,18 mg/L provocado por uma mina de zinco, causou uma doença conhecida por “Itai-Itai”.

³¹ Fonte: AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A.A.M. (eds). Metais: Gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Editora Atheneu, 2003. 554p.

⇒ Chumbo (Pb)

O chumbo (do latim – plumbum) é um metal pesado de cor branco-azulada, maleável, dúctil, resistente à corrosão e fraco condutor de eletricidade.

O chumbo é um elemento especialmente importante devido a sua ampla utilização em uma grande variedade de processos industriais. É usado principalmente como liga metálica, baterias automotivas, fusíveis, revestimentos de cabos elétricos, pigmento de tinta e em revestimentos protetores de raios X.

Na natureza o chumbo encontra-se principalmente como sulfeto de chumbo (galena), carbonato de chumbo (cerussita), sulfato de chumbo (anglesita) e clorofosfato de chumbo (piromorfita).

O chumbo entra no meio aquático através de precipitação, erosão e dissolução do solo através da água, descarga de esgoto municipal e industrial, devido a ação corrosiva sobre canalizações que contém esse metal, escoamento de matéria depositada no piso e em outras superfícies. Este metal pode ser contaminante das águas subterrâneas quando estas o incorporam a partir de suas jazidas ou quando misturados com resíduos líquidos de indústrias ou de minas.

O chumbo e seus compostos contaminam o meio ambiente em qualquer estágio de sua exploração, fundição, e processos diversos.

Como não é elemento essencial nem faz parte do metabolismo humano, é perigoso quando presente em excesso no meio ambiente.

O chumbo não possui efeitos benéficos ou nutricionais desejáveis. Ele é um metal tóxico que tende a se acumular nos tecidos do homem e de outros animais produzindo uma toxicidade crônica ou aguda, podendo ser letal. Ele é altamente tóxico para peixes.

Este elemento atua sobre as enzimas que interferem na síntese do heme (núcleo prostético da hemoglobina) levando a alterações biológicas. O chumbo não excretado é depositado no esqueleto e em tecidos, produzindo distúrbios digestivos, neuro-musculares e encefalopáticos.

Altamente tóxico, constitui veneno cumulativo, provocando um envenenamento crônico chamado saturnismo, que consiste em efeito sobre o sistema nervoso central, com consequências bastante sérias.

Como o cádmio e o mercúrio, tem a propriedade de se acumular na cadeia alimentar (bioacumulativo).

⇒ **Cobre (Cu)**

O cobre (do latim – *cuprum*) é um metal de transição, de cor avermelhada, alta condutividade térmica e elétrica, maleável e dúctil. Apresenta quatro estados de oxidação: metálico (Cu^0); íon cuproso (Cu^+); íon cúprico (Cu^{+2}) e o íon trivalente (Cu^{+3}). Assim como o Ni, Zn e Pb, possui forte afinidade com o enxofre, formando minerais sulfetados sob condições redutoras. Nos processos supergênicos, em condições oxidantes, forma hidróxidos e carbonatos. Tem como principais minerais a calcopirita (CuFeS_2), calcocita (Cu_2S), bornita (Cu_5FeS_4), cuprita (Cu_2O), tetraedrita (Cu_3SbS_3), malaquita [$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})$], azurita [$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$] e o cobre nativo.

Algumas fontes de cobre para o meio ambiente incluem corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir de usos agrícolas do cobre como fungicida e pesticida no tratamento de solos e efluentes, além de precipitação atmosférica de fontes industriais.

É importante para a fotossíntese vegetal e essencial para a boa saúde humana, mas em excesso e exposições prolongadas pode causar irritações nas vias respiratórias, vertigem, náuseas e diarreias.

O níquel é um metal prateado, que ocorre naturalmente na crosta terrestre. É um dos cinco elementos mais abundantes, vindo depois do ferro, oxigênio, do magnésio e do silicone.

O níquel é um metal prateado, considerado siderófilo, por estar associado ao Fe, e calcófilo, por possuir grande afinidade com o enxofre. Durante o intemperismo, o íon Ni^{+2} é facilmente mobilizado em soluções aquosas podendo migrar por grandes distâncias. Geralmente se associa ao Co, Cu e Pt em depósitos sulfetados em minerais como a pentlandita [$(\text{NiFe})_9\text{S}_8$], milerita (NiS), violarita (FeNi_2S_4), nicolita ou niquelina (NiAs), garnierita [$(\text{NiMg})_6(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$] e

heazlewoodita (Ni_3S_2). O mineral pirrotita (FeS) pode conter até 5% de Ni. Meteoritos de Fe, os sideritos podem conter de 5 a 20% de Ni (CPRM, 2016).

A utilização do níquel e de seus compostos na indústria é muito diversificada. Utilizado na fabricação do aço inoxidável, pois o níquel é um elemento resistente a ação corrosiva de muitos ácidos, sais e álcalis.

Os compostos inorgânicos apresentam aplicações como: produção de ligas de níquel, produção de níquel fundido com ferro, galvanização, catálise, manufatura de baterias alcalinas (Ni-Cd), manufatura de moedas, pigmentos inorgânicos, na eletrônica, próteses clínicas e dentárias.

O níquel ocorre naturalmente em vários tipos de rochas e pode entrar para o meio ambiente através dos mecanismos de degradação da rocha.

Nos rios é transportado como partículas precipitadas com material orgânico; nos lagos, a forma iônica é predominante, associada com material orgânico (AZEVEDO & CHASIN, 2003).

O metal não é acumulado em quantidades significativas por organismos aquáticos.

⇒ **Mercúrio (Hg)**

O mercúrio (do latim – *hydrargyrum*) é um metal de cor prateada, extremamente pesado, líquido à temperatura ambiente e sem odor. Raramente ocorre livre na natureza, é líquido em condições de temperatura ambiente. Seu principal mineral é o cinábrio (HgS). O mercúrio emite vapores perceptíveis mesmo a frio. Começa a evaporar em temperatura em torno de 40° C e o seu vapor não tem cor e nem cheiro.

Tem a propriedade de formar amálgamas (ligas) com diversos metais, como o ouro, prata e estanho. É bastante utilizado para amalgamar ouro nos garimpos.

A principal fonte natural de mercúrio é a própria massa terrestre e seu processo geotérmico. Encontra-se amplamente distribuído no meio ambiente.

Os sais de mercúrio mais importantes são: *cloreto de mercúrio (II)*; *cloreto mercurioso* (Hg_2Cl_2), chamado calomelano, que foi empregado como purgativo e vermífugo e utilizado no curtimento do couro, na proteção de madeira

e como fungicida no tratamento de sementes e brilhos vegetais; o *fulminato de mercúrio* $[Hg(CNO)_2]$, utilizado como detonador em explosivos; o *tiocianato de mercúrio* $[Hg(SCN)_2]$, utilizado na produção de fogos de artifício, na fabricação de espoletas e como detonante de explosivos para emprego militar ou industrial e como intensificador de imagens na indústria fotográfica; e sulfeto de mercúrio (HgS), pigmento vermelho muito utilizado até meados do século XX (CETESB, 2012).

Possui duas características principais, que fazem dele um dos contaminantes ambientais mais importantes:

- a. volatilidade;
- b. biotransformação (propriedade de se acumular na cadeia alimentar).

O mercúrio ele tem a propriedade também de bioacumulação e biomagnificação. A bioacumulação é o processo pelo qual os seres vivos absorvem e retêm substâncias químicas no seu organismo quando a taxa de ingestão é maior ou igual à taxa de eliminação. O grau de bioacumulação de um poluente é influenciado por uma série de fatores que dependem do ecossistema. A biomagnificação é a propagação desse efeito resultante do acúmulo do contaminante nos tecidos dos organismos vivos, quando há a passagem por cada nível trófico da cadeia alimentar.³²

³² Fonte: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/14/5/mercuacuterio-na-amazocircnia-a-bomba-reloacutegio-bioquiacutemica>

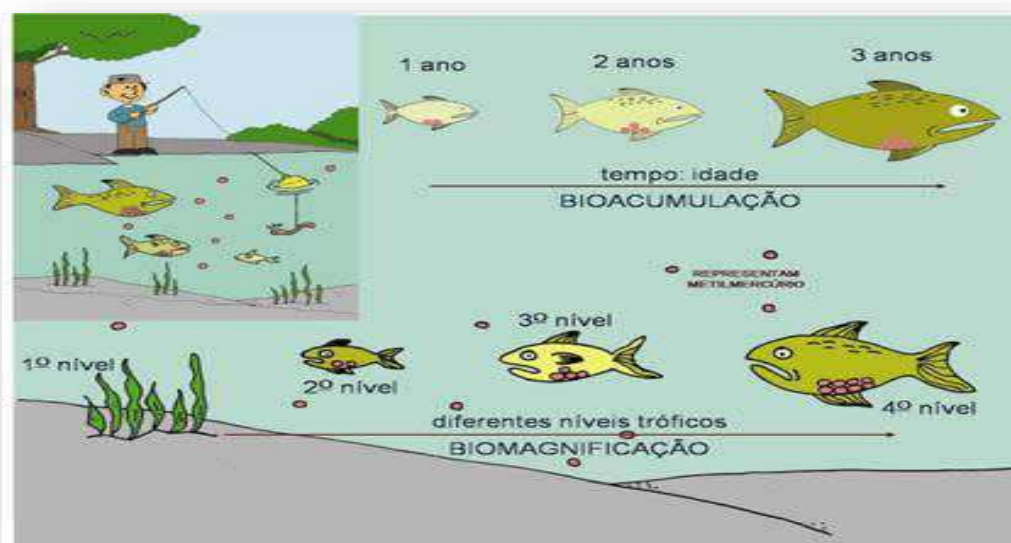


Figura 218 - Transporte e bioacumulação do Hg.

Quantidades mensuráveis deste metal têm sido encontradas em todos os lugares: no ar, água, solo, rochas, sedimentos, plantas, animais e homem. Parte é oriundo de fontes naturais e grande parte de atividades antropogênicas tais como: poluição industrial, garimpo e fungicidas.

O mercúrio tem sido objeto de intenso estudo nos últimos anos, não só pela capacidade que os organismos possuem de acumulação, como também pela utilização indiscriminada deste pelo homem, o que tem causado graves problemas ambientais e de saúde pública.

O mercúrio se apresenta sob vários estados de oxidação com números de valência 0, 1+, 2+, sendo que no meio ambiente podemos destacar as três formas químicas mais importantes, que são:

Mercúrio elementar

A forma metálica sem carga (Hg^0) é a dominante na atmosfera (>80%), onde pode ter um tempo de residência de pelo menos alguns meses ou até de um a dois anos, tendendo a estar uniformemente distribuída na troposfera. O Hg^0 é oxidado na atmosfera a formas solúveis que tendem a se depositar.

Mercúrio inorgânico divalente (Hg^{2+})

A forma divalente (Hg^{2+}) possui extrema afinidade por ligantes inorgânicos e orgânicos em organismos, especialmente os radicais sulfidril de enzimas, inativando-as. A forte ligação do mercúrio com grupos SH^- de proteínas reduz sua velocidade de excreção. O balanço líquido entre taxas de incorporação elevadas e taxas de excreção muito baixas leva à acumulação progressiva do mercúrio no organismo.

Mercúrio orgânico, principalmente o metil-mercúrio (CH_3Hg^+)

O metil-mercúrio (CH_3Hg^+ ou MeHg^+) é solúvel em água onde pode se apresentar na forma de um complexo aquoso $\text{CH}_3\text{HgOH}_2^+$. O metil-mercúrio é bastante estável em ambientes aquáticos, tem grande afinidade tanto por lipídios como por grupos sulfidril com os quais forma fortes ligações covalentes.

Pode ser formado a partir de Hg^{2+} por inúmeros processos mediados biologicamente, mas também pelos abióticos, sendo que os primeiros têm maior importância, de uma forma global.

É altamente resistente à degradação ambiental, sendo muito vagarosamente degradado por organismos vivos.

A forma orgânica di-metilada ($(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ ou Me_2Hg) (volátil em águas alcalinas) tem baixa estabilidade em águas ácidas, tendendo a se quebrar formando MeHg^+ .

O acúmulo do metil-mercúrio nas cadeias tróficas, aquática e terrestre, é um perigo potencial para o homem que consome certas espécies de peixes e crustáceos provindos de águas contaminadas e também certos pássaros que vivem em ambientes onde são empregados fungicidas à base de metil-mercúrio.

A figura a seguir ilustra o ciclo do mercúrio no meio aquático.

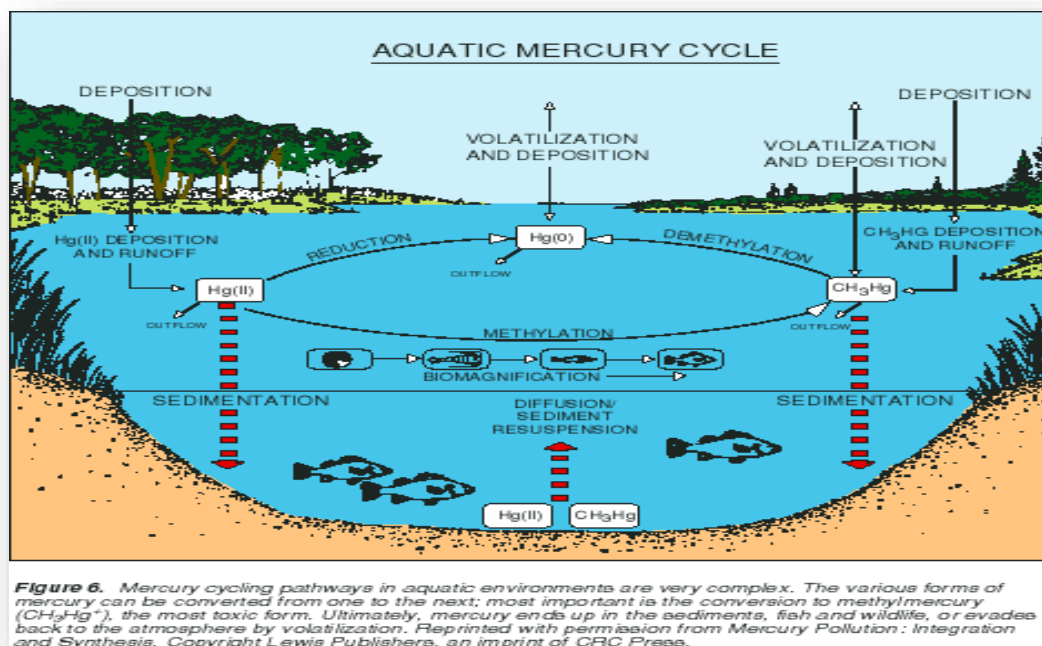


Figura 219 - Ciclo do mercúrio em ambientes naturais³³.

⇒ Alumínio

O alumínio (Al) na forma elementar é um metal de cor branca prateada característica, dúctil, maleável, inodoro, bom condutor de calor e eletricidade.

O alumínio é o metal mais comum na crosta terrestre (8,13%). Ele é abundante nas rochas e minerais, sendo considerado elemento de constituição. Nas águas naturais doces e marinhas, entretanto, não se encontra concentrações elevadas de alumínio, sendo esse fato decorrente da sua baixa solubilidade, precipitando-se ou sendo absorvido como hidróxido ou carbonato.

O Al não é encontrado livre na natureza, mas nos minerais silicatados combinado com ferro, metais alcalinos e alcalino-terrosos. O Al dissolvido se enriquece nas argilas neoformadas e desta forma sua concentração é alta nos sedimentos argilosos e rochas pelíticas, e nas derivadas de argilominerais como os filitos e micaxistos.

³³ Fonte: <https://wi.water.usgs.gov/mercury/mercury-cycling.html>

O principal mineral-minério é a bauxita, uma mistura de óxidos, alumina (Al_2O_3), hidróxidos, gibbsita e outras impurezas. Muito usado no mundo moderno em ligas metálicas que compõem a maioria dos utensílios e máquinas existentes na atualidade. Não é um nutriente essencial e, se assimilado em excesso, pode ser prejudicial e tóxico.

⇒ **Cromo**

O cromo é um metal de cor cinza, duro, quebradiço, que apresenta pouca atração magnética, ocorrendo mais comumente como cromita (FeCr_2O_4). Apresenta estados de oxidação variando de zero a +6. Os estados de oxidação mais estáveis são Cr^{3+} e Cr^{6+} .

O cromo é utilizado principalmente em ligas, por exemplo no aço inoxidável (Fe-C-Cr). Também na indústria química, na produção de pigmentos para tinta, e de refratários. É comumente utilizado em aplicações industriais e domésticas, como na produção de alumínio anodizado, explosivos, papel, fotografia.

Ele ocorre como contaminante das águas e dos sedimentos devido à poluição de despejos de curtumes, indústrias de cromatos, indústrias de galvanoplastia, etc.

Em geral, as concentrações de cromo nas águas naturais são muito pequenas. As atividades de mineração e os processos industriais podem produzir elevadas concentrações de cromo na água.

Na forma trivalente o cromo é essencial ao metabolismo humano e, sua carência, causa doenças. Já na forma hexavalente é tóxico e cancerígeno. Os limites máximos são estabelecidos basicamente em função do cromo hexavalente.

⇒ **Potássio (K)**

O potássio (K – do latim *kalium*) é um metal alcalino, de cor prateada, mole, bom condutor de calor e eletricidade, que se oxida facilmente e, depois do Li, é o metal mais leve. Em virtude de sua alta reatividade não é encontrado livre na natureza. É um dos constituintes maiores dos minerais formadores de rocha e o sexto mais comum na natureza, depois do Ca. Ocorre em K-feldspatos, como o

ortoclasio (KAlSi_3O_8) e microclina (KAlSi_3O_8), e outros silicatos, entre eles alunita [$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$], leucita (KAlSi_2O_6), muscovita [$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$], em evaporitos, como a silvinita (mistura de silvita (KCl) e halita (NaCl)), nitro ou caliche (KNO_3) e carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (CPRM, 2016).

O principal uso do K é como fertilizante na agricultura. A liga de K-Na é usada como meio de transferência de calor. É um macronutriente não tóxico, ativando reações enzimáticas, importante para o crescimento das plantas e da dieta humana.

⇒ **Sódio (Na)**

O sódio (do latim – *natrium*) é um metal alcalino, macio, intensamente reativo, de cor prateada a branca, sendo encontrado na natureza apenas quando combinado com outros elementos. Com o cloro forma um dos mais importantes alimentos naturais, o sal (NaCl), usado desde tempos pré-históricos.

Apresenta-se em pequenas quantidades nos sedimentos arenosos, mesmo contendo algum feldspato, mas é o sétimo elemento mais abundante da crosta. Durante o intemperismo, o sódio é dissolvido dos feldspatos e removido para os rios e mares, sendo responsável pelo aumento da salinidade da água (CPRM, 2016).

Seus principais minerais são: sais de evaporitos, tais como a halita (NaCl), borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), thenardita (Na_2SO_4), soda ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) e trona ($\text{Na}_3\text{HCO}_3\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

É usado principalmente como condimento alimentar, além de diversos produtos como soda cáustica (NaOH), hipoclorito de sódio usado para purificação e desinfecção de água, produção de vidro, fabricação de sabão, indústria têxtil, etc.

O sódio metálico é muito reativo, se oxida com o ar, reage violentamente com a água com liberação de hidrogênio, sendo muito corrosivo quando entra em contato com a pele.

Não é encontrado livre na natureza, pois decompõe a água produzindo um hidróxido com desprendimento de hidrogênio.

É utilizado em síntese orgânica como agente redutor. É também componente do cloreto de sódio (NaCl) necessário para a vida. É um elemento químico essencial.

⇒ **Magnésio (Mg)**

O magnésio é um metal alcalino-terroso, prateado, que se oxida em contato com o ar e é o oitavo elemento mais abundante na crosta. O Mg possui grande influência sobre o comportamento geoquímico do Fe, Ni, Co, Sc, Zn e Li em virtude de sua fácil substituição por estes elementos. Ele é o mais leve de todos os metais estruturais.

Os minerais de Mg se intemperizam facilmente por dissolução. Ocorre como magnesita MgCO_3 , carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e bischofita ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

O magnésio é utilizado na fabricação de ligas leves, em bombas incendiárias, peças de avião, fogos de artifícios, lâmpadas descartáveis de flashes de máquinas fotográficas. Além disso, compostos de magnésio também podem ser usados como material refratário, antiácido e laxante (leite de magnésia – suspensão aquosa de hidróxido de magnésio, $\text{Mg}(\text{OH})_2$).

Seus sais são amplamente usados em fármacos, e como revestimento de tijolos refratários. No corpo humano é um nutriente não tóxico. É também um importante constituinte da clorofila.

O magnésio é utilizado em produtos que se beneficiam de ser leve, como assentos de carro, bagagem, laptops, câmeras e ferramentas elétricas. Além disso, é adicionado ao ferro fundido e de aço para remover o enxofre.

Como o magnésio inflama facilmente no ar e queima com uma luz brilhante, ele é usado em sinalizadores e fogos de artifício.

Alguns compostos, entretanto, são tóxicos e os asbestos (minerais do grupo das serpentinas) são considerados carcinogênicos.

⇒ **Manganês (Mn)**

É um metal cinza semelhante ao ferro, porém mais duro e quebradiço. É o 12º elemento mais abundante da crosta terrestre e seus principais minérios são

a pirolusita e a rodocrosita. No território brasileiro os estados do Pará, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul são as principais regiões de mineração.

O comportamento do manganês nas águas é muito semelhante ao do ferro em seus aspectos os mais diversos, sendo que a sua ocorrência é mais rara. O manganês desenvolve coloração negra na água, podendo-se se apresentar nos estados de oxidação Mn^{+2} (forma mais solúvel) e Mn^{+4} (forma menos solúvel).

Os óxidos, carbonatos e silicatos de manganês são os mais abundantes na natureza e caracterizam-se por serem insolúveis na água.

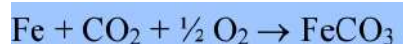
Usado em ligas principalmente na do aço e, também, para a produção de pilhas. Sua principal aplicação é na fabricação de ligas metálicas no qual é um agente removedor de enxofre e oxigênio e outros usos de seus principais compostos incluem o dióxido de manganês na confecção de pilhas secas e o permanganato de potássio em laboratório como agente oxidante em várias reações químicas.

Pouco significado sanitário nas concentrações usualmente encontradas nas águas naturais. Problemas de cor e estéticas. Causam coloração avermelhada à água, no caso do ferro, ou marrom, no caso do manganês, manchando roupas e outros produtos industrializados. Conferem sabor metálico à água.

As águas ferruginosas favorecem o desenvolvimento das ferrobactérias, que causam maus odores e coloração à água e obstruem as canalizações.

⇒ **Ferro (Fe)**

O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido à dissolução do minério pelo gás carbônico da água, conforme a reação:



O carbonato ferroso é solúvel e frequentemente é encontrado em águas de poços contendo elevados níveis de concentração de ferro.

Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e à ocorrência de processos de erosão das margens. Também poderá ser importante a contribuição devida a efluentes

industriais, pois muitas indústrias metalúrgicas desenvolvem atividades de remoção da camada oxidada (ferrugem) das peças antes de seu uso, processo conhecido por decapagem, que normalmente é procedida através da passagem da peça em banho ácido.

Basicamente, o ferro pode se apresentar nas águas nos estados de oxidação Fe^{+2} e Fe^{+3} . O íon ferroso (Fe^{2+}) é mais solúvel do que o férrico (Fe^{+3}). Portanto, os inconvenientes que o ferro traz às águas devem ser atribuídos principalmente ao ferro “ferroso”, que, por ser mais solúvel, é mais frequente.

Os óxidos de ferro mais conhecidos são o óxido de ferro (II) (FeO), o óxido de ferro (III) (Fe_2O_3) e o óxido misto (Fe_3O_4). Forma numerosos sais e complexos com estes mesmos estados de oxidação. O hexacianoferrato II de ferro III, usado em pinturas, é conhecido como *azul da Prússia* ou *azul de Turnbull*.

É o metal de transição mais abundante da crosta terrestre, e quarto de todos os elementos. Também é abundante no Universo, tendo-se encontrados meteoritos que contêm este elemento. O ferro é encontrado em numerosos minerais, destacando-se: A hematita (Fe_2O_3), a magnetita (Fe_3O_4), a limonita [$\text{FeO}(\text{OH})$], a siderita (FeCO_3), a pirita (FeS_2) e a ilmenita (FeTiO_3)³⁴.

Pode-se obter o ferro a partir dos óxidos com maior ou menor teor de impurezas. Muitos dos minerais de ferro são óxidos.

A redução dos óxidos para a obtenção do ferro é efetuada em um forno denominado *alto-forno* ou *forno alto*. Nele são adicionados os minerais de ferro, em presença de coque, e carbonato de cálcio, CaCO_3 , que atua como escorificante.

O ferro, apesar de não se constituir em um tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição.

³⁴ Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ferro>

⇒ **Titânio (IV)**

O titânio é um elemento litófilo, ou seja, apresenta afinidade máxima pelo oxigênio. Está associado aos silicatos os quais são característicos da crosta terrestre. Quando puro, é um metal branco e brilhante, que ocorre em três estados de oxidação (Ti^{2+} , Ti^{3+} e Ti^{4+}) e possui boa resistência mecânica a corrosão. É o nono elemento mais comum na crosta terrestre. Seus principais minerais são a ilmenita ($FeTiO_3$), rutilo (TiO_2) e suas variedades polimórficas brookita e octaedrita/anastásio, e sphene/titanita ($CaTiSiO_5$), além dos poucos comuns perovskita ($CaTiO_3$) e loparita $(Ce,Na,Ca)(Ti,Nb)O_3$. É usado na confecção de ligas na indústria aeroespacial, confecção de próteses ortopédicas; indústria bélica; como refletor de radiação infravermelha.

A maior parte dos concentrados provenientes dos minerais de titânio é destinada a produção de pigmentos.

Não tem papel biológico conhecido até o momento e não é tóxico, mas suspeita-se de ser carcinogênico.

⇒ **Fósforo (P)**

O fósforo (do latim – *phosphorus*) é um elemento não metálico, semitransparente, fosforescente no escuro e que pega fogo espontaneamente quando exposto ao ar. O fósforo não é encontrado livre na natureza, pois é muito reativo, oxidando-se espontaneamente em contato com o oxigênio do ar atmosférico, emitindo luz. Entretanto, ocorre largamente em muitos minerais na forma de fosfatos associados com o cálcio. Quando puro, é incolor, transparente e insolúvel em água.

Os principais minerais são a apatita $[Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)]$, monazita $[(Ce, La, Nd,Th).(PO_4,SiO_4)]$ e xenotímio (YPO_4). Também é extraído de fosforitos, rochas sedimentares de origem marinha com alto teor de minerais fosfatados.

O P é usado principalmente em fosfatos solúveis na indústria de fertilizantes, em ração animal e na indústria química (vidros especiais, tipos de aços contra corrosão, em tubulações e caldeiras). Os fosfatos são usados para a fabricação de cristais especiais para lâmpadas de sódio e no revestimento interno de lâmpadas fluorescentes. É importante para a produção de aço e bronze. O

Fosfato trissódico é empregado como agente de limpeza para amolecer a água e prevenir a corrosão da tubulação. Já fósforo branco tem aplicações militares em bombas incendiárias e bombas de efeito moral.

O fósforo é o único macronutriente que não existe na atmosfera, se não unicamente quando encontrado em forma sólida nas rochas.

Ao mineralizar-se, é absorvido pelas raízes das plantas e se incorpora a cadeia trófica dos consumidores, sendo devolvido ao solo, nos excrementos ou através da morte. Uma parte do fósforo é transportada por correntes de água. Ali, se incorpora na cadeia trófica marinha ou se acumula e se perde nos solos marinhos, aonde não pode ser aproveitada pelos seres vivos, até que o afloramento de algas profundas possa reincorporá-lo na cadeia trófica. A partir do "guano" ou excremento de aves pelicaniformes, o fósforo pode ser reutilizado como "guano" reiniciando um novo ciclo.

⇒ **Silício (Si)**

Silício é um elemento químico pertencente ao grupo do carbono, de símbolo Si, não é normalmente encontrado em estado puro na natureza. Em combinação com outros elementos, constitui 27,7% da crosta terrestre, e é o elemento mais abundante depois do oxigênio. Vários compostos de silício estão presentes também na água, na atmosfera, em muitas plantas e nos ossos, tecidos e fluidos internos de alguns animais.

Em estado livre, o silício é um sólido cinza-escuro, duro, de brilho metálico e estrutura cristalina semelhante à do diamante. Suas propriedades químicas se assemelham às do carbono: relativamente inerte à temperatura ambiente, experimenta, com o aquecimento, um notável aumento de sua reatividade com os halogênios (flúor, cloro, bromo e iodo) e com certos metais.

O silício é usado para fabricar chips de computador, em metalurgia como agente e redutor e como liga metálica no aço, latão e bronze; altamente purificado, é usado em dispositivos fotoelétricos, transistores e outros componentes eletrônicos. Os compostos de silício (SiO_2 , sílica) e os vários silicatos. Na forma de areia e argila, a sílica é usada para fabricar concreto, tijolos e materiais refratários.

⇒ Zinco (Zn)

O zinco é um metal de cor branco-azulada, possui facilidade de se oxidar, baixo ponto de fusão, que o torna maleável, e razoável condutor de eletricidade e tem facilidade de combinação com outros metais, o que permite sua utilização na fabricação de ligas.

Vários sais de zinco podem ser encontrados na natureza: acetato de zinco, cloreto de zinco, óxido de zinco, estearato de zinco e sulfato de zinco.

Tem como principais minerais: esfalerita (ZnS), smithsonita (ZnCO_3), hidrozincoita [$\text{Zn}_5(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_6$], zincita (ZnO), calamina [$\text{Zn}_4\text{Si}_3\text{O}(\text{OH})_2$], willemita (Zn_2SiO_4) e franklinita [$(\text{Zn}, \text{Mn}, \text{Fe})_2\text{O}_4$]. Os compostos de Zn possuem uma variada utilização na indústria (desodorantes, xampu, tintas luminescentes, cosméticos, borrachas, tintas, pilhas e baterias etc.).

E utilizado também em ligas como latão e o bronze, entretanto seu uso principal está no processo de galvanização.

A principal aplicação do zinco - cerca de 50% do consumo anual - é na galvanização do aço ou ferro para protegê-los da corrosão, isto é, o zinco é utilizado como metal de sacrifício (tornando-se o ânodo de uma célula, ou seja, somente ele se oxidará). Ele também pode ser usado em protetores solares, em forma de óxido, pois tem a capacidade de barrar a radiação solar.³⁵

É um dos elementos mais encontrados na Terra. Pode ser encontrado no ar, no solo, na água e está naturalmente presente nos alimentos. O zinco se distribui pelo ar, pela água e pelo solo como resultado de processos naturais e atividades humanas. Grande quantidade de zinco entra no ambiente como resultado das atividades antropogênicas, como mineração, purificação de zinco, chumbo, cádmio, produção de aço, queima de carvão e de lixo (AZEVEDO & CHASIN, 2003).

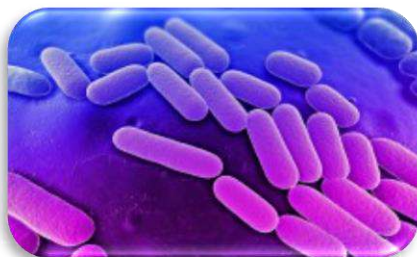
Embora o zinco seja um requisito essencial para uma boa saúde, o excesso dele pode ser prejudicial. Absorção excessiva de zinco suprime a absorção de cobre e de ferro. O zinco metálico não é considerado tóxico, porém alguns de seus compostos, como o óxido e o sulfeto, são nocivos.

³⁵ Fonte: <http://professoralucianekawa.blogspot.com/2013/09/zinco-zn.html>.

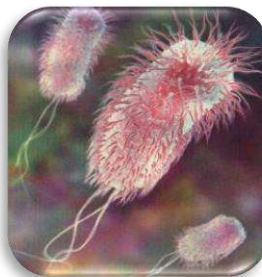
ii. Parâmetros Microbiológicos

⇒ Coliformes totais (bactérias do grupo coliforme)

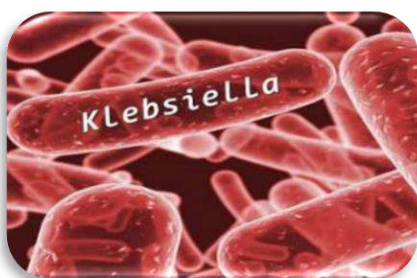
São bacilos gram-negativos, aeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β – galactosidase. A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo.



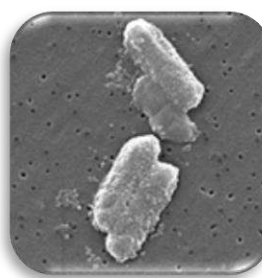
*Enterobacteriaceae*³⁶



*Coliforms/E. coli*³⁷



*Klebsiella*³⁸



*Citrobacter*³⁹

Figura 220 - Bactérias do grupo coliformes.

³⁶ Fonte: <http://biocontrolsys.com/products/targets/quality/>

³⁷ Fonte: <http://www.mdsau.de.com/2011/06/bacteria-escherichia-coli.html>

³⁸ Fonte: <http://image.slidesharecdn.com/klebsiella-131030221056-phpapp02/95/klebsiella-1-638.jpg?cb=1383171188>

³⁹ Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Citrobacter>

⇒ Coliformes termotolerantes (Fecais)

Segundo a DN Conjunta COPAM/CERH 8/2022, os coliformes termotolerantes são bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidase-negativas, caracterizadas pela atividade da enzima β -galactosidase. Podem crescer em meios contendo agentes tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44° - 45°C, com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal.

Dentro dessa família, o subgrupo “Coliformes fecais” é constituído por bactérias aeróbicas, anaeróbicas facultativas, gram-negativas, sem formação de esporos e tendo como principal componente a bactéria *Escherichia coli*.

Segundo a DN Conjunta COPAM/CERH 1/2008, a *Escherichia coli* (*E.coli*) é uma bactéria pertencente à família Enterobacteriaceae caracterizada pela atividade da enzima-glicuronidase. Produz indol a partir do aminoácido triptofano. É a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo *habitat* exclusivo é o intestino humano e de animais homeotérmicos, onde ocorre em densidades elevadas.



Figura 221 - *Escherichia coli*⁴⁰.

⁴⁰Fonte: <http://therecycletimes.com>

Os coliformes fecais não são considerados organismos patogênicos, porém a sua detecção na amostra é um indicador da existência potencial de agentes verdadeiramente patogênicos nas águas, tais como o vibrião colérico, o vírus da hepatite e bactérias patogênicas (*Salmonella*, outros).

g) Índice de Qualidade das Águas - IQA

Um índice de qualidade é um valor calculado a partir dos parâmetros mais representativos da qualidade, com seus pesos relativos, ambos estabelecidos a partir de consulta de vários especialistas nas áreas relativas ao uso e qualidade da água. Ele indica a relativa qualidade da água em pontos geográficos e/ou ao longo do tempo.

Entre vários índices existentes para determinar a qualidade da água, um dos mais utilizados é o WQI (*Water Quality Index*), desenvolvido em 1970 pela NSF (*Nacional Sanitation Foundation*) dos Estados Unidos.

O índice de Qualidade das Águas – IQA incorpora parâmetros considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas. Ele é calculado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros: temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C), coliformes termotolerantes (fecais), nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez. Na falta de um dos nove parâmetros o índice é inviabilizado.

O IQA é calculado pelo produto ponderado da qualidade de água correspondente a cada parâmetro, matematicamente é expresso por:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

q_i : qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade" (Figura X) em função de sua concentração ou medida e;

w_i : peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

Sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Onde:

n: número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

No caso de não se dispor do valor de algum dos 9 parâmetros, o cálculo do IQA é inviabilizado.

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas, que é indicada pelo IQA, variando numa escala de 0 a 100.

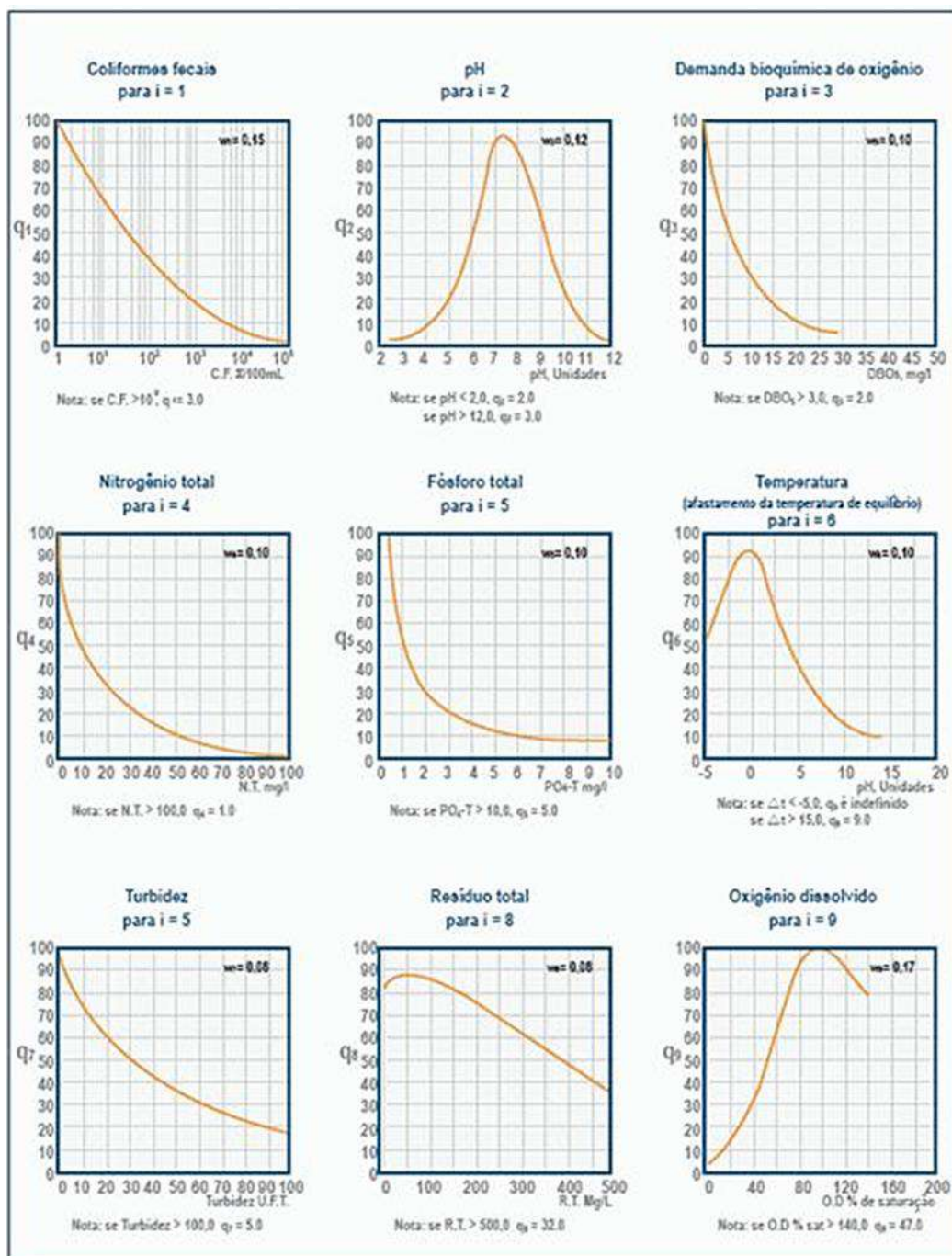


Figura 222 - Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas⁴¹.

O índice de Qualidade de Água usa uma escala de 0 a 100 para taxar a qualidade da água, com 100 sendo a contagem mais alta.

⁴¹ Fontes: <http://qualidadedaaguanobrasil.blogspot.com>

Tabela 57- Níveis de qualidade das águas em função do valor de IQA⁴².

Nível de Qualidade	Valor IQA (IGAM)
Excelente	$90 < \text{IQA} \leq 100$
Boa	$70 < \text{IQA} \leq 90$
Média	$50 < \text{IQA} \leq 70$
Ruim	$25 < \text{IQA} \leq 50$
Muito Ruim	$0 \leq \text{IQA} \leq 19$

h) Contextualização dos Pontos de Amostragem e Avaliação dos Resultados das Análises de Água por Ponto de Coleta

Neste item será avaliada a qualidade das águas superficiais em quatro pontos de coleta, sendo três pontos inseridos no ribeirão do Silva no local denominado Tanque Seco (ADA) e um no Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes, próximo à Mina do Sapecado.

A figura inserida no início do presente capítulo de “Qualidade das Águas Superficiais” ilustra uma imagem de satélite e uma do IBGE exibindo a área do projeto minerário da Herculano Mineração Ltda, destacando o local da ADA do Tanque Seco, objeto do licenciamento, e a região do Retiro do Sapecado, integrantes do Projeto Minerário da Herculano em estudo e a localização dos pontos de águas superficiais avaliados no presente estudo.

A discussão dos resultados será realizada por ponto de monitoramento e em ordem crescente de numeração.

A numeração e a denominação dos pontos de coleta seguirão a mesma já utilizada pela empresa no seu Programa de Monitoramento Hídrico e de Efluentes Líquidos.

Para cada ponto de monitoramento serão avaliados parâmetros físico-químicos e microbiológicos, sendo que no ribeirão Silva será considerado o período de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 e médias anuais de 2017 a 2021 e no Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes, uma campanha realizada em 16/09/24.

⁴² Fonte: <http://www3.funceme.br/qualigraf/app/pagina/show/3>

Os parâmetros hidrobiológicos serão avaliados em outro item do presente estudo.

i. P1 – Vertedouro da Barragem B3.

- **Contextualização do Ponto de Amostragem P1 – Vertedouro da Barragem B3**

- ⇒ Bacia do rio São Francisco
- ⇒ Sub-bacia do rio das Velhas
- ⇒ Coordenadas UTM em Sirgas 2000 (Fuso 23K): X = 610985; Y= 7760395
- ⇒ Altitude: 1220 m

Contextualização

A bacia de contribuição deste ponto está quase que integralmente inserida no interior da mina, estando a jusante da área de beneficiamento de minério.

O ponto de coleta está localizado no vertedouro de segurança da barragem de acumulação de água designada **B3**, a qual se situa a jusante de todas as utilidades do empreendimento neste local, incluindo a instalação de tratamento de minério, barragem de rejeitos úmidos, oficina, cozinha/refeitório e alojamento e escritório. Este ponto também está a montante da futura Pilha Sul e da futura Cava A e a jusante da futura Pilha Norte, que são objetos do presente estudo.

A seguir será apresentado um registro fotográfico do local de coleta do ponto **P1**.



Figura 223 - Local de coleta do ponto P1.



Janeiro de 2022



Julho de 2022



Janeiro de 2023



Julho 2023



Janeiro de 2024



Julho de 2024



Janeiro 2025



Janeiro de 2025

Figura 224 - Local de coleta realizada no ponto **P1**.

A figura a seguir ilustra a coleta realizada no ponto **P1** na data 16/09/24.



Figura 225 - Local de coleta realizada no ponto **P1** na data 16/09/24.

- Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas correspondentes ao ponto P1 – vertedouro da Barragem B3.**

As águas do ponto **P1** foram enquadradas como **classe 2**, ou seja, “Águas destinadas: a - ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; b - à proteção das comunidades aquáticas; c - à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); d - à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e - à aquicultura e à atividade de pesca”, conforme o Art. 4º item III do capítulo II DA CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA da DN CONJUNTA COPAM/CERH 8/2022.

Em termos de qualidade das águas superficiais verificada nas datas **04/01/22, 05/07/22, 06/01/23, 05/07/23, 05/01/24, 02/07/24, 16/09/24 e 07/01/25** no ponto **P1**, tem-se que, embora praticamente todos os parâmetros tenham acusado

valores em conformidade com os padrões estabelecidos pela DN Conjunta COPAM/CERH 8/2022 para as águas de Classe 2, alguns como o manganês total, ferro solúvel e cobre acusaram inconformidades.

Em termos de médias anuais (2017-2021) ocorreram as seguintes inconformidades: ferro solúvel (2021); manganês total (2017-2021); sólidos suspensos (2019) e *E. coli* (2018 e 2021).

Em termos de sólidos, estes acusaram valores reduzidos e inferiores aos limites máximos permitidos, com exceção da média anual de 2019 que acusou um valor de 110 mg.L⁻¹, quando o LMP é de 100 mg.L⁻¹, indicando que as medidas de controle de sólidos estão sendo eficazes.

O pH obtido nas datas de amostragem **04/01/22, 05/07/22, 06/01/23, 05/07/23, 05/01/24, 02/07/24, 16/09/24 e 07/01/25** acusou valores de 6,64 a 8,95, ou seja, dentro da faixa limite exigida pela legislação (6 a 9), caracterizando as águas coletadas como ligeiramente ácidas a alcalinas. As médias anuais de 2017 a 2021 acusaram valores oscilando de 6,26 a 8,39, estando dentro da faixa limite, caracterizando as águas amostradas como ligeiramente ácidas a alcalinas. Observa-se que o pH vem mantendo o mesmo comportamento ao longo do histórico do monitoramento.

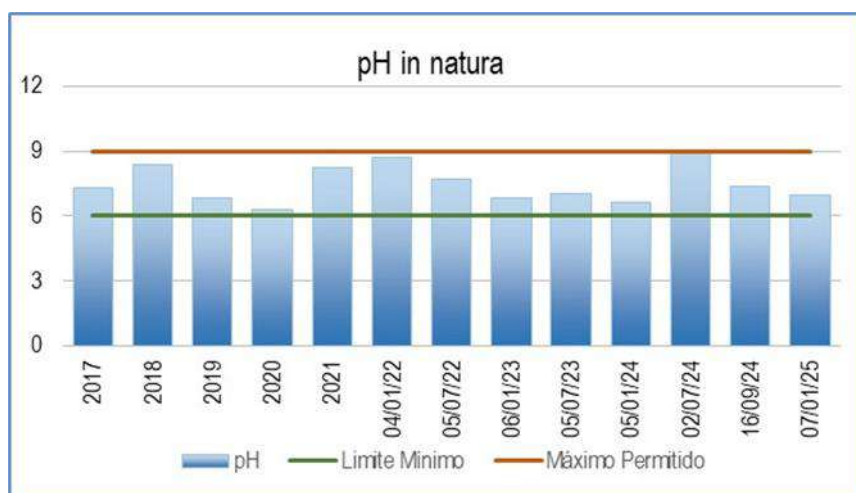


Figura 226 - Resultados de pH obtidos no ponto **P1** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

Segundo MAIER (1987), o pH é muito influenciado pela quantidade de matéria morta a ser decomposta, sendo que quanto maior a quantidade de matéria orgânica disponível, menor o pH, pois para haver decomposição desse material, muitos ácidos são produzidos (como os ácidos húmicos). As águas conhecidas como Pretas (por exemplo, o rio Negro, na Amazônia) possuem pH muito baixo, devido ao excesso de ácidos húmicos em solução.

O pH de um corpo d'água também pode variar, dependendo da área (espaço) que este corpo tem em receber as águas da chuva, os esgotos e a água do lençol freático. Quanto mais ácido for o solo da bacia, mais ácidas serão as águas deste corpo d'água. Por exemplo, um Cerrado, que tem excesso de alumínio, quando drenado, leva uma grande quantidade de ácidos para os corpos d'água, reduzindo o pH. Mais um bom motivo para se estudar todas as características da bacia hidrográfica antes de recolher amostras, pois a variável em questão, o pH, é muito influenciável pelo espaço e tempo.

Pode também existir ambientes aquáticos naturalmente alcalinos em função da composição química das suas águas, é o exemplo de alguns lagos africanos onde o pH pode chegar a 10.

A condutividade elétrica acusou valores muito reduzidos oscilando de 43,9 a 199,0 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, indicando a presença de poucos sais dissolvidos nas águas amostradas, ou seja, baixa mineralização. Estes resultados reduzidos estão coerentes com os baixos teores detectados para os sólidos dissolvidos (máximo de 110 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$). As médias anuais de 2017 a 2021 oscilaram de 47,4 a 80,2 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, indicando presença de poucos íons dissolvidos nas águas, ou seja, baixa mineralização, mesma condição verificada nos anos de 2022 a 2024.

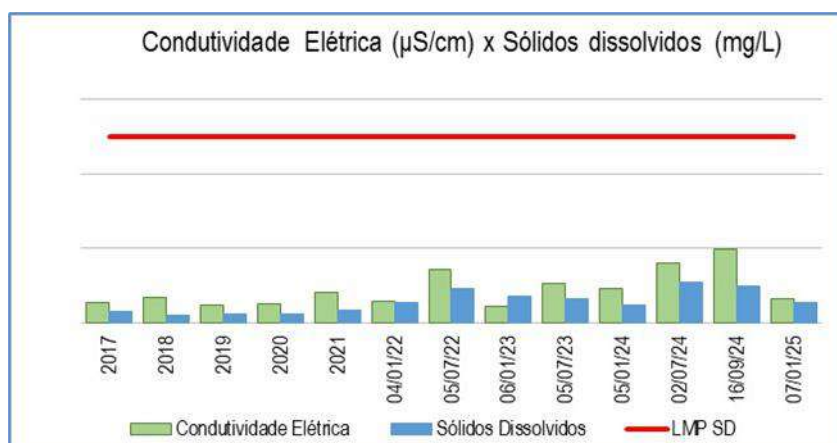


Figura 227 - Resultados de condutividade elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) e sólidos dissolvidos totais ($\text{mg}.\text{L}^{-1}$) obtidos no ponto **P1**, no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

De acordo com a literatura, a condutividade para as águas varia de 0,5 a $2,0 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ para água destilada, 10 a $100 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ para as águas naturais e acima de $1000 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ para águas poluídas.

Os parâmetros indicativos do controle ambiental na mina, especialmente no que tange à contenção de sólidos erodidos, apresentaram teores reduzidos. Os sólidos dissolvidos apresentaram teores oscilando de 47 a $110 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$, ou seja, significativamente inferiores ao limite máximo permitido de $500 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$. As médias anuais de 2017 a 2021, também acusaram teores bastante reduzidos, onde oscilaram de $<20 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$ (2018) a $33 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$ (2021). Estes valores reduzidos corroboram os valores reduzidos de condutividade elétrica.

Os sólidos totais acusaram teores oscilando de 52 a $222 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$. As médias anuais oscilaram de $18 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$ (2020) a $123,5 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$ (2019).

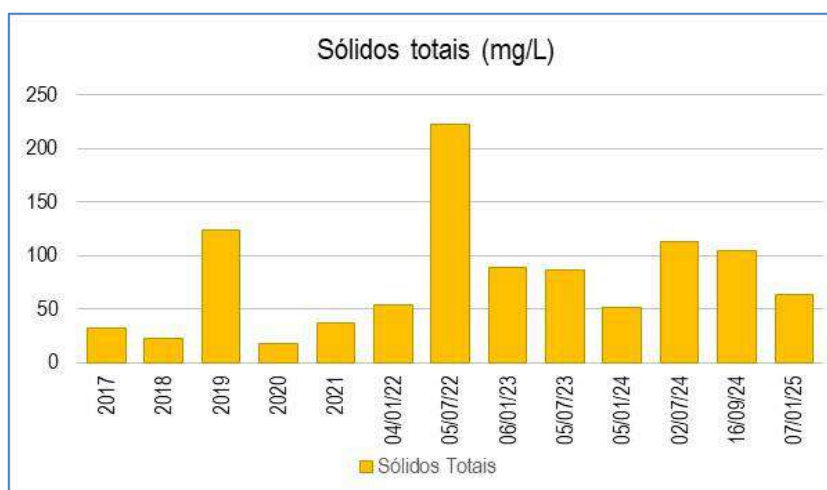


Figura 228 - Resultados de sólidos totais (mg.L^{-1}) obtidos no ponto **P1** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

Os sólidos suspensos acusaram teores oscilando de <10 a 74 mg.L^{-1} , sendo inferiores ao limite de 100 mg.L^{-1} . Com exceção da data 05/07/22 que acusou um valor de 74 mg.L^{-1} , as demais datas acusaram teores inferiores aos limites de quantificação do método de análise $<10 \text{ mg.L}^{-1}$ e $<20 \text{ mg.L}^{-1}$. Os resultados demonstram que mesmo no mês de janeiro quando ocorrem as chuvas, os sólidos suspensos não foram detectados, indicando que a barragem B3 vem sendo eficaz em conter os sólidos.

As médias anuais oscilaram de 16 (2021) a 110 mg.L^{-1} (2019). Somente em 2019 ocorreu um valor atípico de 110 mg.L^{-1} em função de um resultado mais elevado em julho de 2019. As médias anuais de 2017, 2018 e 2020 acusaram um teor $<20 \text{ mg.L}^{-1}$.

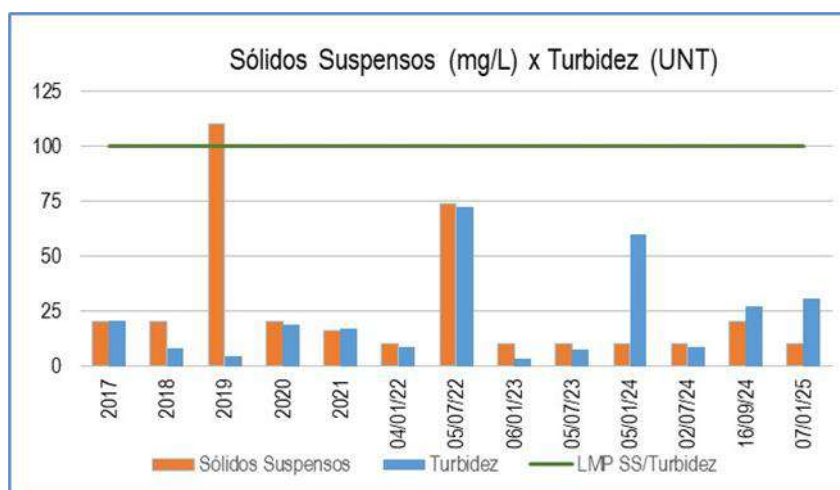


Figura 229 - Resultados de sólidos suspensos (mg.L^{-1}) e turbidez (UNT) obtidos no ponto **P1** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

A diferença nos limites de quantificação do método de análise se deve a mudança de laboratório na campanha de setembro de 2024.

Os resultados reduzidos de sólidos indicam que a barragem vem cumprindo seu papel em reter os sólidos, pois o ponto de coleta é no seu vertedouro. Também indicam que as medidas de controle de sólidos foram eficazes no período analisado, uma vez que este ponto está a jusante da área de beneficiamento de minério, inclusive da barragem de rejeitos, bem como de toda infraestrutura de apoio, incluindo escritório, oficina, alojamento, cozinha e restaurante, além de receber contribuição de áreas rurais extra empreendimento.

Como resultado dos baixos teores detectados para os sólidos suspensos (máximo de 74 mg.L^{-1}), a turbidez também acusou valores reduzidos oscilando de 3,6 a 72,5 UNT, sendo inferiores ao LMP de 100 UNT. Observa-se que as médias anuais (2017 a 2021) acusaram valores sempre inferiores ao limite máximo permitido e variaram de 4,33 (2019) a 20,7 UNT (2017).

Os óleos e graxas oscilaram de virtualmente ausentes a $<10 \text{ mg.L}^{-1}$. Os resultados vêm se mantendo reduzidos e dentro do LMP desde 2017. As médias anuais acusaram um teor $<10 \text{ mg.L}^{-1}$ em todos os anos.

A DN Conjunta COPAM/CERH 8/2022 estabelece para óleos e graxas como limite que seja virtualmente ausente, ou seja, que não é perceptível pela visão, olfato ou paladar.



Figura 230 - Resultados de óleos e graxas (mg.L^{-1}) obtidos no ponto **P1** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

O ferro solúvel acusou teores oscilando de $0,03$ a $0,38 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo inferiores ao limite máximo permitido de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$, com exceção da data 16/09/24 quando acusou um valor ligeiramente superior ao LMP. O ferro solúvel esteve abaixo do LMP desde 2017, com exceção de 2021. As médias anuais oscilaram de $0,13$ a $0,72 \text{ mg.L}^{-1}$. Somente a média de 2017 acusou um teor acima do LMP. O ferro total acusou teores variando de $0,04$ a $8,34 \text{ mg.L}^{-1}$. O valor mais elevado ocorreu em 05/07/22. As médias anuais oscilaram de $0,30$ (2019) a $0,94 \text{ mg.L}^{-1}$ (2021).

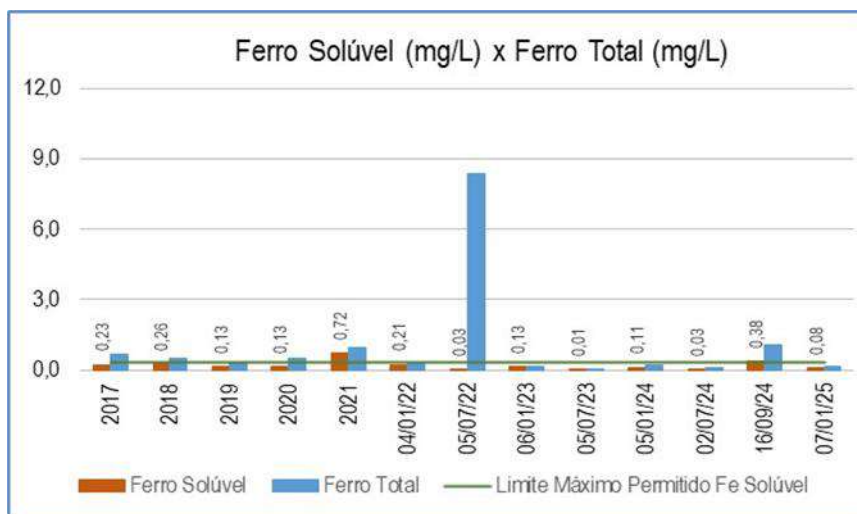


Figura 231 - Resultados de ferro solúvel (mg.L^{-1}) e ferro total (mg.L^{-1}) obtidos no ponto **P1** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

Já o manganês total, apresentou teores oscilando de 0,04 a 1,41 mg.L^{-1} sendo superiores ao limite de 0,1 mg.L^{-1} , com exceção das datas 05/07/23 e 02/07/24 (Figura x). Observa-se através da figura a seguir que o manganês total vem apresentando valores superiores ao LMP desde 2017. As médias anuais de 2017 a 2021 variaram de 0,06 a 0,17 mg.L^{-1} , indicando que o *background* da região é mais elevado, uma vez que antes da operação da mina, já ultrapassava o LMP.

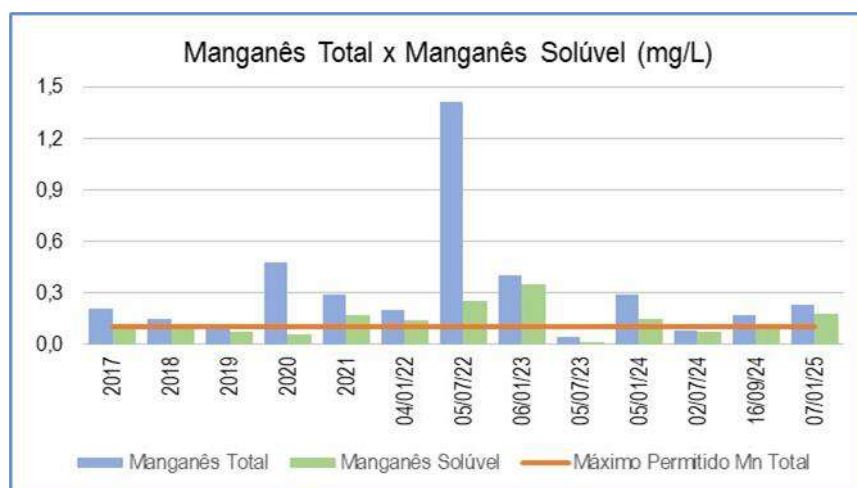


Figura 232 - Resultados de manganês total (mg.L^{-1}) e manganês solúvel (mg.L^{-1}) obtidos no ponto **P1** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

Quanto à presença de ferro e manganês nas águas, cabe ressaltar que o empreendimento encontra-se na porção central do Sinclinal Moeda, no Quadrilátero Ferrífero, constituído pelas sequências pertencentes ao Supergrupo Minas, que inclui as formações ferríferas do Grupo Itabira, Formação Itabirito Cauê, estando a área posicionada especificamente sobre as litológicas do Grupo Piracicaba, Formação Fecho do Funil, composta predominantemente por filitos dolomíticos com lentes de mármore, sendo frequentes as ocorrências manganíferas.

A cor verdadeira acusou valores oscilando de <2,0 a 11,0 mgPt.L⁻¹ nas oito datas de coleta, sendo muito inferiores ao limite máximo permitido de 75 mgPt.L⁻¹ estabelecido pela DN Conjunta COPAM/CERH 08/2022 para águas Classe 2. Estes resultados reduzidos detectados para cor estão de acordo com o observado visualmente. Os teores reduzidos de sólidos dissolvidos (47 a 110 mg.L⁻¹) contribuíram para os índices reduzidos de cor. No período de 2017 a 2021 (médias anuais), todos os resultados foram reduzidos e inferiores ao LMP de 75 mgPt.L⁻¹ e oscilaram de 6,91 a 8,97 mg.L⁻¹.

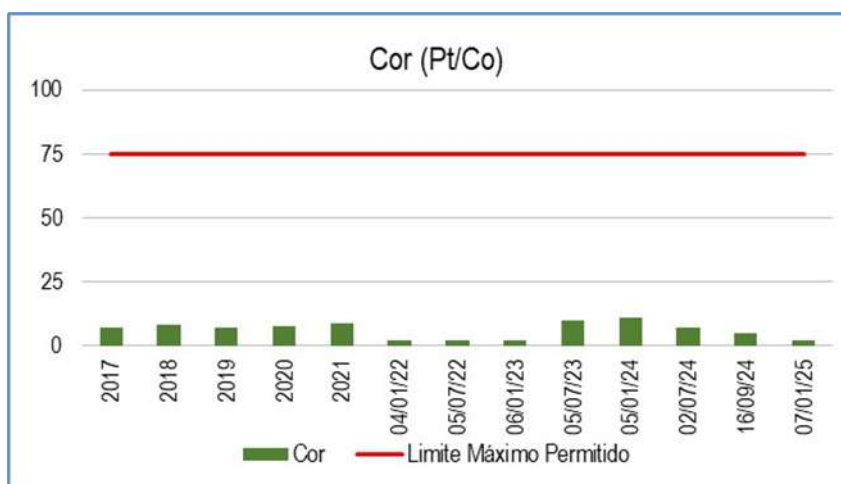


Figura 233 - Resultados de cor (mgPt.L⁻¹) obtidos no ponto **P1** no período de 2017 a 2021 (médias anuais), no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

A cor de uma água é consequência de substâncias dissolvidas. Quando pura, e em grandes volumes, a água é azulada. Quando rica em ferro, é arroxeadada. Quando rica em manganês, é negra e, quando rica em ácidos húmicos, é

amarelada. A medida da cor de uma água é feita pela comparação com soluções conhecidas de platina-cobalto ou com discos de vidro corados calibrados com a solução de platina-cobalto.

De acordo com a literatura a presença da cor na água pode ser de origem natural inorgânica, devida a presença de compostos metálicos, principalmente de ferro e manganês, assim como de origem orgânica, animal ou vegetal, além da origem industrial devida à descarga de efluentes industriais (têxteis, pasta de papel, refinarias, indústrias químicas, etc.).

O oxigênio dissolvido, um dos parâmetros mais importantes para se avaliar a qualidade das águas, nas datas analisadas apresentou teores oscilando de 5,49 a 7,93 mg.L⁻¹, sendo superiores ao mínimo exigido de 5 mg.L⁻¹ estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH 8/2022, indicando águas com boa oxigenação. As médias anuais também acusaram valores acima do mínimo exigido nos anos de 2017 a 2021. As médias anuais oscilaram de 6,05 (2020) a 8,20 mg.L⁻¹ (2018).

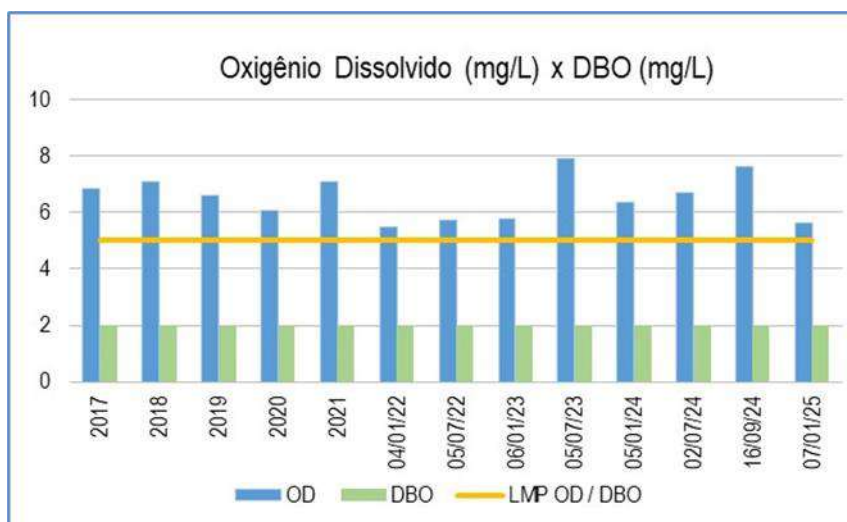


Figura 234 - Resultados de OD (mg.L⁻¹) e DBO (mg.L⁻¹) obtidos no ponto **P1** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

O OD é um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição das águas decorrentes de despejos orgânicos.

Sob o ponto de vista sanitário, o oxigênio dissolvido é um parâmetro de grande importância, pois está relacionado à sobrevivência de organismos aeróbios.

A concentração de oxigênio presente na água vai variar de acordo com a pressão atmosférica (altitude) e com a temperatura do meio. Águas com temperaturas mais baixas têm maior capacidade de dissolver oxigênio; já em maiores altitudes, onde é menor a pressão atmosférica, o oxigênio dissolvido apresenta menor solubilidade.

O oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais, devido à diferença de pressão parcial. Este mecanismo é regido pela Lei de Henry, que define a concentração de saturação de um gás na água, em função da temperatura: $CSAT = \alpha \cdot p_{gás}$ onde α é uma constante que varia inversamente proporcional à temperatura e $p_{gás}$ é a pressão exercida pelo gás sobre a superfície do líquido. No caso do oxigênio, ele é constituinte de 21% da atmosfera e, pela lei de Dalton, exerce uma pressão de 0,21 atm. Para 20°C, por exemplo, α é igual a 43,9 e, portanto, a concentração de saturação de oxigênio em uma água superficial é igual a $43,9 \times 0,21 = 9,2 \text{ mg.L}^{-1}$.

A DBO constitui-se um importante parâmetro na composição dos índices de qualidade das águas. Trata-se de um indicador que determina indiretamente a concentração de matéria orgânica biodegradável através da demanda de oxigênio exercida por microrganismos através da respiração.

O baixo nível de matéria orgânica pode ser demonstrado através dos resultados de DBO, a qual não foi detectada no período analisado no presente estudo ($<2,0 \text{ mg.L}^{-1}$), sendo inferior ao limite máximo permitido de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$, condição esta que vem se mantendo desde 2017.

A Demanda Química de oxigênio (DQO) acusou teores oscilando de <10 a $27,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Para este parâmetro não foi preconizado um LMP. Com exceção da data 04/01/22 que acusou um valor de $27,0 \text{ mg.L}^{-1}$, as demais datas acusaram um valor $<10,0 \text{ mg.L}^{-1}$. A média anual de 2021 acusou um teor $<10 \text{ mg.L}^{-1}$.

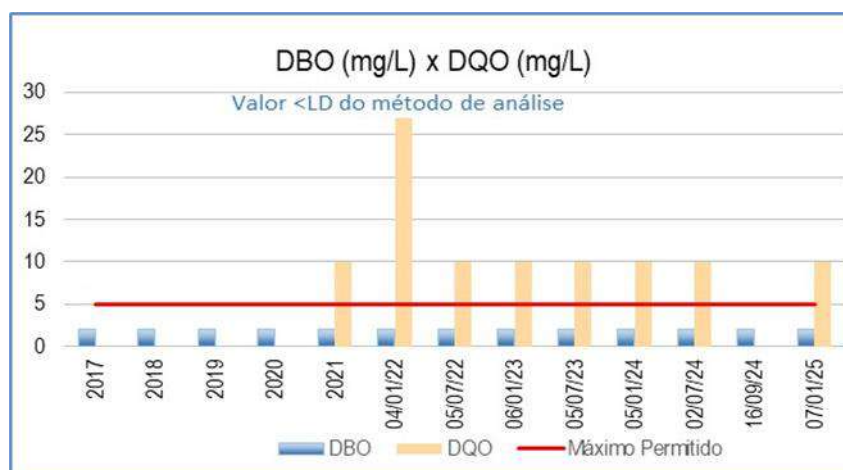


Figura 235 - Resultados de DQO (mg.L⁻¹) e DBO (mg.L⁻¹) obtidos no ponto no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

A temperatura expressa à energia cinética das moléculas de um corpo, sendo o seu gradiente o fenômeno responsável pela transferência de calor em um meio. Ela desempenha um importante papel no controle de espécies aquáticas, podendo ser considerada uma das características mais importantes do meio aquático. Seu valor pode variar entre 0°C e 30°C.

As variações de temperatura dos cursos d'água são sazonais e acompanham as flutuações do clima durante o ano. A faixa de temperatura usual em nossas águas superficiais é de 4 a 30°C. Um aumento de temperatura da água segundo BRANCO, 1986, em geral têm como efeito: redução da solubilidade dos gases na água, entre eles o oxigênio, o CO₂ e a amônia; diminuição da densidade e da viscosidade da água para temperaturas maiores que 4°C, facilitando a sedimentação de materiais em suspensão e aumento da velocidade das reações bioquímicas, aeróbias e anaeróbias, de degradação da matéria orgânica.

A temperatura da água acusou valores oscilando de 17,1 a 25,1°C e as médias anuais de 20,9 a 23,9°C. A temperatura do ar oscilou de 16,9 a 25,0°C e as médias anuais de 22,7 a 27,5°C.

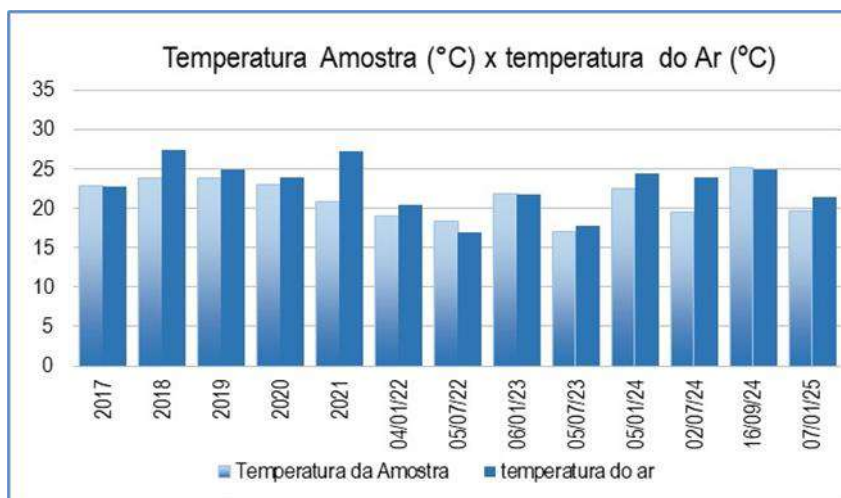


Figura 236 - Resultados de temperatura da água (°C) e temperatura do ar (°C) obtidos no ponto **P1** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

Em termos dos parâmetros microbiológicos, os *Enterococos faecium* e *Enterococos faecalis* acusaram valores oscilando de <1 a 1100 NMP.100 mL⁻¹, a *E. Coli* acusou valores oscilando de 2 a 38,4 NMP.100 mL⁻¹ e os coliformes totais variaram de 21 a 5100 NMP.100 mL⁻¹. A *E. coli* esteve abaixo do LMP de 1000 NMP.100 mL⁻¹ nas oito datas analisadas.

Em termos de médias anuais, a *E. coli* oscilou de 61,0 a 30.020 NMP.100 mL⁻¹, sendo que somente nos anos de 2018 e 2021 acusaram valores superiores ao LMP. Os coliformes totais oscilaram de 1258 a 40.244 NMP.100 mL⁻¹ e os *Enterococos faecium* e *faecalis* variaram de 5,0 a 82,7 NMP.100 mL⁻¹.

A presença destas bactérias provavelmente se deve a fontes externas à mineração, uma vez que, o esgoto sanitário gerado na empresa é tratado em sistemas compostos por fossa séptica – filtro anaeróbio – sumidouro. O efluente tratado não é lançado diretamente em curso hídrico, mas em sumidouro.

O parâmetro *Enterococos faecium* e *faecalis* veio substituir os *Streptococos fecalis*, por ser mais específico de uma eventual poluição de origem fecal.

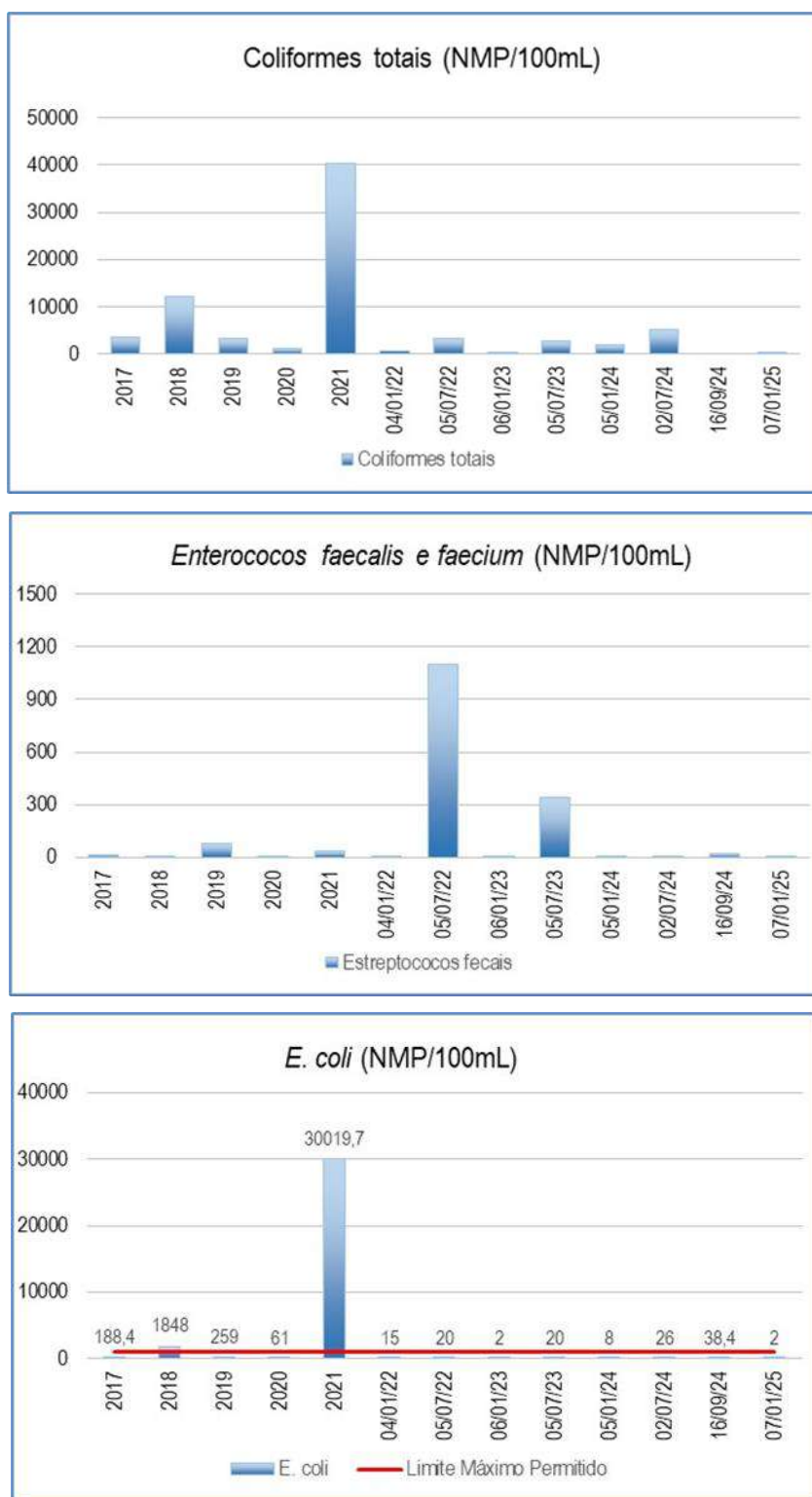


Figura 237 - Resultados do grupo coliformes (NMP.100 mL⁻¹) obtidos no ponto **P1** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

Quanto aos parâmetros extras avaliados na data 16/09/24 tem-se que:

O Índice de Qualidade da Água – IQA acusou na data 16/09/24 um valor de 78. De acordo com a tabela do IGAM este valor indica água de boa qualidade.

O potencial Redox acusou um valor 240,5 mV indicando um meio oxidante.

Quanto aos demais metais avaliados, incluindo os metais tóxicos (não essenciais), os metais alumínio solúvel, chumbo total, cromo total, níquel total, mercúrio total e zinco total e o metalóide arsênio total não foram detectados. Todos acusaram teores inferiores aos seus limites de quantificação.

O cádmio acusou um teor 0,001 mg.L⁻¹, sendo igual ao LMP de 0,001 mg.L⁻¹. Por ser um elemento traço o valor encontrado é muito próximo ao limite de quantificação do método de análise.

A empresa não utiliza nenhum reagente químico no beneficiamento do minério.

O cobre acusou um teor de 0,011 mg.L⁻¹, sendo ligeiramente superior ao LMP de 0,009 mg.L⁻¹.

A presença de cobre e cádmio na data 16/09/24 se deve provavelmente ao *background* do local, uma vez que a empresa não utiliza nenhum reagente químico no beneficiamento do minério.

De acordo com DERISIO, 2000, o cádmio e o cobre são encontrados nas águas naturais em baixas concentrações⁴³.

O estudo dos nutrientes é importante na avaliação das tendências de eutrofização na área em estudo. De acordo com Esteves (1988) a eutrofização pode ser definida como: “(...) o aumento da concentração de nutrientes especialmente nitrogênio e fósforo, nos ecossistemas aquáticos, que têm como consequência o aumento de suas produtividades. (...)”.

Na maioria das águas continentais o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade. Além disso, tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas (ESTEVES, 1988).

⁴³ Fonte: DERISIO, J.C. Introdução ao controle de poluição ambiental. 2.ed.São Paulo: Signus Editora, 2000.

No meio aquático, as diversas formas de nitrogênio podem ser de origem natural (proteínas, clorofila e outros compostos biológicos) e/ou de origem das atividades humanas e animais (despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes). Nos esgotos domésticos frescos, predominam o nitrogênio em forma de amônia e o orgânico.

O nitrogênio total não foi detectado, onde acusou um teor $<11,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Já o fósforo acusou um teor de $0,014 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo superior ao LMP de $0,020 \text{ mg.L}^{-1}$ para ambiente lântico.

De acordo com a literatura a presença de fósforo na água está relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, excrementos de animais, despejos industriais, pesticidas). Em águas naturais não poluídas as concentrações de fósforo situam-se na faixa de $0,01$ a $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$.

Não foi observado no local processo de eutrofização, o que está de acordo com os resultados reduzidos de nitrogênio e fósforo.

Em termos de tensoativos o ABS acusou na data de coleta 16/09/24 um teor de $0,330 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo inferior ao LMP de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$.

Os fenóis acusaram um valor de $0,014 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo superior ao LMP de $0,003 \text{ mg.L}^{-1}$.

Tabela 58 – Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto **P1**.

HERCULANO MINERAÇÃO LTDA				P1 – VERTEDOIRO DA BARRAGEM B3				EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO			
Tipo de Ponto: Vertedouro de Barragem				Tipo de Amostra: Água Superficial				Classe 2		Ano: 2017 - 2025	
Data	pH	Cor verdadeira (mg Pt.L ⁻¹)	Cond. Elétrica (µS.cm ⁻¹)	Ferro solúvel (mg.L ⁻¹)	Ferro total (mg.L ⁻¹)	Manganês solúvel (mg.L ⁻¹)	Manganês total (mg.L ⁻¹)	Turbidez (UNT)	OD (mg.L ⁻¹)	Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)
04/01/22	8,72	<2,0	58,4	0,21	0,27	0,14	0,20	8,4	5,49	54	<10
05/07/22	7,69	<2,0	144,1	0,03	8,34	0,25	1,41	72,5	5,70	222	74
06/01/23	6,80	<2,0	43,9	0,13	0,14	0,35	0,40	3,6	5,77	89	<10
05/07/23	7,02	10,0	107,2	<0,01	0,04	<0,01	0,04	7,3	7,93	87	<10
05/01/24	6,64	11,0	90,9	0,11	0,23	0,15	0,29	59,7	6,37	52	<10
02/07/24	8,95	7,0	161,5	0,03	0,08	0,07	0,08	8,56	6,71	113	<10
16/09/24	7,36	<5,0	199,0	0,38	1,04	0,10	0,17	27,10	7,60	105	<20
07/01/25	6,93	<2,0	65,1	0,08	0,12	0,18	0,23	30,7	5,63	63	<10
Média 2017	7,27	7,00	54,6	0,23	0,67	0,09	0,21	20,7	6,86	32,0	<20
Média 2018	8,39	8,18	68,4	0,26	0,48	0,11	0,15	8,00	8,20	22,8	<20
Média 2019	6,80	6,91	47,4	0,13	0,30	0,07	0,11	4,33	7,1	123,5	110
Média 2020	6,26	7,93	52,5	0,13	0,52	0,055	0,48	18,8	6,05	18,0	<20
Média 2021	8,22	8,97	80,2	0,72	0,94	0,17	0,29	16,9	7,09	37,5	16
Limites	6 a 9	75	-	0,3	-	-	0,1	100	≥5	-	100
Mínimo	6,64	<2,0	43,9	<0,01	0,04	<0,01	0,04	3,6	5,49	52	<10
Média	7,51	5,1	108,8	0,12	1,28	0,16	0,35	27,2	6,40	98	19
Máximo	8,95	11	199,0	0,38	8,34	0,35	1,41	72,5	7,93	222	74
Responsáveis Técnicos: Rodrigo Antônio de Pontes – CRQ 02301056 2ª Região Laboratório: Visão Ambiental. Shirley Aparecida Faustino CRQ MG: 02.413.19 Laboratório: ECOAR MONITORAMENTO AMBIENTAL LTDA.											

Tabela 59– Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto **P1**.

HERCULANO MINERAÇÃO LTDA			P1 – VERTEDOIRO DA BARRAGEM B3				EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO		
Tipo de Ponto: Vertedouro de Barragem			Tipo de Amostra: Água Superficial				Classe 2	Ano: 2017-2025	
Data	Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L ⁻¹)	Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	Temperatura da água (°C)	Temperatura do ar (°C)	<i>E. faecium</i> , <i>E. faecalis</i> (NMP.100 mL ⁻¹)	<i>E. coli</i> (NMP.100 mL ⁻¹)	Coliformes Totais (NMP.100 mL ⁻¹)
04/01/22	54	VA	<2,0	27,0	19,1	20,4	<1,0	15,0	780
05/07/22	92	VA	<2,0	<10,0	18,3	16,9	1100,0	20,0	3300
06/01/23	71	VA	<2,0	<10,0	21,9	21,7	<1,0	2,0	21
05/07/23	66	VA	<2,0	<10,0	17,1	17,8	340,0	20,0	2900
05/01/24	47	VA	<2,0	<10,0	22,5	24,5	1,0	8,0	1900
02/07/24	110	VA	<2,0	<10,0	19,5	24,0	2,0	26,0	5100
16/09/24	98	<10,0	<2,0	NA	25,1	25,0	24,1	38,4	NA
07/01/25	54	VA	<2,0	<10,0	19,7	21,4	<1,0	2,0	130
Média 2017	31	<10	<2,0	-	22,8	22,7	12,0	188,4	3627
Média 2018	<20	<10	<2,0	-	23,8	27,5	5,5	1848	12308
Média 2019	24	<10	<2,0	-	23,9	25,0	82,7	259	3337
Média 2020	24	<10	<2,0	-	23,0	24,0	5,0	61,0	1258
Média 2021	33	<10	<2,0	<10,0	20,9	27,2	34,4	30020	40244
Limites	≤500	VA	≤3	-	-	-	-	1000	-
Mínimo	47	0	<2,0	<10	17,1	16,9	<1,0	2,0	21
Média	74	1,3	<2,0	12	20,4	21,5	183,8	16,4	2019
Máximo	110	<10	<2,0	27	25,1	25	1100	38,4	5100
Responsáveis Técnicos: Rodrigo Antônio de Pontes – CRQ 02301056 2ª Região Laboratório: Visão Ambiental Shirley Aparecida Faustino CRQ MG: 02.413.19 Laboratório: ECOAR MONITORAMENTO AMBIENTAL LTDA. NA – Não analisado									

Tabela 60– Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto **P1**.

HERCULANO MINERAÇÃO LTDA				P1 – VERTEDOIRO DA BARRAGEM B3						EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO					
Tipo de Ponto: Vertedouro de Barragem				Tipo de Amostra: Água Superficial						Classe 2		Ano: 2024			
Data	Eh (mV)	Al (s) (mg.L ⁻¹)	As (t) (mg.L ⁻¹)	Cd (t) (mg.L ⁻¹)	Pb (t) (mg.L ⁻¹)	Cu (s) (mg.L ⁻¹)	Cr (t) (mg.L ⁻¹)	Ni (t) (mg.L ⁻¹)	Hg (t) (mg.L ⁻¹)	Zn (t) (mg.L ⁻¹)	P(t) (mg.L ⁻¹)	N (t) (mg.L ⁻¹)	ABS (mg.L ⁻¹)	Fenóis (mg.L ⁻¹)	
16/09/24	240,5	<0,100	<0,001	0,001	<0,010	0,011	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,034	<11,0	0,330	0,014	
Limites	-	0,1	0,01	0,001	0,01	0,009	0,05	0,025	0,0002	0,18	0,020 (lêntico)	-	0,5	0,003	
Mínimo	240,5	<0,100	<0,001	0,001	<0,010	0,011	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,034	<11,0	0,330	0,014	
Média	240,5	<0,100	<0,001	0,001	<0,010	0,011	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,034	<11,0	0,330	0,014	
Máximo	240,5	<0,100	<0,001	0,001	<0,010	0,011	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,034	<11,0	0,330	0,014	
Responsáveis Técnicos: Rodrigo Antônio de Pontes – CRQ 02301056 2ª Região Laboratório: Visão Ambiental Altitude: 1220 m															

ii. P2 – Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante da mina.

• Contextualização do Ponto de Amostragem P2 – Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante da mina.

- ⇒ Bacia do rio São Francisco
- ⇒ Sub-bacia do rio das Velhas
- ⇒ Coordenadas UTM em Sirgas 2000 (Fuso 23K): X = 610771; Y= 7759676
- ⇒ Altitude: 1171,6 m

Contextualização:

A bacia de contribuição deste ponto está predominantemente inserida no interior da mina, incluindo áreas rurais extra empreendimento, estando à jusante da área de beneficiamento de minério, inclusive da barragem de rejeitos, bem como de toda infraestrutura de apoio, incluindo escritório, oficina, alojamento, cozinha e restaurante. Pela sua posição, este ponto presta-se para avaliar a qualidade das águas superficiais logo após o empreendimento. Este ponto também estará a jusante da área de lavra (Cava A) e da futura pilha Sul.

As águas neste ponto são transparentes, sem cor e sem turbidez aparente. Há presença de vegetação em ambas as margens do ribeirão e a coleta é efetuada antes de uma queda d'água. A montante do ponto a água tem baixa velocidade.



Figura 238 - Local de coleta do ponto P2.

Características visuais da água:

Em termos de qualidade visual da água no ponto **P2**, observa-se através das fotos a seguir que a água apresentava boa aparência, transparência, sem cor aparente e sem turbidez.

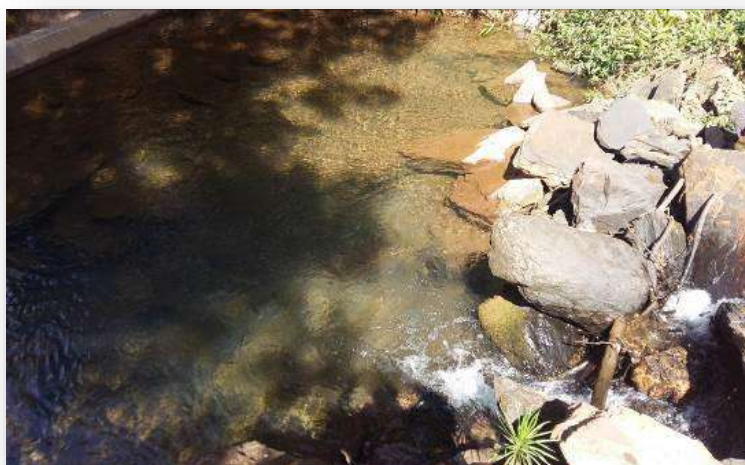


Figura 239 - Detalhe visual da água no ponto P2.

- **Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas correspondentes ao ponto P2 – Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante da mina.**

As águas do ponto **P2** foram enquadradas como **classe 2**, ou seja, “Águas destinadas: a - ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; b - à proteção das comunidades aquáticas; c - à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); d - à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e - à aquicultura e à atividade de pesca”, conforme o Art. 4º item III do capítulo II Da Classificação dos Corpos de Água da DN CONJUNTA COPAM/CERH 8/2022.

A seguir são apresentadas algumas fotos ilustrando o local de coleta do ponto P2.



2017



2017



2017



2017



2018



2018



2019



2019



Julho 2020



Julho 2020



Janeiro – 2021



Janeiro 2022



Janeiro 2022



Julho 2022



Janeiro 2023



Julho 2023



Janeiro 2024



Julho 2024



Janeiro 2025



Janeiro 2025

Figura 240 - Registro fotográfico do local de coleta do ponto P2.

As fotos a seguir ilustram a coleta realizada no ponto P2 na data 16/09/24.



Figura 241 - Registro fotográfico do local de coleta do ponto P2 na data 16/09/24.

Com base nos resultados obtidos nas datas **04/01/22, 05/07/22, 06/01/23, 05/07/23, 05/01/24, 02/07/24, 16/09/24 e 07/01/25**, observa-se que todos os parâmetros físico-químicos e microbiológicos apresentaram valores em conformidade com os limites máximos permitidos estabelecidos pela DN Conjunta COPAM/CERH 8/2022, com exceção do ferro solúvel, manganês total, pH, *E. coli* e fenóis.

O pH acusou valores oscilando de 6,46 a 9,38, ou seja, dentro da faixa limite de 6 a 9, com exceção da data 05/07/22, indicando águas com características levemente ácidas a alcalinas. Este valor alcalino de 9,38 foi atípico se comparado com os resultados de todo o histórico. As médias anuais (2017 a 2021) acusaram resultados de pH variando de 6,5 a 8,26, ou seja, dentro da faixa limite de 6 a 9 e oscilaram de levemente ácidos a alcalinos.

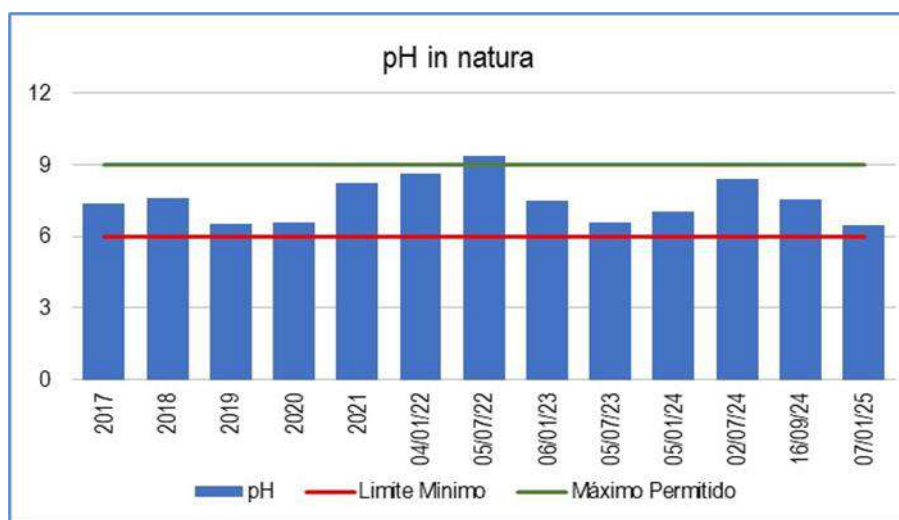


Figura 242 - Resultados de pH obtidos no ponto **P2** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

A condutividade elétrica apresentou valores oscilando de 40,8 a 104,0 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, indicando presença de poucos íons dissolvidos nas águas amostradas, ou seja, baixa mineralização, condição esta que vem se mantendo ao longo de todo o histórico do monitoramento. As médias anuais de 2017 a 2021 variaram de 68,5 a 81,1 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$.

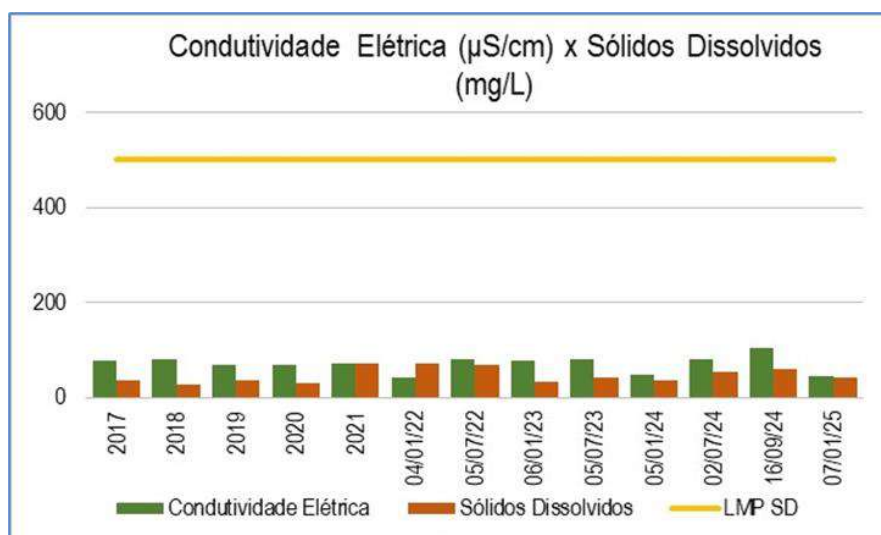


Figura 243 - Resultados de condutividade elétrica ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) e sólidos dissolvidos totais ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) obtidos no ponto **P2** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

Os parâmetros indicativos do controle ambiental na mina, especialmente no que tange à contenção de sólidos erodidos, apresentaram números reduzidos, mesmo no mês de janeiro quando ocorreram chuvas, mantendo a condição detectada nas datas anteriores.

Os sólidos dissolvidos apresentaram nas datas **04/01/22, 05/07/22, 06/01/23, 05/07/23, 05/01/24, 02/07/24, 16/09/24 e 07/01/25** teores significativamente inferiores ao limite máximo permitido de 500 mg.L⁻¹, quando acusou valores oscilando de 37 a 70 mg.L⁻¹, o que justifica os baixos valores detectados para condutividade elétrica. As médias anuais variaram de 28,0 mg.L⁻¹ (2018) a 71 mg.L⁻¹ (2021).

Os sólidos suspensos acusaram teores oscilando de <10 a 28 mg.L⁻¹, sendo muito inferiores ao LMP de 100 mg.L⁻¹. As médias anuais de 2017 a 2021 variaram de 15,2 a <20 mg.L⁻¹. Com exceção da média de 2021, as demais acusaram um valor <20 mg.L⁻¹.

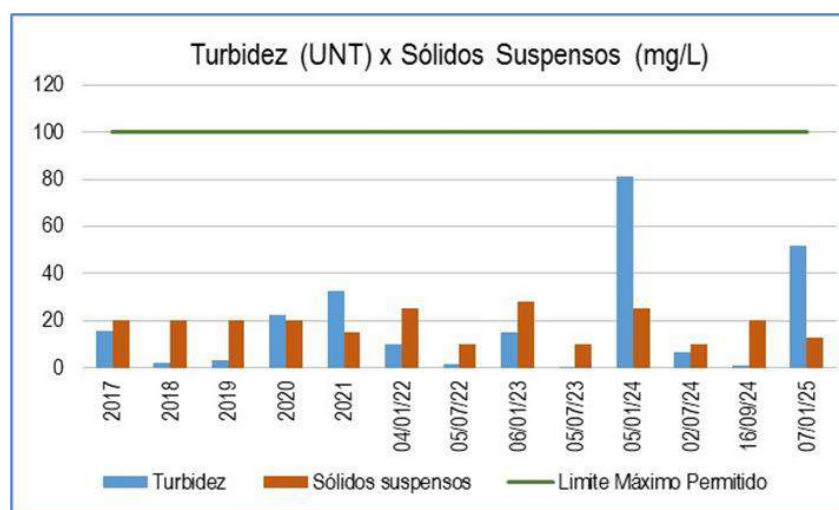


Figura 244 - Resultados de sólidos suspensos (mg.L⁻¹) e turbidez (UNT) obtidos no ponto **P2** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

Quanto à barragem de rejeitos que está localizada a montante do ponto **P2**, esta também acusou teores muito reduzidos de sólidos no vertedouro, sendo que os sólidos suspensos acusaram valores oscilando de <10 a 74 mg.L⁻¹, sendo inferiores ao limite máximo permitido de 100 mL.L⁻¹. Com exceção da data 05/07/24 que acusou um teor de 70 mg.L⁻¹, nas demais datas não foram detectados. Estes resultados

indicam que a barragem não está causando impacto adverso na qualidade das águas no ponto **P2**, demonstrando mais uma vez que, as obras realizadas nas barragens continuam sendo eficazes.

Como consequência dos valores reduzidos detectados para os sólidos suspensos (máximo de 28 mg.L⁻¹), a turbidez também acusou valores reduzidos e inferiores ao LMP de 100 UNT, quando variou de 0,4 a 81,0 UNT. Com exceção das datas 05/01/24 e 07/01/25, as demais acusaram valores bem reduzidos. As médias anuais oscilaram de 2,17 a 32,6 UNT. Os baixos índices de turbidez e sólidos estão de acordo com o verificado no momento das coletas, ou seja, águas transparentes, sem cor aparente.

A turbidez natural das águas está, geralmente, compreendida na faixa de 3 a 500 unidades. Para fins de potabilidade, a turbidez deve ser inferior a uma unidade. Tal restrição fundamenta-se na influência da turbidez nos processos usuais de desinfecção, atuando como escudo aos microrganismos patogênicos e assim minimizando a ação do desinfetante⁴⁴.

Os teores obtidos para os sólidos totais nas oito datas de coleta variaram de 52 a 172 mg.L⁻¹. As médias anuais (2017 a 2021) oscilaram de 29,0 a 86,0 mg.L⁻¹.

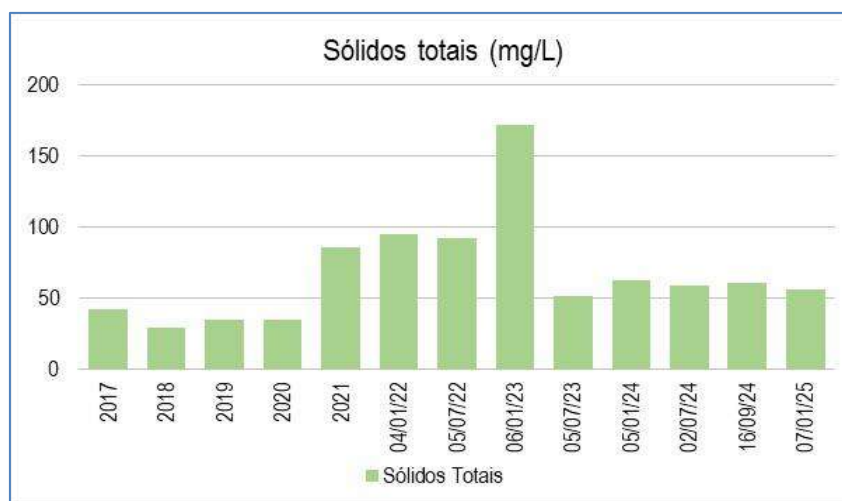


Figura 245 - Resultados de sólidos totais (mg.L⁻¹) obtidos no ponto **P2** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

⁴⁴Fonte: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf

Os baixos teores detectados ao longo do histórico do monitoramento (2017 a 2024) para os sólidos e turbidez, se comparados com os respectivos LMP's demonstram não só a eficiência dos sistemas de controle de sólidos adotados pela empresa, mas também, refletem a eficiência das obras emergenciais efetuadas na empresa como, por exemplo, a recuperação das bacias das barragens **B2** e **B3**, onde foram retirados os sedimentos antigos e novos das duas. Além disso, suspenderam o vertedouro da **B3**, aumentando a capacidade de contenção de sedimentos desta barragem.

Os óleos e graxas não foram detectados, sendo que oscilou de virtualmente ausentes a $<10 \text{ mg.L}^{-1}$ nas oito datas de coleta. Nos anos de 2017 a 2021 os óleos e graxas acusaram valores variando de 5 mg.L^{-1} a $16,1 \text{ mg.L}^{-1}$.

Cabe lembrar que águas contaminadas com os óleos e graxas gerados na empresa são direcionadas para um sistema de tratamento (caixa separadora água – óleo) e o efluente tratado é mantido em circuito fechado.

A DN conjunta COPAM/CERH 8/2022 determina como limite para classe 2 que seja virtualmente ausente, ou seja, que não é perceptível pela visão, olfato ou paladar, não estabelecendo valores quantitativos para esta definição.



Figura 246 - Resultados de óleos e graxas (mg.L^{-1}) obtidos no ponto **P2** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

Os óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Estas substâncias geralmente são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros.

O ferro solúvel acusou teores oscilando de $<0,01$ a $0,44 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo inferiores ao limite máximo permitido de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$, com exceção das datas 06/01/23 e 16/09/24, que acusaram teores ligeiramente acima do LMP. As médias anuais oscilaram de $0,1$ a $0,74 \text{ mg.L}^{-1}$. Somente a média anual de 2021 acusou um teor acima do LMP. Já o ferro total acusou teores oscilando de $0,08$ a $0,92 \text{ mg.L}^{-1}$. As médias anuais oscilaram de $0,33$ a $1,16 \text{ mg.L}^{-1}$.

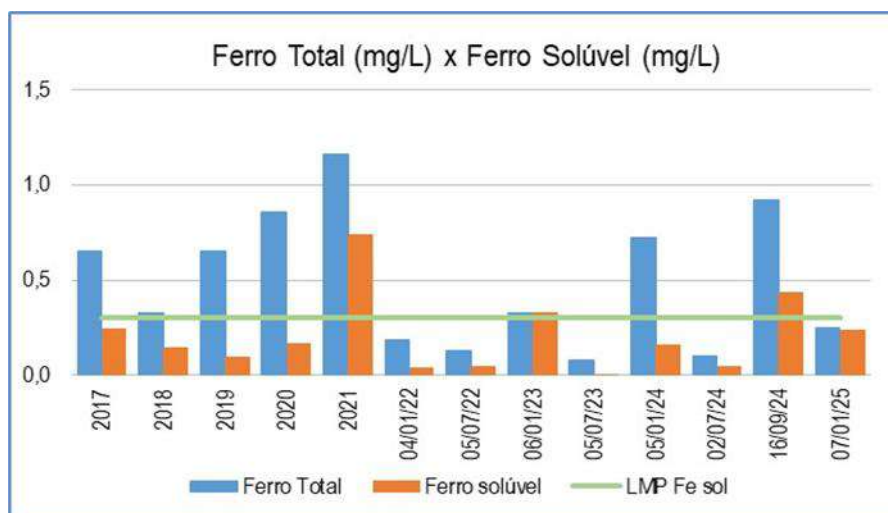


Figura 247 - Resultados de ferro solúvel (mg.L^{-1}) e ferro total (mg.L^{-1}) obtidos no ponto **P2** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

Basicamente, o ferro pode se apresentar nas águas nos estados de oxidação Fe^{+2} e Fe^{+3} . O íon ferroso (Fe^{2+}) é mais solúvel do que o férrico (Fe^{+3}). Portanto, os inconvenientes que o ferro traz às águas devem ser atribuídos principalmente ao ferro “ferroso”, que, por ser mais solúvel, é mais frequente. O ferro esteve presente na água na maioria das datas analisadas, incluindo as médias anuais, sob a forma de Fe^{+3} .

O manganês total acusou teores oscilando de $0,07$ a $0,53 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo superior ao LMP de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ em seis das oito datas avaliadas. Em termos de médias

anuais (2001 a 2021) os teores variaram de 0,09 a 0,25 mg.L⁻¹, sendo que somente em 2020 (0,25 mg.L⁻¹) e 2021 (0,22 mg.L⁻¹) apresentaram valores superiores ao LMP. O manganês solúvel acusou teores oscilando de <0,01 a 0,38 mg.L⁻¹. As médias anuais oscilaram de 0,06 a 0,12 mg.L⁻¹.

Quanto à presença de ferro e manganês nas águas, cabe ressaltar que o empreendimento encontra-se na porção central do Sinclinal Moeda, no Quadrilátero Ferrífero, constituído pelas sequências pertencentes ao Supergrupo Minas, que inclui as formações ferríferas do Grupo Itabira, Formação Itabirito Cauê, estando a área posicionada especificamente sobre as litológicas do Grupo Piracicaba, Formação Fecho do Funil, composta predominantemente por filitos dolomíticos com lentes de mármore, sendo frequentes as ocorrências manganíferas.

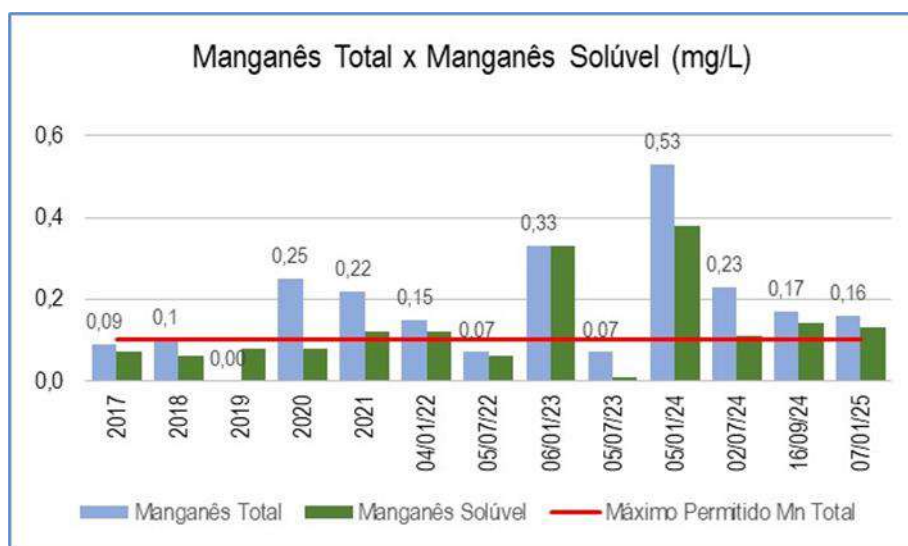


Figura 248 - Resultados de manganês solúvel (mg.L⁻¹) e manganês total (mg.L⁻¹) obtidos no ponto **P2** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

A cor verdadeira acusou valores reduzidos oscilando de 2 a 30 mg.L⁻¹, sendo muito inferiores ao LMP de 75 mgPt.L⁻¹ estabelecido pela DN Conjunta COPAM/CERH 8/2022 para águas Classe 2 e inferiores à média anual de 2021 (40,9 mgPt.L⁻¹). As médias anuais de 2017 a 2021 oscilaram de 6,5 a 40,92 mgPt.L⁻¹. As médias anuais acusaram valores abaixo do LMP de 75 mgPt.L⁻¹.

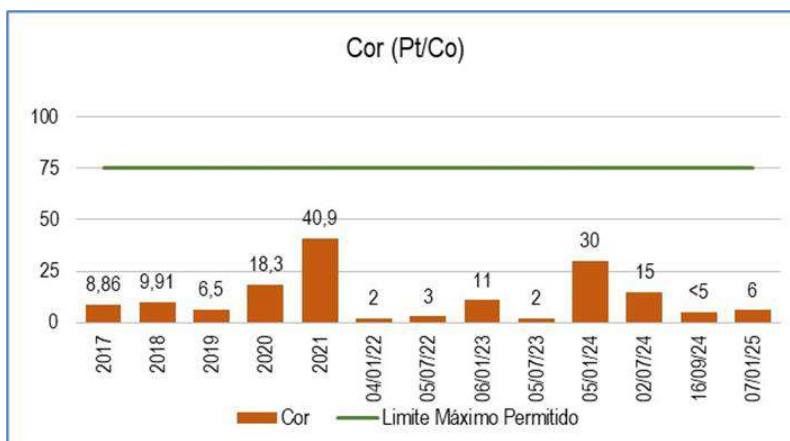


Figura 249 - Resultados de cor (mgPt.L⁻¹) obtidos no ponto **P2** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

O oxigênio dissolvido – OD um dos parâmetros mais importantes no estudo da qualidade das águas, acusou nas oito datas de coleta teores oscilando de 6,9 a 8,83 mg.L⁻¹, sendo superiores ao mínimo exigido de 5 mg.L⁻¹ pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH 8/2022, indicando águas com boa oxigenação.

Observa-se ao longo do histórico do monitoramento (2017 a 2021) que os resultados de OD vêm apresentando valores superiores ao mínimo exigido pela legislação, indicando águas com boa oxigenação. As médias anuais (2017 a 2021) variaram de 6,4 a 7,54 mg.L⁻¹.

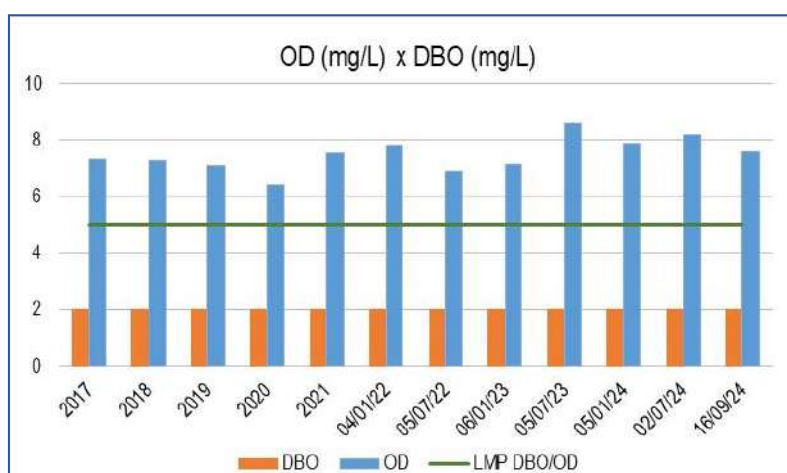


Figura 250 - Resultados de OD (mg.L⁻¹) e DBO (mg.L⁻¹) obtidos no ponto **P2** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

Os baixos níveis de matéria orgânica podem ser demonstrados através dos resultados de DBO obtidos nas datas analisadas, onde acusou um teor inferior ao limite de quantificação do método de análise ($<2,0 \text{ mg.L}^{-1}$), sendo também inferior ao limite máximo permitido de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Esta condição vem se mantendo desde 2017. As médias anuais de 2017 a 2021 acusaram um teor $<2,0 \text{ mg.L}^{-1}$.

A Demanda Química de Oxigênio - DQO acusou um teor $<10 \text{ mg.L}^{-1}$ em todas as datas de coleta. Para este parâmetro não foi estabelecido um LMP.

Ressalta-se novamente que o esgoto sanitário gerado na empresa é tratado através de sistemas compostos por fossa séptica – filtro anaeróbio e sumidouro. O efluente tratado não é lançado em curso d'água, mas em solo através de sumidouro.

A temperatura da água acusou valores oscilando de $15,4$ a $21,5^{\circ}\text{C}$ e a do ar de $16,9$ a $27,9^{\circ}\text{C}$. As médias de 2017 a 2021 acusaram valores oscilando de $19,75$ a $19,97^{\circ}\text{C}$ para a temperatura da água de $23,1$ a $27,5^{\circ}\text{C}$ para a temperatura do ar.

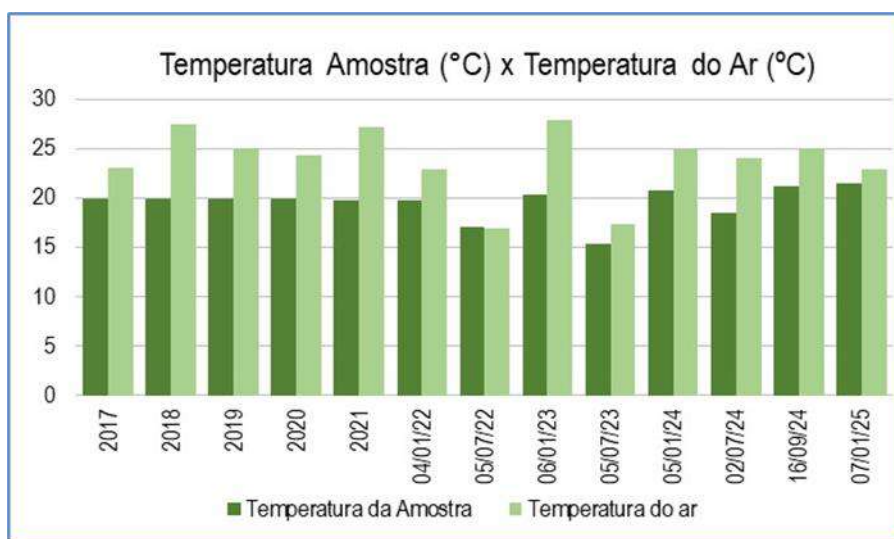


Figura 251 - Resultados da temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) obtidos no ponto **P2** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

De acordo com CARVALHO, *et al* (2000), as variáveis pH, temperatura, sólidos suspensos, turbidez, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido, além de discriminarem a qualidade dos rios, são as que mais são influenciadas pelas estações do ano.

Em termos dos parâmetros microbiológicos, os *Enterococos faecium* e *faecalis* acusaram valores oscilando de 24 a 480 NMP.100 mL⁻¹ e a *E. Coli* valores de 14 a 2500 NMP.100 mL⁻¹, sendo que para esta última o valor foi superior ao LMP de 1000 NMP.100 mL⁻¹ nas datas 04/01/22, 06/01/23, 05/07/23 e 02/07/24. Os coliformes totais acusaram valores variando de 1600 a >8000 NMP.100 mL⁻¹.

Em termos de médias anuais (2017 a 2021) a *E. coli* oscilou de 77,5 a 421,5 NMP.100 mL⁻¹, sendo inferiores ao LMP de 1000 NMP.100 mL⁻¹.

O parâmetro *Enterococos faecium* e *faecalis* veio substituir os *Streptococos fecais*, por ser mais específico de uma eventual poluição de origem fecal.

A presença destas bactérias provavelmente se deve a fontes externas à mineração, uma vez que o esgoto sanitário gerado na empresa é tratado em sistemas compostos por fossa séptica – filtro anaeróbio – sumidouro. O efluente tratado não é lançado diretamente em curso hídrico, mas em sumidouro.

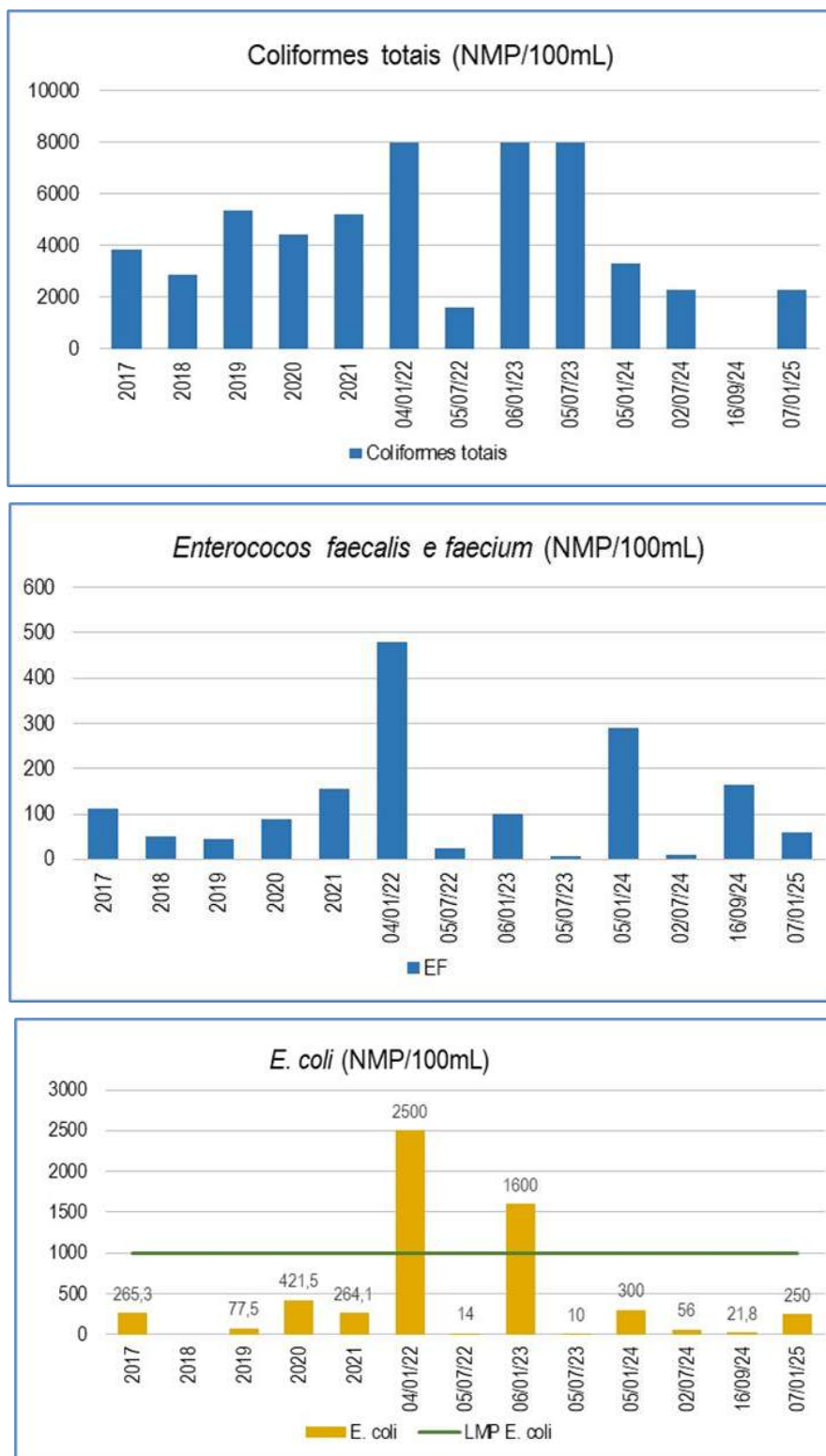


Figura 252 - Resultados de *Enterococos faecium e faecalis* (NMP.100 mL⁻¹), coliformes totais (NMP.100 mL⁻¹) e *E. coli* (NMP.100 mL⁻¹) obtidos no ponto **P2** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análise semestral) e campanha de setembro de 2024.

Quanto aos parâmetros extras avaliados na data **16/09/24** tem-se que:

O Índice de Qualidade da Água – IQA acusou na data 16/09/24 um valor de 84. De acordo com a tabela do IGAM este valor indica água de boa qualidade. Este valor foi superior ao detectado no ponto P1 que foi de 78.

O potencial Redox acusou um valor 220,7 mV indicando um meio oxidante. Mesmo comportamento foi observado no ponto P1.

Quanto aos demais metais avaliados, incluindo os metais tóxicos (não essenciais), os metais alumínio solúvel, chumbo total, cromo total, níquel total, mercúrio total e zinco total e o metalóide arsênio total não foram detectados. Todos acusaram teores inferiores aos seus limites de quantificação.

O cádmio acusou um teor 0,001 mg.L⁻¹, sendo igual ao LMP de 0,001 mg.L⁻¹. Mesmo valor detectado no ponto a montante P1. Por ser um elemento traço o valor encontrado é muito próximo ao limite de quantificação do método de análise.

A empresa não utiliza nenhum reagente químico no beneficiamento do minério.

O cobre acusou um teor de 0,007 mg.L⁻¹, sendo inferior ao LMP de 0,009 mg.L⁻¹ e ao valor detectado no ponto P1.

A presença de cobre e cádmio na data 16/09/24 se deve provavelmente ao *background* do local, uma vez que a empresa não utiliza nenhum reagente químico no beneficiamento do minério.

De acordo com DERISIO, 2000⁴⁵, o cádmio e o cobre são encontrados nas águas naturais em baixas concentrações. O cobre é utilizado em indústrias e como algicida. Já o cádmio se deve a despejos de galvanoplastias.

O estudo dos nutrientes é importante na avaliação das tendências de eutrofização na área em estudo. De acordo com Esteves (1988)⁴⁶ a eutrofização pode ser definida como: “(...) o aumento da concentração de nutrientes especialmente nitrogênio e fósforo, nos ecossistemas aquáticos, que têm como consequência o aumento de suas produtividades. (...)”.

⁴⁵ Fonte: DERISIO, J.C. Introdução ao controle de poluição ambiental. – 2. Ed. -São Paulo: Signus Editora, 2000.

⁴⁶ Fonte: ESTEVES, F.de. A. Fundamentos de Limnologia. -2. ed. – Rio de Janeiro, 1998.

Na maioria das águas continentais o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade. Além disso, tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas (ESTEVES, 1988).

No meio aquático, as diversas formas de nitrogênio podem ser de origem natural (proteínas, clorofila e outros compostos biológicos) e/ou de origem das atividades humanas e animais (despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes). Nos esgotos domésticos frescos, predominam o nitrogênio em forma de amônia e o orgânico.

O nitrogênio total não foi detectado, onde acusou um teor $<11,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Já o fósforo acusou um teor de $0,019 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo inferior ao LMP de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ para ambiente lótico.

De acordo com a literatura a presença de fósforo na água está relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, excrementos de animais, despejos industriais, pesticidas). Em águas naturais não poluídas as concentrações de fósforo situam-se na faixa de $0,01$ a $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$.

Não foi observado no local processo de eutrofização, o que está de acordo com os resultados reduzidos de nitrogênio e fósforo.

Em termos de tensoativos o ABS acusou na data de coleta 16/09/24 um teor $<0,100 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo inferior ao LMP de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ e ao valor detectado no ponto P1.

Os fenóis acusaram um valor de $0,010 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo superior ao LMP de $0,003 \text{ mg.L}^{-1}$ e inferior ao detectado no ponto P1.

Tabela 61– Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto **P2**, Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante da mina.

HERCULANO MINERAÇÃO LTDA			P2 - RIBEIRÃO DO SILVA IMEDIATAMENTE A JUSANTE DA MINA E A MONTANTE DA FUTURA ÁREA DE LAVRA					EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO		
Tipo de Ponto: Ribeirão			Tipo de Amostra: Água Superficial			Classe 2		Ano: 2017-2025		
Data	pH	Cor verdadeira (mgPt.L ⁻¹)	Cond. Elétrica (µS.cm ⁻¹)	Ferro solúvel (mg.L ⁻¹)	Ferro total (mg.L ⁻¹)	Manganês solúvel (mg.L ⁻¹)	Manganês total (mg.L ⁻¹)	Turbidez (UNT)	OD (mg.L ⁻¹)	Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)
04/01/22	8,62	2	40,8	0,04	0,19	0,12	0,15	10,1	7,82	95
05/07/22	9,38	3	79,3	0,05	0,13	0,06	0,07	1,5	6,90	92
06/01/23	7,47	11	77,5	0,33	0,33	0,33	0,33	14,8	7,16	172
05/07/23	6,58	2	80,4	<0,01	0,08	<0,01	0,07	0,4	8,59	52
05/01/24	7,03	30	48,2	0,16	0,72	0,38	0,53	81,0	7,88	63
02/07/24	8,43	15	80,7	0,05	0,10	0,11	0,23	6,82	8,21	59
16/09/24	7,56	<5	104,0	0,44	0,92	0,14	0,17	0,94	7,60	61
07/01/25	6,46	6	44,3	0,24	0,25	0,13	0,16	51,7	8,83	56
Média 2017	7,39	8,86	77,43	0,25	0,65	0,07	0,09	15,80	7,32	42,0
Média 2018	7,59	9,91	81,1	0,15	0,33	0,06	0,1	2,17	7,3	29,0
Média 2019	6,5	6,5	68,7	0,1	0,65	0,08	0,09	3,0	7,1	35,0
Média 2020	6,59	18,3	68,5	0,17	0,86	0,08	0,25	22,5	6,4	35,0
Média 2021	8,26	40,92	71,85	0,74	1,16	0,12	0,22	32,6	7,54	86
Limites	6 a 9	75	-	0,3	-	-	0,1	100	>5	-
Mínimo	6,46	2	40,8	<0,01	0,08	<0,01	0,07	0,4	6,9	52
Média	7,69	9	69,4	0,17	0,34	0,16	0,21	20,9	7,87	81
Máximo	9,38	30	104,0	0,44	0,92	0,38	0,53	81,0	8,83	172
Responsáveis Técnicos: Rodrigo Antônio de Pontes – CRQ 02301056 2ª Região Laboratório: Visão Ambiental Shirley Aparecida Faustino CRQ MG: 02.413.19 Laboratório: ECOAR MONITORAMENTO AMBIENTAL LTDA.										

Tabela 62 – Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto P2, Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante da mina.

HERCULANO MINERAÇÃO LTDA			P2 - RIBEIRÃO DO SILVA IMEDIATAMENTE A JUSANTE DA MINA E A MONTANTE DA FUTURA ÁREA DE LAVRA					EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO		
Tipo de Ponto: Ribeirão			Tipo de Amostra: Água Superficial					Classe 2	Ano: 2017-2025	
Data	Sólidos Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)	Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)	DQO (mg.L ⁻¹)	T da água(°C)	T do ar (°C)	Coliformes totais (NMP.100 mL ⁻¹)	<i>E. faecium</i> , <i>E. faecalis</i> (NMP.100 mL ⁻¹)	<i>E. coli</i> (NMP.100 mL ⁻¹)
04/01/22	70	25	VA	<2,0	<10,0	19,8	22,9	8000	480,0	2500
05/07/22	69	<10	VA	<2,0	<10,0	17,0	16,9	1600	24,0	14
06/01/23	33	28	VA	<2,0	<10,0	20,3	27,9	>8000	100,0	1600
05/07/23	43	<10	VA	<2,0	<10,0	15,4	17,3	8000	480,0	2500
05/01/24	37	25	VA	<2,0	<10,0	20,7	24,9	1600	24,0	14
02/07/24	54	<10	VA	<2,0	<10,0	18,5	24,0	8000	100,0	1600
16/09/24	59	<20	<10,0	<2,0	<10,0	21,2	25,0	NA	163,8	21,8
07/01/25	43	13	VA	<2,0	<10,0	21,5	25,1	230	60,0	250
Média 2017	37,0	<20	<10,0	<2,0	-	19,9	23,1	3859,7	112,3	265,3
Média 2018	28,0	<20	<10,0	<2,0	-	19,9	27,5	2868,4	51,7	-
Média 2019	34,5	<20	16,1	<2,0	-	19,97	25,0	5370,0	45,95	77,5
Média 2020	28,5	<20	<10	<2,0	-	19,85	24,25	4426,7	89,9	421,5
Média 2021	71	15,2	5	<2,0	<10,0	19,75	27,2	5209,8	155,9	264,1
Limites	≤500	100	VA	5		-	-	-	-	1000
Mínimo	33	<10	VA	<2,0	<10,0	15,4	16,9	230	24	14
Média	51	18	1,3	<2,0	<10,0	19,3	23,0	5061	179	1062
Máximo	70	28	10	<2,0	<10,0	21,5	27,9	>8000	480	2500

Responsáveis Técnicos: Rodrigo Antônio de Pontes – CRQ 02301056 2ª Região Laboratório: Visão Ambiental; Shirley Aparecida Faustino CRQ MG: 02.413.19 Laboratório: ECOAR MONITORAMENTO AMBIENTAL LTDA.

HERCULANO MINERAÇÃO LTDA				P2 - RIBEIRÃO DO SILVA IMPLANTANDO A JUSANTE DA MINA E A MONTANTE DA FUTURA ÁREA DE LAVRA								EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO				
Tipo de Ponto: Vertedouro de Barragem				Tipo de Amostra: Água Superficial								Classe 2		Ano: 2024		
Data	Eh (mV)	Al (s) (mg.L ⁻¹)	As (t) (mg.L ⁻¹)	Cd (t) (mg.L ⁻¹)	Pb (t) (mg.L ⁻¹)	Cu (s) (mg.L ⁻¹)	Cr (t) (mg.L ⁻¹)	Ni (t) (mg.L ⁻¹)	Hg (t) (mg.L ⁻¹)	Zn (t) (mg.L ⁻¹)	P(t) (mg.L ⁻¹)	N (t) (mg.L ⁻¹)	ABS (mg.L ⁻¹)	Fenóis (mg.L ⁻¹)		
16/09/24	220,7	<0,100	<0,001	0,001	<0,010	0,007	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,019	<11,0	<0,100	0,010		
Límites	-	0,1	0,01	0,001	0,01	0,009	0,05	0,025	0,0002	0,18	0,1	-	0,5	0,003		
Mínimo	220,7	<0,100	<0,001	0,001	<0,010	0,007	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,019	<11,0	<0,100	0,010		
Média	220,7	<0,100	<0,001	0,001	<0,010	0,007	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,019	<11,0	<0,100	0,010		
Máximo	220,7	<0,100	<0,001	0,001	<0,010	0,007	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,019	<11,0	<0,100	0,010		
Responsáveis Técnicos: Rodrigo Antônio de Pontes – CRQ 02301056 2ª Região Laboratório: Visão Ambiental Altitude: 1171,6																

iii. P3 – Ribeirão do Silva, a jusante do empreendimento.

- **A – Contextualização do Ponto de Amostragem P3 – Ribeirão do Silva, a jusante do empreendimento.**

- ⇒ Bacia do rio São Francisco
- ⇒ Sub-bacia do rio das Velhas
- ⇒ Coordenadas UTM em Sirgas 2000 (Fuso 23K): X = 611109; Y= 7758740
- ⇒ Altitude: 1145,5 m

Contextualização:

A bacia de contribuição deste ponto é bem mais ampla do que a do ponto anterior, prestando-se para avaliar as condições do corpo receptor das águas provenientes do empreendimento, especificamente de suas áreas de apoio e da área de beneficiamento de minério de ferro, bem como eventuais interferências ocasionadas por este e da futura lavra. Inclui grandes extensões de terrenos da bacia do ribeirão do Silva, de características essencialmente rurais, fora da mina.

Em relação ao futuro empreendimento objeto do presente estudo, este ponto estará a jusante da futura Pilha Norte, da futura Cava A e da futura Pilha Sul.

A figura abaixo ilustra o local de coleta do ponto P3.



Figura 253 - Local de coleta do ponto P3.

Características visuais da água:

Em termos de qualidade visual da água no ponto **P3**, observa-se através da foto da figura a seguir que a água apresentava boa aparência, transparência, sem cor aparente e sem turbidez.



Figura 254 - Detalhe visual da qualidade da água do ponto de monitoramento P3, situado no ribeirão Silva, a jusante do atual e do futuro empreendimento da Herculano Mineração.

A sequência de fotos seguir apresenta as características da água no ponto P3.



2017



2018



2019



Julho 2020



Janeiro 2021



Janeiro 2022



Julho 2022



Janeiro 2023



Julho 2023



Janeiro 2024



Julho 2024



Janeiro 2025

Figura 255 - Registro fotográfico da qualidade visual da água no ponto P3 no período de 2017 a janeiro de 2025.

As fotos a seguir ilustram a coleta de água realizada na data 16/09/24.



Figura 256 - Registro fotográfico da qualidade visual da água no ponto P3 na data 16/09/24.

- **Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas correspondentes ao ponto P3 – Ribeirão do Silva, a jusante do empreendimento.**

As águas do ponto **P3** foram enquadradas como **classe 2**, ou seja, “Águas destinadas: a - ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; b - à proteção das comunidades aquáticas; c - à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); d - à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e - à aquicultura e à atividade de pesca”, conforme o Art. 4º item III do capítulo II DA

CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA da DN CONJUNTA COPAM/CERH 8/2022.

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para as amostras de águas superficiais no ponto **P3**, realizadas no período de janeiro de 2022 a janeiro de 2025 (análises semestrais), setembro de 2024 e médias anuais de 2017 a 2021, estão apresentados através da Tabela 64, Tabela 65 e Tabela 66.

Em termos de qualidade das águas superficiais verificada nas amostragens realizadas no período acima no ponto **P3**, observa-se através dos resultados obtidos para os parâmetros analisados que embora a maioria dos parâmetros tenham acusado valores dentro dos seus limites máximos permitidos estabelecidos pela DN Conjunta COPAM/CERH 8/2022 para as águas de Classe 2, o manganês total, o ferro solúvel e os fenóis acusaram inconformidades.

O pH acusou valores oscilando de 6,43 a 8,45, ou seja, dentro da faixa limite exigida pela legislação vigente de 6 a 9, caracterizando as águas no período analisado de ligeiramente ácidas a alcalinas. As médias anuais de 2017 a 2021 oscilaram de 6,74 a 8,47, caracterizando as águas também como ligeiramente ácidas a alcalinas. Mesmo comportamento foi observado nos pontos **P1** e **P2**.

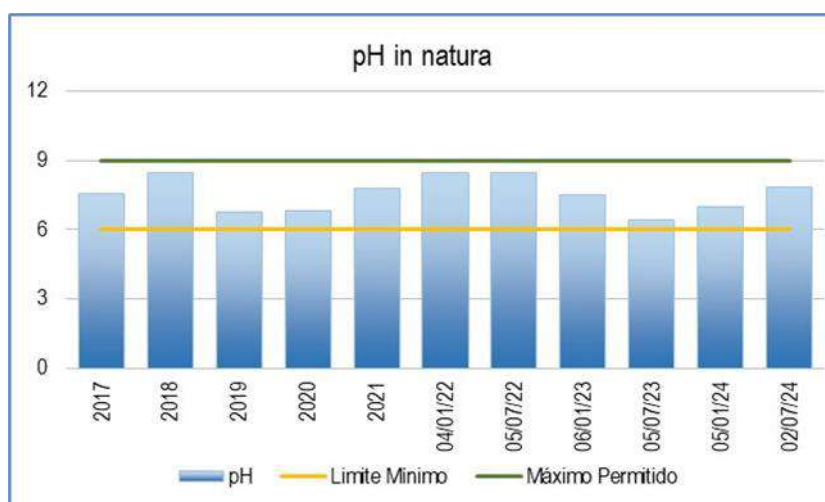


Figura 257 - Resultados de pH obtidos no ponto **P3** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.

A condutividade elétrica da água acusou no período analisado valores reduzidos oscilando de 36,9 a 113,6 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, indicando presença de poucos íons dissolvidos nas águas amostradas, indicando baixa mineralização, o que é corroborado pelos teores reduzidos de sólidos dissolvidos (máximo de 58 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) obtidos neste mesmo período. Em todo o histórico do monitoramento os resultados de condutividade foram bem reduzidos. As médias anuais (2017 a 2021) acusaram valores oscilando de 67,9 a 77,9 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, indicando águas com poucos íons dissolvidos, ou seja, baixa mineralização.

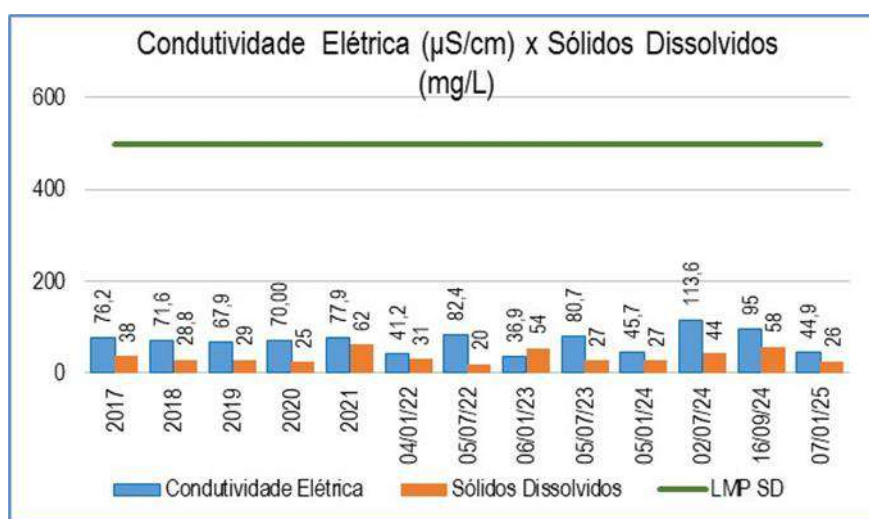


Figura 258 - Resultados de condutividade elétrica ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) e sólidos dissolvidos totais ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) obtidos no ponto **P3** no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.

Os parâmetros indicativos do controle ambiental na mina, especialmente no que tange à contenção de sólidos erodidos, apresentaram números bastante reduzidos. Notadamente os sólidos dissolvidos que apresentaram teores oscilando de 20 a 58 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, ou seja, significativamente inferiores ao limite máximo permitido de 500 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. As médias anuais variaram de 28,8 a 62,0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, sendo também muito inferiores ao LMP.

Os sólidos suspensos acusaram teores reduzidos oscilando de inferior ao limite de quantificação do método de análise ($<10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) a 55 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ no período analisado, sendo inferiores ao limite máximo permitido de 100 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, mesma condição verificada no ponto P2 (<10 a 28 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$). Em termos de médias anuais, os sólidos oscilaram de 17 a 34 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Através do gráfico a

seguir verifica-se que em todo o histórico do monitoramento os valores detectados foram reduzidos e inferiores ao LMP.

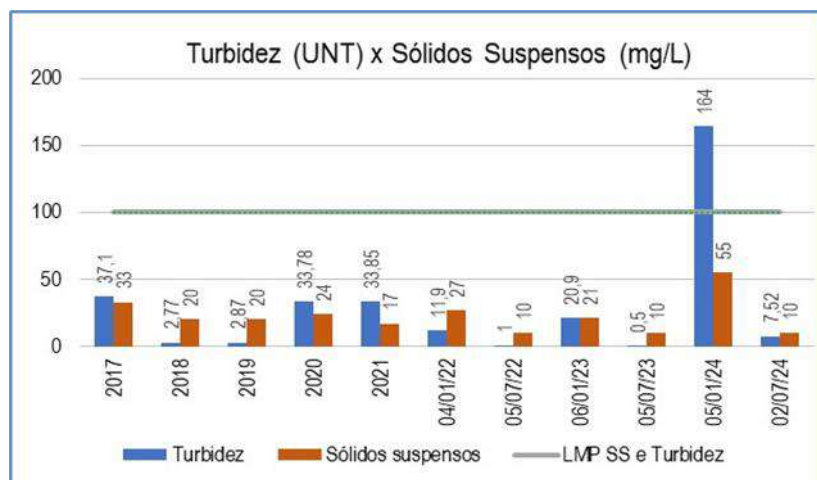


Figura 259 - Resultados de turbidez (UNT) e sólidos suspensos (mg.L^{-1}) obtidos no P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.

Como consequência dos baixos teores de sólidos suspensos, a turbidez também acusou índices reduzidos oscilando de 0,5 a 164 UNT, sendo estes valores significativamente inferiores ao LMP de 100 UNT, com exceção da data 05/01/24 que acusou um valor acima do LMP. O valor mais elevado provavelmente foi em função do período chuvoso. Observa-se que as médias anuais no período de 2017 a 2021 mantiveram-se abaixo do limite máximo permitido e oscilaram de 2,77 (2018) a 37,1 UNT (2017).

Os sólidos totais também acusaram teores reduzidos variando de 37 a 83 mg.L^{-1} . Estes resultados estão de acordo com a qualidade visual da água verificada no momento das coletas. As médias anuais de 2017 a 2021 oscilaram de 29,8 a 74,0 mg.L^{-1} .

Os teores reduzidos de sólidos detectados em todo o período analisado (seca e chuva) indicam que as obras emergenciais e as medidas de controle para estes parâmetros adotadas na empresa estão sendo eficazes, tendo em vista que a bacia de contribuição deste ponto é bem mais ampla do que a do ponto P2, prestando-se para avaliar as condições do corpo receptor das águas provenientes do empreendimento, especificamente de suas áreas de

apoio e da área de beneficiamento de minério de ferro, bem como eventuais interferências ocasionadas por este e também avaliará possíveis impactos provenientes da lavra. Inclui grandes extensões de terrenos da bacia do ribeirão do Silva, de características essencialmente rurais, fora da mina.

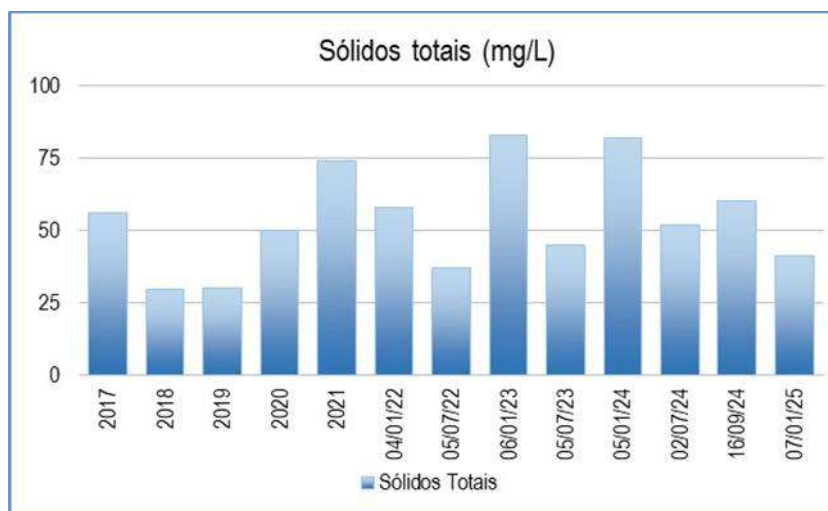


Figura 260 - Resultados de sólidos totais (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.

Os óleos e graxas oscilaram de virtualmente ausentes a $<10 \text{ mg.L}^{-1}$ no período analisado. As médias anuais de 2017 a 2021 apresentaram valores reduzidos oscilando de <5 a $<10 \text{ mg.L}^{-1}$.

Devido à mudança de laboratório alguns limites de quantificação dos métodos analíticos utilizados sofreram alteração, como por exemplo, os óleos e graxas.

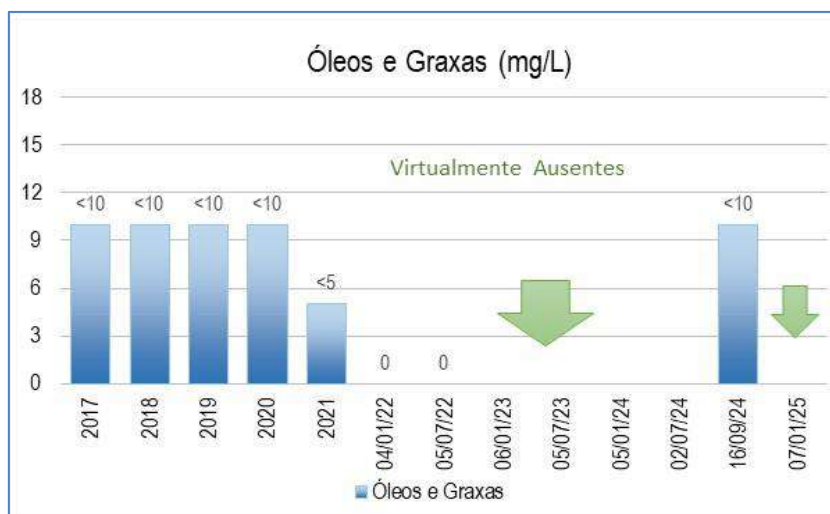


Figura 261 - Resultados de óleos e graxas (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.

O ferro solúvel apresentou no período analisado teores oscilando de 0,02 a 0,35 mg.L^{-1} , sendo inferiores ao limite máximo permitido de 0,3 mg.L^{-1} , com exceção da data 16/09/24, quando acusou um teor ligeiramente acima do LMP. As médias anuais (2017 a 2021) oscilaram de 0,13 (2019) a 0,75 mg.L^{-1} (2021), sendo inferiores ao LMP, com exceção do ano de 2021.

O ferro total acusou teores oscilando de 0,04 a 1,97 mg.L^{-1} no período analisado. As médias anuais variaram de 0,24 a 1,44 mg.L^{-1} .

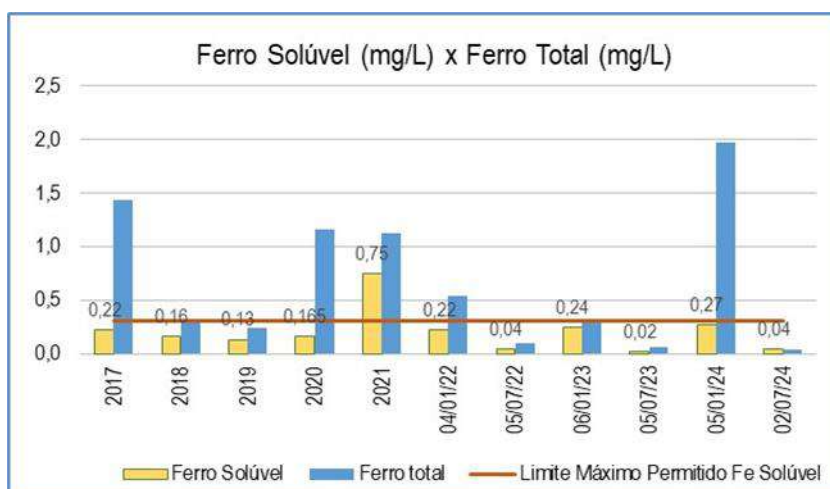


Figura 262 - Resultados de ferro solúvel (mg.L^{-1}) e ferro total (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.

O manganês total acusou no período analisado teores oscilando de 0,02 a 1,39 mg.L⁻¹, sendo superiores ao LMP de 0,1 mg.L⁻¹, com exceção das datas 05/07/23, 05/01/24 e 16/09/24. As médias anuais de 2017 a 2021 variaram de 0,07 (2019) a 0,21 mg.L⁻¹ (2017). O manganês solúvel acusou teores variando de 0,01 a 0,23 mg.L⁻¹ e as médias anuais oscilaram de 0,06 a 0,07 mg.L⁻¹.

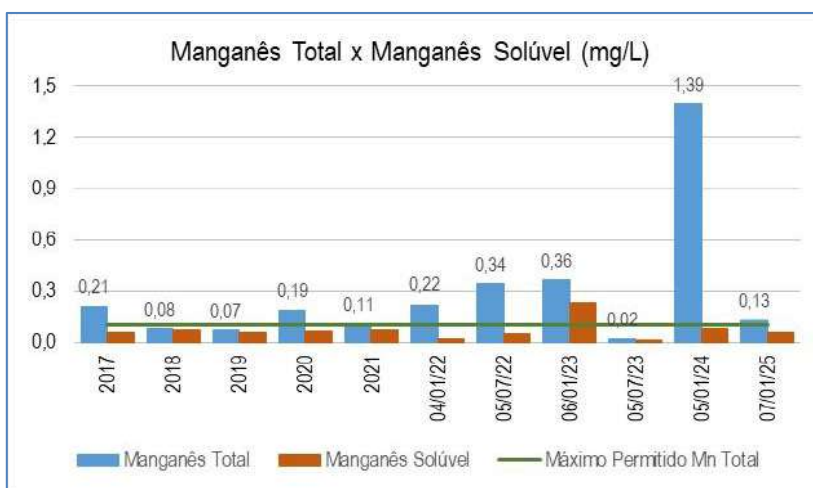


Figura 263 - Resultados de manganês solúvel (mg.L⁻¹) e manganês total (mg.L⁻¹) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.

A cor da água nas últimas datas de coleta apresentou valores oscilando de 3 a 34 mg.L⁻¹, sendo muito inferiores ao LMP de 75 mgPt.L⁻¹ estabelecido pela DN Conjunta COPAM/CERH 08/2022 para águas Classe 2. Estes resultados estão de acordo com o observado em campo. As médias anuais no período de 2017 a 2021 oscilaram de 6,9 a 14,6 mgPt.L⁻¹. Os baixos teores de ferro na maioria das coletas contribuíram para os índices reduzidos obtidos para a cor.

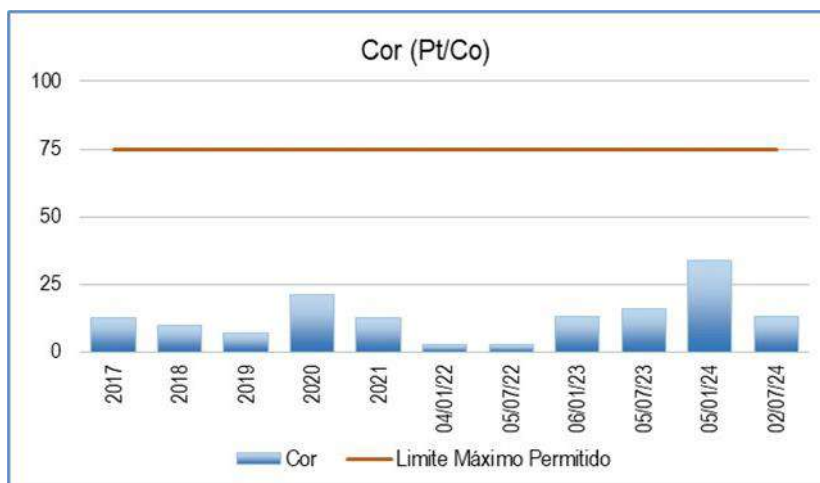


Figura 264 - Resultados de cor (mgPt.L⁻¹) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.

O oxigênio dissolvido apresentou teores variando de 6,52 a 8,49 mg.L⁻¹, sendo superiores ao mínimo exigido para águas classe 2 de 5 mg.L⁻¹, indicando águas com boa oxigenação. As médias anuais oscilaram de 6,7 a 7,45 mg.L⁻¹, indicando também águas com boa oxigenação.

Sob o ponto de vista sanitário, o oxigênio dissolvido é um parâmetro de grande importância, pois está relacionado à sobrevivência de organismos aeróbios.

O oxigênio dissolvido é uma das formas mais importantes de se avaliar a qualidade das águas. Ele é um dos nove parâmetros necessários para se calcular o Índice de Qualidade das Águas – IQA. Águas com níveis muito baixos de oxigênio dissolvido são consideradas águas de qualidade inferior, eventualmente, poluídas por despejos contendo grande quantidade de matéria orgânica, onde há espécies que demandam oxigênio. Já as águas com níveis elevados de oxigênio são consideradas de boa qualidade.

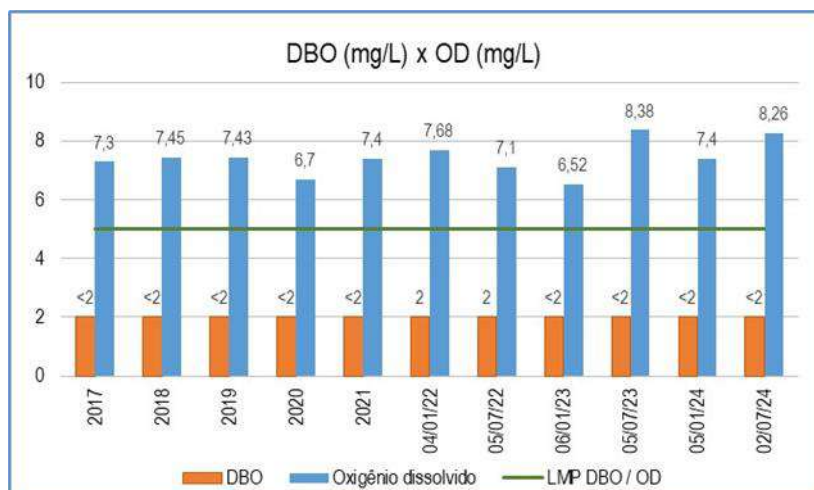


Figura 265 - Resultados de OD (mg.L^{-1}) e DBO (mg.L^{-1}) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.

O baixo nível de matéria orgânica pode ser demonstrado através dos resultados de DBO, os quais acusaram um teor $<2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ em todo o período analisado, sendo inferior ao limite máximo permitido de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$. A DBO vem acusando o teor $<2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ desde janeiro de 2017. As médias anuais acusaram um valor $<2,0 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo também inferiores ao LMP.

Os baixos teores de DBO detectados nas amostras analisadas contribuem para uma boa oxigenação da água, uma vez que, altas concentrações de matéria orgânica levam a um consumo maior de oxigênio dissolvido da água pelas bactérias aeróbias no processo de oxidação da matéria orgânica.

Ressalta-se que o esgoto sanitário gerado na empresa é tratado através de sistemas compostos por fossa séptica – filtro anaeróbio e sumidouro. O efluente tratado não é lançado em curso d'água, mas em solo através de sumidouro.

A temperatura da água acusou valores oscilando de $14,9$ a $21,4^{\circ}\text{C}$ e do ar de $17,9$ a $26,8^{\circ}\text{C}$. As médias anuais oscilaram de $19,96$ a $20,7^{\circ}\text{C}$ para água e de $22,7$ a $27,5^{\circ}\text{C}$.

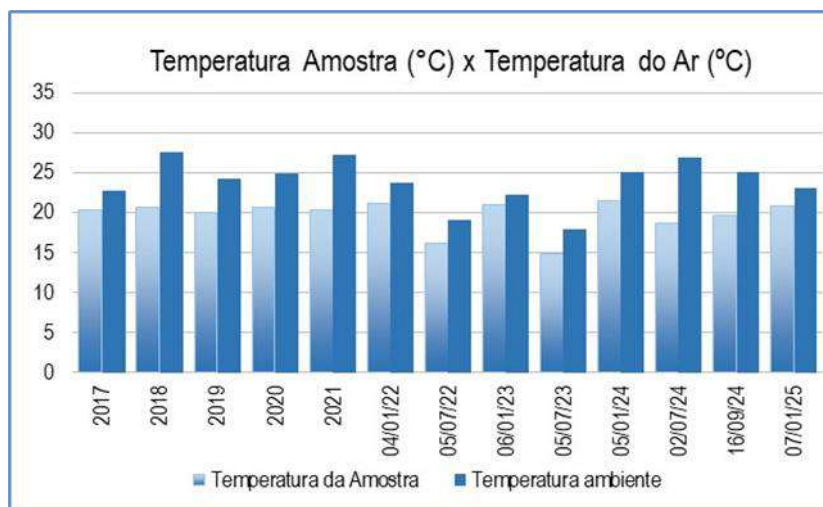


Figura 266 - Resultados de temperatura da água (°C) e temperatura do ar (°C) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.

Em termos dos parâmetros microbiológicos, os *Enterococos faecium* e *faecalis* acusaram valores oscilando de 5 a 2100 NMP.100 mL⁻¹ e a *E. Coli* acusou valores oscilando de 9,7 a 500 NMP.100 mL⁻¹, sendo muito inferiores ao LMP de 1000 NMP.100 mL⁻¹. Os coliformes totais acusaram valores oscilando de 700 a >80000 NMP.100 mL⁻¹. As médias anuais acusaram valores inferiores ao LMP para *E. coli* em todos os anos, quando acusou valores oscilando de 11,7 a 341,9 NMP.100 mL⁻¹.

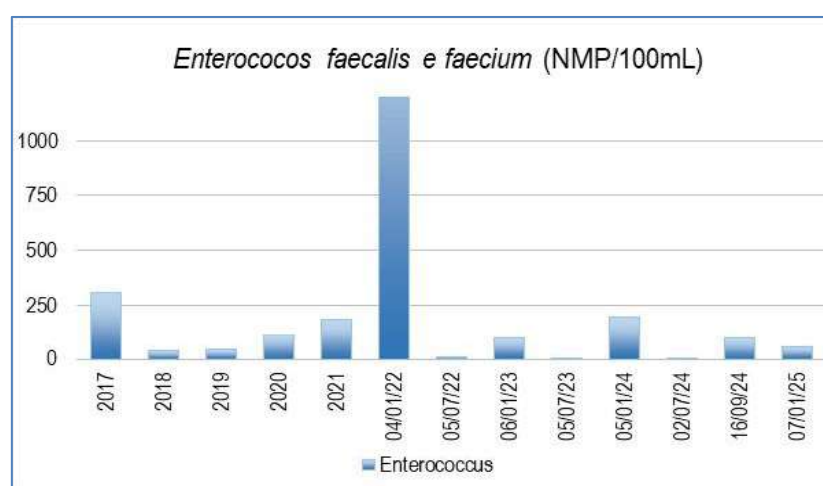


Figura 267 - Resultados de *Enterococos faecium* e *faecalis* (NMP.100 mL⁻¹) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.

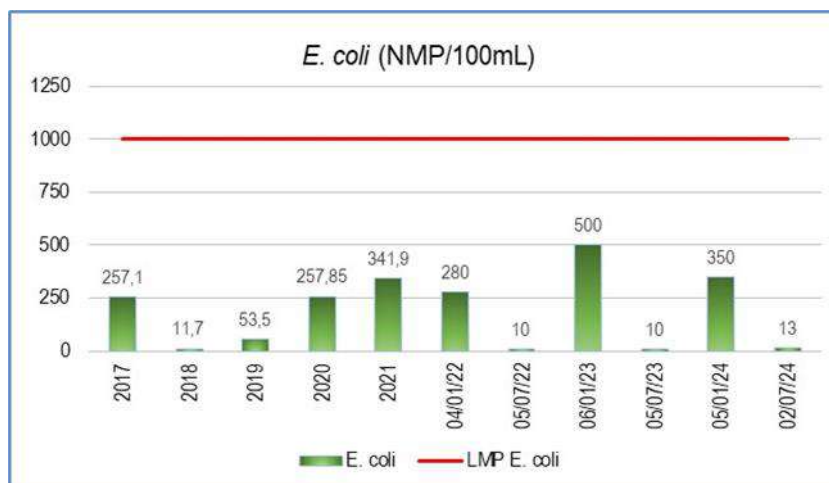


Figura 268 - Resultados de *E. coli* (NMP.100 mL⁻¹) obtidos no ponto P3 no período de 2017 a 2021 (médias anuais) e de janeiro de 2024 a janeiro de 2025 (análises semestrais) e campanha de setembro de 2024.

Quanto aos parâmetros extras avaliados na data 16/09/24 tem-se que:

O Índice de Qualidade da Água – IQA acusou na data 16/09/24 um valor de 86. De acordo com a tabela do IGAM este valor indica água de boa qualidade. Este valor foi superior aos detectados nos pontos P1 (78) e P2 (84). Observa-se que o IQA aumentou do ponto P1 a P3.

O potencial Redox acusou um valor de 217,7 mV indicando um meio oxidante. Mesmo comportamento foi observado nos pontos P1 e P2.

Quanto aos demais metais avaliados, incluindo os metais tóxicos (não essenciais), os metais alumínio solúvel, chumbo total, cromo total, níquel total, mercúrio total e zinco total e o metalóide arsênio total não foram detectados. Todos acusaram teores inferiores aos seus limites de quantificação. Mesmo comportamento foi observado nos pontos P1 e P2.

O cádmio acusou um teor 0,001 mg.L⁻¹, sendo igual ao LMP de 0,001 mg.L⁻¹. Mesmo valor detectado nos pontos a montante P1 e P2. Por ser um elemento traço o valor encontrado é muito próximo ao limite de quantificação do método de análise.

A empresa não utiliza nenhum reagente químico no beneficiamento do minério.

O cobre acusou um teor de $0,007 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo inferior ao LMP de $0,009 \text{ mg.L}^{-1}$ e ao valor detectado no ponto P1. Mesmo valor foi detectado no ponto P2.

A presença de cobre e cádmio na data 16/09/24 se deve provavelmente ao *background* do local, uma vez que a empresa não utiliza nenhum reagente químico no beneficiamento do minério.

O estudo dos nutrientes é importante na avaliação das tendências de eutrofização na área em estudo. De acordo com Esteves (1988) a eutrofização pode ser definida como: “(...) o aumento da concentração de nutrientes especialmente nitrogênio e fósforo, nos ecossistemas aquáticos, que têm como consequência o aumento de suas produtividades. (...)”.

Na maioria das águas continentais o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade. Além disso, tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas (ESTEVES, 1988).

No meio aquático, as diversas formas de nitrogênio podem ser de origem natural (proteínas, clorofila e outros compostos biológicos) e/ou de origem das atividades humanas e animais (despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes). Nos esgotos domésticos frescos, predominam o nitrogênio em forma de amônia e o orgânico.

O nitrogênio total não foi detectado, onde acusou um teor $<11,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Já o fósforo acusou um teor de $0,014 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo inferior ao LMP de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ para ambiente lótico e inferior aos valores detectados nos pontos P1 e P2.

De acordo com a literatura a presença de fósforo na água está relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, excrementos de animais, despejos industriais, pesticidas). Em águas naturais não poluídas as concentrações de fósforo situam-se na faixa de $0,01$ a $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$.

Não foi observado no local processo de eutrofização, o que está de acordo com os resultados reduzidos de nitrogênio e fósforo.

Em termos de tensoativos o ABS acusou na data de coleta 16/09/24 um teor $<0,100 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo inferior ao LMP de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ e ao valor detectado no ponto P1 e igual ao valor detectado no ponto P3.

Os fenóis acusaram um valor de $0,016 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo superior ao LMP de $0,003 \text{ mg.L}^{-1}$ e superior ao detectado no ponto P1.

Tabela 64– Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto **P3**.

HERCULANO MINERAÇÃO LTDA			P3 – RIBEIRÃO SILVA, À JUSANTE DO EMPREENDIMENTO			EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO				
Tipo de Ponto: Ribeirão			Tipo de Amostra: Água Superficial			Classe 2		Ano: 2017 a 2025		
Data	pH	Cor verdadeira (mg Pt.L ⁻¹)	Cond. Elétrica (µS.cm ⁻¹)	Ferro solúvel (mg.L ⁻¹)	Ferro total (mg.L ⁻¹)	Manganês solúvel (mg.L ⁻¹)	Manganês total (mg.L ⁻¹)	Turbidez (UNT)	OD (mg.L ⁻¹)	Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)
04/01/22	8,44	3,0	41,2	0,22	0,54	0,02	0,22	11,9	7,68	58
05/07/22	8,45	3,0	82,4	0,04	0,09	0,05	0,34	1,0	7,10	37
06/01/23	7,52	13,0	36,9	0,24	0,30	0,23	0,36	20,9	6,52	83
05/07/23	6,43	16,0	80,7	0,02	0,06	0,01	0,02	0,5	8,38	45
05/01/24	7,01	34,0	45,7	0,27	1,97	0,08	1,39	164	7,40	82
02/07/24	7,83	13,0	113,6	0,04	0,04	0,03	0,04	7,52	8,26	52
16/09/24	7,59	<5,0	95,0	0,35	0,47	<0,05	<0,05	1,71	7,80	60
07/01/25	7,62	33,0	44,9	0,19	0,21	0,06	0,13	30,3	8,49	41
Média 2017	7,57	12,6	76,2	0,22	1,44	0,06	0,21	37,1	7,30	56,0
Média 2018	8,47	9,9	71,6	0,16	0,29	0,07	0,08	2,77	7,45	29,8
Média 2019	6,74	6,9	67,9	0,13	0,24	0,06	0,07	2,87	7,43	30,0
Média 2020	6,80	14,6	70,0	0,17	1,17	0,07	0,19	33,78	6,70	66,0
Média 2021	7,8	12,7	77,9	0,75	1,115	0,07	0,11	33,85	7,40	74,0
Limites 6 a 9	75	-	0,3	-	-	0,1	100	≥5	-	-
Mínimo	6,43	3,0	36,9	0,02	0,04	0,01	0,02	0,5	6,52	37
Média	7,61	15,0	67,6	0,17	0,46	0,07	0,32	29,7	7,70	57
Máximo	8,45	34,0	113,6	0,35	1,97	0,23	1,39	164	8,38	83

Responsáveis Técnicos: Patrícia de Pádua Marques – CRQ 02100091 2ª R e Felipe Augusto de Pádua Marques – CRQ 02101160 2ª R **Laboratório:** C.S.Q.A.; Rodrigo Antônio de Pontes – CRQ 02301056 2ª Região **Laboratório:** Visão Ambiental **OBS:** NA – Não foi exigido em condicionante. Voltarão a serem analisados a partir de dezembro de 2014.

HERCULANO MINERAÇÃO LTDA			P3 – RIBEIRÃO SILVA, A JUSANTE DO EMPREENDIMENTO				EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO		
Tipo de Ponto: Ribeirão			Tipo de Amostra: Água Superficial				Classe 2	Ano: 2017 - 2025	
Data	Sólidos Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)	Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)	Temperatura da água (°C)	Temperatura do ar (°C)	Coliformes totais (NMP.100 mL ⁻¹)	<i>E. faecium</i> , <i>E. faecalis</i> (NMP.100 mL ⁻¹)	<i>E. coli</i> (NMP.100 mL ⁻¹)
04/01/22	31	27	VA	<2,0	21,2	23,7	>8000	2100	280
05/07/22	20	<10	VA	<2,0	16,1	19,0	700	10	10
06/01/23	54	21	VA	<2,0	21,0	22,2	>80000	100	500
05/07/23	27	10	VA	<2,0	14,9	17,9	1000	5	10
05/01/24	27	55	VA	<2,0	21,4	25,0	1700	200	350
02/07/24	44	10	VA	<2,0	18,6	26,8	2800	6	13
16/09/24	58	<20	<10	<2,0	19,7	25,0	NA	95,9	9,7
07/01/25	26	13	VA	<2,0	20,8	23,1	>8000	60	300
Média 2017	38,0	33	<10	<2,0	20,3	22,7	3033,2	305,8	257,1
Média 2018	28,8	<20	<10	<2,0	20,7	27,5	2234,9	41,8	11,7
Média 2019	29,0	<20	<10	<2,0	19,96	24,3	2397,5	44,5	53,5
Média 2020	41,0	34	<10	<2,0	20,7	24,8	4411,6	118,3	257,9
Média 2021	62,0	17	5	<2,0	20,3	27,2	1609,8	189,0	341,9
Limites	≤500	100	VA	≤5	-	-	-	-	1000
Mínimo	20	10	VA	<2,0	14,9	17,9	700	5	9,7
Média	36	21	<1,3	<2,0	19,2	22,8	14600	322	184
Máximo	58	55	<10	<2,0	21,4	26,8	>80000	2100	500
Responsáveis Técnicos: Patrícia de Pádua Marques – CRQ 02100091 2ª R e Felipe Augusto de Pádua Marques – CRQ 02101160 2ª R de Pontes – CRQ 02301056 2ª Região								Laboratório: C.S.Q.A.; Rodrigo Antônio	
Laboratório: Visão Ambiental									

Tabela 66– Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto **P3**.

HERCULANO MINERAÇÃO LTDA				P3 – RIBEIRÃO SILVA, A JUSANTE DO EMPREENDIMENTO							EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO					
Tipo de Ponto: Vertedouro de Barragem				Tipo de Amostra: Água Superficial							Classe 2		Ano: 2024			
Data	Eh (mV)	Al (s) (mg.L ⁻¹)	As (t) (mg.L ⁻¹)	Cd (t) (mg.L ⁻¹)	Pb (t) (mg.L ⁻¹)	Cu (s) (mg.L ⁻¹)	Cr (t) (mg.L ⁻¹)	Ni (t) (mg.L ⁻¹)	Hg (t) (mg.L ⁻¹)	Zn (t) (mg.L ⁻¹)	P(t) (mg.L ⁻¹)	N (t) (mg.L ⁻¹)	ABS (mg.L ⁻¹)	Fenóis (mg.L ⁻¹)		
16/09/24	217,7	<0,1	<0,001	0,001	<0,010	0,007	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,014	<11,0	<0,1	0,016		
Limites	-	0,1	0,01	0,001	0,01	0,009	0,05	0,025	0,0002	0,18	0,1	-	0,5	0,003	-	-
Mínimo	217,7	<0,1	<0,001	0,001	<0,010	0,007	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,014	<11,0	<0,1	0,016		
Média	217,7	<0,1	<0,001	0,001	<0,010	0,007	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,014	<11,0	<0,1	0,016		
Máximo	217,7	<0,1	<0,001	0,001	<0,010	0,007	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,014	<11,0	<0,1	0,016		
Responsáveis Técnicos: Rodrigo Antônio de Pontes – CRQ 02301056 2ª Região Laboratório: Visão Ambiental																

iv. Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes.

- **Contextualização do Ponto de Amostragem P14 – Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes**

- ⇒ Bacia do rio São Francisco
- ⇒ Sub-bacia do rio das Velhas
- ⇒ Coordenadas UTM em Sirgas 2000 (Fuso 23K): X=615388; Y=7759346
- ⇒ Altitude: 1279,8 m

Contextualização:

O ponto **P14** está inserido no Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes.

A figura abaixo ilustra o local de coleta do ponto **P14**.



Figura 269 - Local de coleta do ponto P14.

A drenagem possui vertentes escarpada com grande presença de sedimentos areno argilosos, incide também a presença de matéria orgânica, a vegetação circundante é composta por mata ciliar fechada, com árvores de médio porte bem desenvolvidas caracterizando uma vegetação secundária em estágio avançado de regeneração.

Córrego com água cristalina, leito rochoso composto de matacões de rochas.

O leito medindo aproximadamente de 1 m a 1,5 m de largura, lâmina d'água variando de 5 a 10 cm.

Características visuais da água:

Em termos de qualidade visual da água no ponto P14, observa-se pelas fotos a seguir que a água apresentava boa aparência, transparência, sem cor aparente e sem turbidez.

No entorno do ponto de coleta há presença de rochas e vegetação. Neste ponto o ribeirão é raso e tem pouca velocidade.

As fotos a seguir registram as características da água no ponto P14 na data 16/09/24.





Figura 270 - Detalhe visual da qualidade da água do ponto de monitoramento P14, situado no Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes.

- **Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas correspondentes ao ponto P14 – Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes**

As águas do ponto **P14** foram enquadradas como **classe 2**, ou seja, “Águas destinadas: a - ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; b - à proteção das comunidades aquáticas; c - à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); d - à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e - à aquicultura e à atividade de pesca”, conforme o Art. 4º item III do capítulo II DA CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA da DN CONJUNTA COPAM/CERH 8/2022.

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para as amostras de águas superficiais no ponto **P14**, realizadas na data 16/09/24 estão apresentados através da Tabela 67, Tabela 68 e Tabela 69.

Em termos de qualidade das águas superficiais verificada nas amostragens realizadas na data 16/09/24 no ponto P14, observa-se através dos resultados obtidos para os parâmetros analisados que embora a maioria dos parâmetros tenham acusado valores dentro dos seus limites máximos permitidos estabelecidos pela DN Conjunta COPAM/CERH 8/2022 para as águas de Classe 2, o ferro solúvel e os fenóis acusaram inconformidades.

O pH acusou um valor de 7,72, ou seja, dentro da faixa limite exigida pela legislação vigente de 6 a 9, caracterizando as águas na data analisada como ligeiramente alcalinas.

A condutividade elétrica da água acusou um valor reduzido de 12,0 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, indicando presença de poucos íons dissolvidos na água amostrada, indicando baixa mineralização, o que é corroborado pelo teor muito reduzido de sólidos dissolvidos (23 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$) obtido na mesma data.

Os parâmetros indicativos do controle ambiental na mina, especialmente no que tange à contenção de sólidos erodidos, apresentaram números bastante reduzidos. Notadamente os sólidos dissolvidos que apresentaram um teor de 23 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$, ou seja, significativamente inferior ao limite máximo permitido de 500 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$.

Os sólidos suspensos acusaram um teor inferior ao limite de quantificação do método de análise ($<10 \text{ mg}.\text{L}^{-1}$), sendo inferior ao limite máximo permitido de 100 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$.

Como consequência do baixo teor de sólidos suspensos, a turbidez também acusou um índice muito reduzido de 2,31 UNT, sendo este valor significativamente inferior ao LMP de 100 UNT.

Os sólidos totais também acusaram um teor reduzido de 23 $\text{mg}.\text{L}^{-1}$. Estes resultados de sólidos e turbidez estão de acordo com a qualidade visual da água verificada no momento da coleta.



Figura 271 - Detalhe visual da qualidade da água no local do ponto P14 na data 16/09/24.

Os óleos e graxas acusaram um valor inferior ao limite de quantificação do método de análise ($<10\text{mg.L}^{-1}$).

O ferro solúvel apresentou na data 16/09/24 um teor de $0,34\text{ mg.L}^{-1}$, sendo ligeiramente superior ao limite máximo permitido de $0,3\text{ mg.L}^{-1}$. O ferro total acusou um teor de $0,36\text{ mg.L}^{-1}$.

O manganês total acusou um teor $<0,05\text{ mg.L}^{-1}$, sendo inferior ao LMP de $0,1\text{ mg.L}^{-1}$. O manganês solúvel também acusou um teor $<0,05\text{ mg.L}^{-1}$.

A cor da água na data 16/09/24 apresentou um valor reduzido de $7,79\text{ mgPt.L}^{-1}$, sendo muito inferior ao LMP de 75 mgPt.L^{-1} estabelecido pela DN Conjunta COPAM/CERH 08/2022 para águas Classe 2. Este resultado está de acordo com o observado em campo.

O oxigênio dissolvido apresentou um teor de $8,1\text{ mg.L}^{-1}$, sendo superior ao mínimo exigido para águas classe 2 de 5 mg.L^{-1} , indicando água com boa oxigenação.

Sob o ponto de vista sanitário, o oxigênio dissolvido é um parâmetro de grande importância, pois está relacionado à sobrevivência de organismos aeróbios.

O oxigênio dissolvido é uma das formas mais importantes de se avaliar a qualidade das águas. Ele é um dos nove parâmetros necessários para se calcular o Índice de Qualidade das Águas – IQA. Águas com níveis muito baixos de oxigênio dissolvido são consideradas águas de qualidade inferior, eventualmente, poluídas por despejos contendo grande quantidade de matéria orgânica, onde há espécies que demandam oxigênio. Já as águas com níveis elevados de oxigênio são consideradas de boa qualidade.

O baixo nível de matéria orgânica pode ser demonstrado através do resultado de DBO, que acusou um teor $<2,0\text{ mg.L}^{-1}$, sendo inferior ao limite máximo permitido de $5,0\text{ mg.L}^{-1}$.

O baixo teor de DBO detectado na amostra analisada contribuiu para uma boa oxigenação da água, uma vez que, altas concentrações de matéria orgânica levam a um consumo maior de oxigênio dissolvido da água pelas bactérias aeróbias no processo de oxidação da matéria orgânica.

A temperatura da água acusou um valor de 18,1°C e do ar de 25,0°C.

Em termos dos parâmetros microbiológicos, os *Enterococos faecium* e *faecalis* acusaram um valor de 1203,3 NMP.100 mL⁻¹ e a *E. Coli* acusou um valor de 12,1 NMP.100 mL⁻¹, sendo muito inferior ao LMP de 1000 NMP.100 mL⁻¹.

Quanto aos parâmetros extras avaliados na data 16/09/24 tem-se que:

O Índice de Qualidade da Água – IQA acusou na data 16/09/24 um valor de 85. De acordo com a tabela do IGAM este valor indica água de boa qualidade. Mesmo comportamento foi observado nos pontos localizados no ribeirão do Silva.

O potencial Redox acusou um valor de 253,7 mV indicando um meio oxidante. Mesmo comportamento foi observado nos pontos inseridos no ribeirão do Silva.

Quanto aos demais metais avaliados, incluindo os metais tóxicos (não essenciais), os metais alumínio solúvel, chumbo total, cromo total, níquel total, mercúrio total e zinco total e o metalóide arsênio total não foram detectados. Todos acusaram teores inferiores aos seus limites de quantificação. Mesma condição foi observada nos pontos inseridos no ribeirão do Silva.

O cádmio acusou um teor 0,001 mg.L⁻¹, sendo igual ao LMP de 0,001 mg.L⁻¹. Mesmo valor detectado nos pontos P1 e P2. Por ser um elemento traço o valor encontrado é muito próximo ao limite de quantificação do método de análise.

A empresa não utiliza nenhum reagente químico no beneficiamento do minério.

O cobre solúvel acusou um teor de 0,005 mg.L⁻¹, sendo inferior ao LMP de 0,009 mg.L⁻¹ e ao valor detectado no ponto P1. Mesmo valor foi detectado nos pontos P2 e P3.

A presença de cobre e cádmio na data 16/09/24 se deve provavelmente ao *background* do local, uma vez que a empresa não utiliza nenhum reagente químico no beneficiamento do minério.

O estudo dos nutrientes é importante na avaliação das tendências de eutrofização na área em estudo. De acordo com Esteves (1988) a eutrofização pode ser definida como: “(...) o aumento da concentração de nutrientes especialmente nitrogênio e fósforo, nos ecossistemas aquáticos, que têm como consequência o aumento de suas produtividades. (...)”.

Na maioria das águas continentais o fósforo é o principal fator limitante de sua produtividade. Além disso, tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial destes ecossistemas (ESTEVES, 1988).

No meio aquático, as diversas formas de nitrogênio podem ser de origem natural (proteínas, clorofila e outros compostos biológicos) e/ou de origem das atividades humanas e animais (despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes). Nos esgotos domésticos frescos, predominam o nitrogênio em forma de amônia e o orgânico.

O nitrogênio total não foi detectado, onde acusou um teor $<11,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Já o fósforo acusou um teor de $0,014 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo inferior ao LMP de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ para ambiente lótico e inferior aos valores detectados nos pontos P1 e P2.

De acordo com a literatura a presença de fósforo na água está relacionada a processos naturais (dissolução de rochas, carreamento do solo, decomposição de matéria orgânica, chuva) ou antropogênicos (lançamento de esgotos, detergentes, fertilizantes, excrementos de animais, despejos industriais, pesticidas). Em águas naturais não poluídas as concentrações de fósforo situam-se na faixa de $0,01$ a $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$.

Não foi observado no local processo de eutrofização, o que está de acordo com os resultados reduzidos de nitrogênio e fósforo.

Em termos de tensoativos o ABS acusou na data de coleta 16/09/24 um teor $<0,100 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo inferior ao LMP de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ e ao valor detectado no ponto P1 e igual ao valor detectado nos pontos P2 e P3.

Os fenóis acusaram um valor de $0,015 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo superior ao LMP de $0,003 \text{ mg.L}^{-1}$ e superior ao detectado no ponto P1.

Tabela 67 - Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do ponto **P14**.

HERCULANO MINERAÇÃO LTDA			P14 – CÓRREGO BUGRE, TRIBUTÁRIO DIRETO DO RIBEIRÃO ARÊDES			EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO				
Tipo de Ponto: Córrego			Tipo de Amostra: Água Superficial			Classe 2		Ano: 16/09/24		
Data	pH	Cor verdadeira (mg Pt.L ⁻¹)	Cond. Elétrica (µS.cm ⁻¹)	Ferro solúvel (mg.L ⁻¹)	Ferro total (mg.L ⁻¹)	Manganês solúvel (mg.L ⁻¹)	Manganês total (mg.L ⁻¹)	Turbidez (UNT)	OD (mg.L ⁻¹)	Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)
16/09/24	7,72	7,79	12,0	0,34	0,36	<0,05	<0,05	2,31	8,1	23
Limites	6 a 9	75	-	0,3	-	-	0,1	100	≥5	-
Mínimo	7,72	7,79	12,0	0,34	0,36	<0,05	<0,05	2,31	8,1	23
Média	7,72	7,79	12,0	0,34	0,36	<0,05	<0,05	2,31	8,1	23
Máximo	7,72	7,79	12,0	0,34	0,36	<0,05	<0,05	2,31	8,1	23
Responsáveis Técnicos: Laboratório: Visão Ambiental OBS: NA – Não foi exigido em condicionante.										

HERCULANO MINERAÇÃO LTDA			P14 – Córrego Bugre, Tributário Direto do Ribeirão Arêdes				Exploração e Beneficiamento de Minério de Ferro		
Tipo de Ponto: Córrego			Tipo de Amostra: Água Superficial				Classe 2	Ano: 16/09/24	
Data	Sólidos Dissolvidos (mg.L ⁻¹)	Sólidos suspensos (mg.L ⁻¹)	Óleos e graxas (mg.L ⁻¹)	DBO (mg.L ⁻¹)	Temperatura da água (°C)	Temperatura do ar (°C)	E. faecium, E. faecalis (NMP.100 mL ⁻¹)	E. coli (NMP.100 mL ⁻¹)	Eh (mV)
16/09/24	23	<20	<10,0	<2,0	18,1	25,0	1203,3	12,1	253,7
Límites	≤500	100	VA	5	-	-	-	1000	-
Mínimo	23	<20	<10,0	<2,0	18,1	25,0	1203,3	12,1	253,7
Média	23	<20	<10,0	<2,0	18,1	25,0	1203,3	12,1	253,7
Máximo	23	<20	<10,0	<2,0	18,1	25,0	1203,3	12,1	253,7
Responsáveis Técnicos: Rodrigo Antônio de Pontes – CRQ 02301056 2ª Região					Laboratório: Visão Ambiental				

HERCULANO MINERAÇÃO LTDA					P14 – CÓRREGO BUGRE, TRIBUTÁRIO DIRETO DO RIBEIRÃO ARÊDES							EXPLOTAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE MINÉRIO DE FERRO					
Tipo de Ponto: Córrego					Tipo de Amostra: Água Superficial						Classe 2		Ano: 16/09/24				
Data	Al (s) (mg.L ⁻¹)	As (t) (mg.L ⁻¹)	Cd (t) (mg.L ⁻¹)	Pb (t) (mg.L ⁻¹)	Cu (s) (mg.L ⁻¹)	Cr (t) (mg.L ⁻¹)	Ni (t) (mg.L ⁻¹)	Hg (t) (mg.L ⁻¹)	Zn (t) (mg.L ⁻¹)	P(t) (mg.L ⁻¹)	N (t) (mg.L ⁻¹)	ABS (mg.L ⁻¹)	Fenóis (mg.L ⁻¹)				
16/09/24	<0,100	<0,001	0,001	<0,010	0,005	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,014	<11,0	<0,100	0,015				
Límites	0,1	0,01	0,001	0,01	0,009	0,05	0,025	0,0002	0,18	0,1	-	0,5	0,003				
Mínimo	<0,100	<0,001	0,001	<0,010	0,005	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,014	<11,0	<0,100	0,015				
Média	<0,100	<0,001	0,001	<0,010	0,005	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,014	<11,0	<0,100	0,015				
Máximo	<0,100	<0,001	0,001	<0,010	0,005	<0,05	<0,02	<0,0002	<0,05	0,014	<11,0	<0,100	0,015				
Responsáveis Técnicos: Rodrigo Antônio de Pontes – CRQ 02301056 2ª Região Laboratório: Visão Ambiental																	

i) Considerações finais

As águas superficiais amostradas em cursos d'água localizados nas áreas de influência do Projeto Minerário da Herculano Mineração (Tanque Seco - ADA e Sapecado), acusaram valores para uma série de parâmetros físico-químicos e microbiológicos em conformidade com os limites máximos permitidos estabelecidos pela DN Conjunta COPAM / CERH 8/2022 e Resolução CONAMA 357/05 para águas de classe 2, exceto: ferro solúvel (P1, P2, P3 e P14), manganês total (P1, P2 e P3), cobre solúvel (P1), fenol (P1, P2, P3 e P14), pH (P2), turbidez (P3) e *E. coli* (P2).

Com base nos resultados obtidos para o Índice de Qualidade das Águas (IQA) na campanha de monitoramento realizada na data 16/09/24, verificou-se que as águas dos cursos hídricos avaliados (ribeirão do Silva e Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes) se mostraram em geral com boa qualidade, sendo corroborado pelos resultados dos vários parâmetros físico-químicos e microbiológicos que acusaram em sua maioria valores em conformidade com a DN Conjunta COPAM / CERH 8/2022 para águas classe 2.

O IQA variou de 78 (P1) a 86 (P3) no ribeirão do Silva e acusou um valor de 86 no ponto P14 localizado no Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes, indicando águas de boa qualidade, segundo a faixa estabelecida pelo IGAM.

O pH esteve dentro da faixa limite estabelecida pela DN Conjunta COPAM/CERH n.º 08/2022 em todos os pontos de coleta, com exceção da data 05/07/22 no ponto P2. O pH oscilou de ligeiramente ácido a alcalino.

Em termos de sólidos, todos os pontos de coleta acusaram teores bastante reduzidos, chegando a valores inferiores aos limites de quantificação dos métodos utilizados em alguns deles. Mesmo na estação chuvosa os valores foram bem reduzidos.

Como consequência dos teores reduzidos de sólidos suspensos a turbidez também foi reduzida em todos os pontos de coleta, com exceção da data 05/01/24 no ponto P3 localizado no ribeirão do Silva na estação chuvosa.

A condutividade elétrica da água apresentou valores bem reduzidos em todos os pontos de coleta, indicando a presença de poucos íons em solução,

ou seja, baixa mineralização. Estes resultados refletem os baixos índices de sólidos dissolvidos.

De acordo com a literatura, a condutividade para as águas naturais varia de 0,5 a 2,0 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ para água destilada, 10 a 100 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ para as águas naturais e acima de 1000 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ para águas poluídas.

Com base no que foi exposto acima e nos resultados obtidos para a condutividade, as águas amostradas são águas naturais.

A cor em todos os pontos de coleta esteve abaixo do limite máximo permitido.

Em termos de oxigênio dissolvido, um dos parâmetros mais importantes no estudo da qualidade das águas e que está relacionado à sobrevivência de organismos aeróbios, esteve acima do mínimo exigido em todos os pontos de coleta, indicando águas com boa a alta oxigenação.

As águas superficiais amostradas estavam livres de contaminantes como óleos e graxas e surfactantes aniônicos que acusaram valores inferiores aos seus limites máximos permitidos. Os fenóis acusaram inconformidades em todos os pontos de coleta.

A DBO que é um parâmetro usado para estimar a carga orgânica dos recursos hídricos e que representa a quantidade de oxigênio do meio que é consumido pelos peixes e outros organismos aeróbicos e gasta na oxidação de matéria orgânica presente na água, acusou em todos os pontos um valor inferior ao limite de quantificação do método de análise, sendo inferior ao LMP.

A temperatura que expressa a energia cinética das moléculas de um corpo, sendo seu gradiente o fenômeno responsável pela transferência de calor em um meio, acusou valores considerados normais em todos os pontos de coleta, indicando que nestes locais não há lançamento de despejos industriais, como por exemplo, águas de resfriamento de máquinas com temperaturas elevadas. As alterações nas temperaturas ocorreram da estação chuvosa para seca causada por fontes naturais, principalmente energia solar.

Quanto aos dois nutrientes avaliados, o nitrogênio total esteve ausente em todos os pontos de coleta. Já o fósforo total esteve presente em todos os pontos em concentrações inferiores ao LMP. Não foi observado em nenhum curso d'água estudado um processo de eutrofização.

Em termos dos metais ferro e manganês, tem-se que o ferro solúvel esteve presente em todos os pontos de coleta e em algumas datas acima do LMP. Já o manganês total foi detectado nos pontos P1 a P3 e em algumas datas acusou teores acima do LMP. O ponto P14 localizado no Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes, não acusou presença de manganês total e solúvel.

O potencial redox nos quatro pontos indicou uma condição de meio oxidante.

Já os metais traços Al, Pb, Cr, Ni, Hg e Zn e o metaloide arsênio acusaram teores inferiores aos seus limites de quantificação em todos os pontos de coleta.

Os elementos cádmio total e cobre solúvel estiveram presentes nos quatro pontos de coleta, sendo que o Cd esteve inferior ou igual ao LMP. O cobre acusou valores acima do LMP.

O ABS esteve abaixo do LMP em todos os pontos de coleta e os fenóis acima do LMP.

Em termos de qualidade sanitária das águas amostradas, foram detectados em todos os pontos de coleta coliformes totais, *E. coli* e *Enterococcus faecium* e *faecalis*, sendo que a *E. coli* acusou valores abaixo do LMP, com exceção do ponto P2.

A presença destas bactérias na água indica a possibilidade da presença de bactérias patogênicas que podem afetar a saúde humana e de animais, o que impossibilita um uso da água para consumo humano sem tratamento.

Cabe ressaltar que o monitoramento avaliado neste estudo tem como objetivo avaliar a qualidade das águas dos cursos hídricos nas áreas diretamente afetadas pelo futuro empreendimento antes do início de qualquer atividade ser iniciada, servindo como um *background*.

Quanto a presença de metais nas águas da região, parece ter relação com as características geoquímicas locais.

6.1.7.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DOS PONTOS DE COLETA DE ÁGUAS SUPERFICIAIS

a) Introdução

O objetivo deste item é apresentar um “retrato” da atual situação da qualidade dos sedimentos amostrados nos cursos d’água, que se encontram nas áreas que poderiam sofrer um impacto adverso em função da atividade minerária. Para isto, avaliou-se os sedimentos coletados nos córregos inseridos na área diretamente afetada na Mina Tanque Seco, onde se encontram os objetos do licenciamento, e a região do Retiro do Sapecado, integrantes do Projeto Minerário da Herculano.

Sedimentos são camadas de partículas minerais e orgânicas, frequentemente de granulometria fina, que cobrem o fundo dos rios, lagos, reservatórios, estuários e oceanos. Constituem amontoados de partículas heterogêneas, compreendendo diferentes materiais orgânicos tais como colóides, detritos, bactérias e algas e inorgânicos como óxidos, hidróxidos, silicatos, carbonatos, sulfetos e fosfatos. Nos sedimentos, a proporção dos minerais para matéria orgânica varia substancialmente em função do local.⁴⁷

Eles funcionam como um compartimento importante dos ecossistemas aquáticos e servem como habitat de muitas espécies de organismos.

Os sedimentos servem como área de habitação, reprodução e alimentação para os organismos aquáticos. Além disso, podem servir como reservatórios e fonte de vários contaminantes (orgânicos e inorgânicos) para a coluna d’água e organismos aquáticos. Conforme a figura a seguir esses contaminantes podem atingir toda a cadeia alimentar.¹

⁴⁷ Fonte: https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/13473909042012Quimica_Ambiental_Aula_7.pdf;

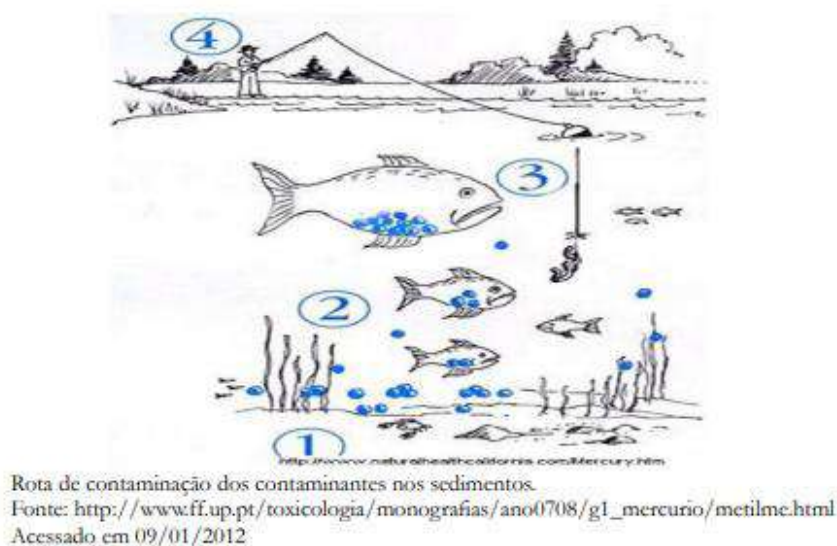


Figura 272 – Rota de contaminação dos contaminantes nos sedimentos.

Os sedimentos são de muita importância ambiental porque eles são o depósito de muitas substâncias químicas, especialmente metais pesados e compostos orgânicos tais como HPA e pesticidas, a partir dos quais eles podem ser transferidos para os organismos que habitam essa região. Portanto, a proteção da qualidade dos sedimentos é um dos componentes de todo gerenciamento de águas (BAIRD, C. e CANN, M., 2011)⁴⁸.

Sedimentos de rios e lagos funcionam como drenos de elementos-traço de diversas origens, refletindo a composição do solo das áreas em torno deles, bem como atividades antropogênicas. Assim, a concentração de elementos-traço em sedimentos constitui-se num indicador mais adequado para estimativas da contaminação das águas por esses elementos. Por esse motivo, para avaliar a extensão da contaminação com metais pesados em águas é essencial que amostras de sedimentos, sejam também analisadas, junto com a análise de água (ZULIANI ET AL., 2017).⁴⁹

A interface sedimento-água é a região do ecossistema aquático onde se observam as maiores intensidades dos processos de oxidação e redução de compostos como nitrogênio, manganês, ferro, enxofre e carbono. Nela, as alterações nos valores de concentração de oxigênio e potencial redox são mais

⁴⁸ Fonte: Química Ambiental, 4ª edição - BAIRD, Colin ; CANN, Mich.pdf

⁴⁹ Fonte: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/download/5451/pdf/16046>

frequentes e mais pronunciadas. Estas alterações, por sua vez, são fortemente influenciadas pelas concentrações de oxigênio na coluna d'água (ESTEVES, 1998).⁵⁰

Segundo ESTEVES (1998), o sedimento pode ser considerado como resultado da integração de todos os processos que ocorrem em um sistema aquático. Nele ocorrem processos biológicos, físicos e/ou químicos, que influenciam o metabolismo de todo o sistema. Além disso, é importante na avaliação da intensidade e formas de impactos a que os ecossistemas aquáticos estão ou estiveram submetidos.

Considerando os três compartimentos mais importantes no que diz respeito a metais pesados (epilímnio, plâncton total e sedimentos) observa-se que o sedimento é o principal reservatório destes elementos, seguido pelo plâncton total.

Uma grande proporção dos metais descarregados em sistemas aquáticos é basicamente incorporada aos sedimentos. Nos últimos anos, esse material tem sido muito utilizado para a avaliação da poluição por metais em águas naturais, uma vez que funciona como compartimento concentrador de poluentes (JORDÃO, 1983 apud OBERDÁ, 1996).⁵¹

A presença de diversos contaminantes nos sedimentos de ambientes aquáticos representa um potencial latente de degradação continuada desses ambientes, mesmo que a coluna de água e a própria biota não apresentem concentrações acima daquelas estabelecidas pelas legislações vigentes, referentes à qualidade de águas⁵².

A presença de metais em sedimentos é complexa pelo fato destes metais poderem existir de diversas formas, variando de acordo com a natureza das fontes que originou o sedimento, transporte e deposição no meio.

⁵⁰ Fonte: ESTEVES, F.A. Fundamentos de limnologia. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

⁵¹ Fonte: JORDÃO, C.P. Chemical availability of heavy metals in aquatic environment. Bristol, University of Bristol, 1983. 226p. 1976 apud OBERDÁ, S.M. Estudo de Metais Pesados Presentes na Bacia do Rio Piracicaba e Sugestão Biotecnológica de Descontaminação, 1996. 109p. (Tese M.S.).

⁵² Fonte:
https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/153/9c98f4c7470b552e0934627c92b9e603_865a130139be08a486e70cf a4865cd7a.pdf

Uma vez no sedimento, os metais podem retornar à coluna d'água através de processos de mudanças nas condições de pH, oxigênio dissolvido, potencial redox e aumento da concentração de ligantes orgânicos na fração dissolvida (Gomes, 2016 apud TAYAB, 1991)⁵³. Ao retornarem a coluna d'água, os metais podem ser absorvidos por organismos filtradores através da fração solúvel na água e pela retenção de partículas sólidas (GOMES, 2016 apud RAINBOW, 2002)⁵. A fração dissolvida pode ainda ser absorvida pelos produtores primários, que são fonte de alimento para uma variedade de herbívoros, além disto, ao morrerem estes organismos podem ser consumidos por organismos detritívoros, levando a incorporação desses metais à cadeia trófica (GOMES, 2016 apud MISHRA et al., 2008)⁵.

O sedimento diferente da água cujos dados analisados representam somente o momento da amostragem, uma vez que o ambiente é dinâmico, os dados obtidos por estudos de sedimentos são mais realistas, uma vez que os contaminantes estão muitas vezes retidos no compartimento, sofrendo menos variação ao longo do tempo em comparação com a água. O sedimento fornece um registro histórico do ecossistema aquático, podendo indicar eventos de poluição que ocorreram no passado.

Visando caracterizar quimicamente e a qualidade atual dos sedimentos nos córregos inseridos na área de influência da ampliação do empreendimento, determinou-se a concentração de alguns elementos, os quais foram reunidos em três grupos: elementos traços (Hg, Pb, Cd, As e Ni); macroelementos (Al, Si, K, Na, P, Ca, Ti e Fe) e microelementos (Mn, Cu, Zn, Co e Cr). Para isto, foi realizada uma campanha de amostragem na data 16/09/24.

Os óxidos foram realizados por Espectrometria de Emissão Óptica - ICP-OES e os metais foram realizados por Espectrometria de Massas com Fonte de Plasma de Acoplamento Indutivo - ICP-MS.

⁵³Fonte: <https://uenf.br/posgraduacao/ecologia-recursosnaturais/wp-content/uploads/sites/7/2013/10/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Mestrado-Let%C3%ADcia-de-Souza-Gomes.pdf>

b) Estações de Amostragem de Sedimento

Neste item serão apresentados os locais de coleta de sedimento nos cursos d'água que estão inseridos nas áreas do futuro empreendimento (Tanque Seco - ADA e Retiro do Sapecado).

As amostras de sedimento de fundo foram coletadas nos mesmos locais em que foram amostradas as águas superficiais na data 16/09/24. A tabela a seguir apresenta os pontos de coleta de sedimentos coletados às margens dos cursos d'água.

Tabela 70 – Pontos de coleta de sedimentos de fundo (UTM - SIRGAS 2000).

Nomenclatura	Descrição do Ponto	UTM-E	UTM-N
Tanque Seco			
P1	Vertedouro da barragem B3.	X=610985	Y= 7760395
P2	Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante do empreendimento.	X=610771	Y=7759676
P3	Ribeirão do Silva, a jusante do empreendimento.	X= 611109	Y=7758740
Retiro do Sapecado			
P14	Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes	X=615388	Y=7759346

A figura a seguir ilustra a localização dos pontos de coleta de sedimentos de fundo de águas superficiais.

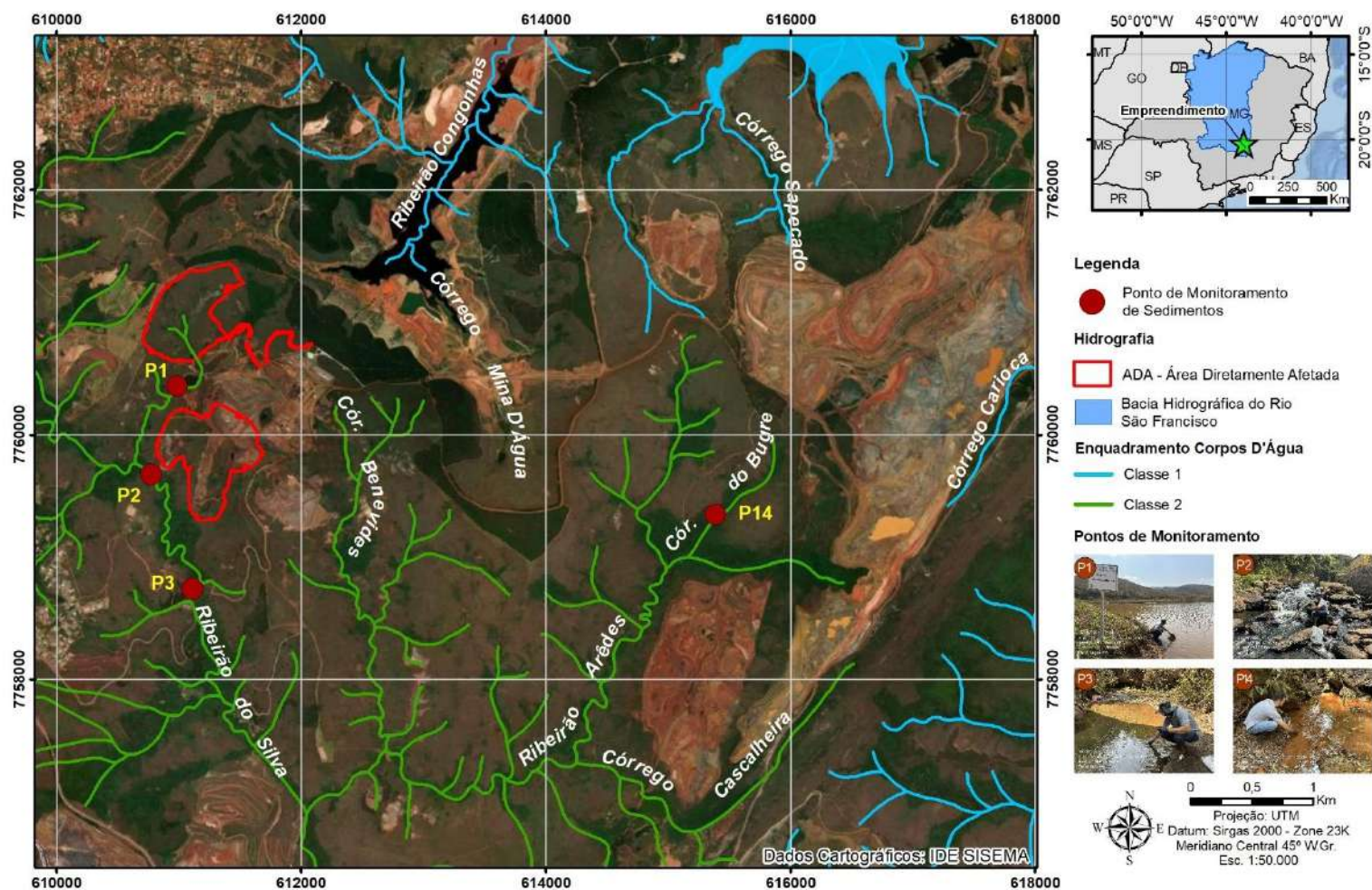


Figura 273 - Imagem satélite contendo os locais dos pontos de sedimento de fundo de águas superficiais.

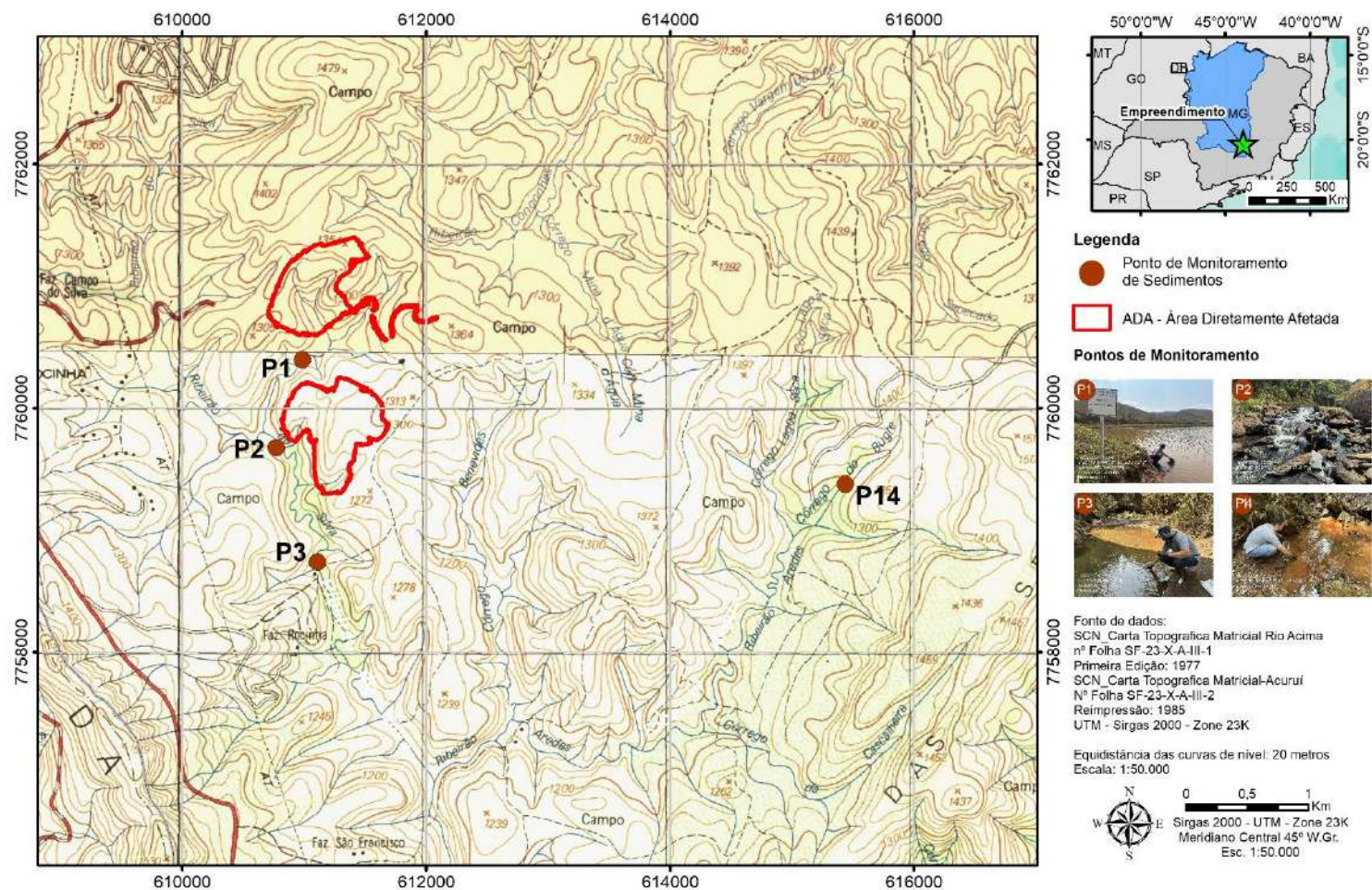


Figura 274 - Imagem IBGE contendo os locais dos pontos de sedimento de fundo de águas superficiais.

A seguir são apresentadas as estações de amostragem onde foram coletadas as amostras de sedimento.

- **P1 - Vertedouro da barragem B3. UTM: 610985; 7760395 (SIRGAS 2000 – FUSO 23 K);**

A bacia de contribuição deste ponto está quase que integralmente inserida no interior da mina, estando a jusante da área de beneficiamento de minério.

O ponto de coleta está localizado no vertedouro de segurança da barragem de acumulação de água designada **B3**, a qual se situa a jusante de todas as utilidades do empreendimento neste local, incluindo a instalação de tratamento de minério, barragem de rejeitos úmidos, oficina, cozinha/refeitório e alojamento e escritório. Este ponto também está a jusante da futura Pilha Norte e a montante da futura Pilha Sul e da Cava A que são objetos do presente estudo.

A foto a seguir ilustra o local de coleta de água no ponto **P1** e da coleta de sedimento na data 16/09/24.



Figura 275 - Local de coleta de água e sedimento no ponto P1.

- **P2 – Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante da mina. UTM: X = 610771; Y= 7759676 (SIRGAS 2000 – FUSO 23 K).**

A bacia de contribuição deste ponto está predominantemente inserida no interior da mina, incluindo áreas rurais extra empreendimento, estando à jusante da área de beneficiamento de minério, inclusive da barragem B3, bem

como de toda infraestrutura de apoio, incluindo escritório, oficina, alojamento, cozinha e restaurante. Pela sua posição, este ponto presta-se para avaliar a qualidade das águas superficiais logo após o empreendimento. Este ponto também estará a jusante da área de lavra (Cava A) e da futura Pilha Sul.

A foto a seguir ilustra o local de coleta de água no ponto **P2** e da coleta de sedimento na data 16/09/24.



Figura 276 - Local de coleta de água e de sedimento no ponto P2.

- **P3 – Ribeirão do Silva, a jusante do empreendimento. UTM: X = 611109; Y= 7758740 (SIRGAS 2000 – FUSO 23 K).**

A bacia de contribuição deste ponto é bem mais ampla do que a do ponto anterior, prestando-se para avaliar as condições do corpo receptor das águas provenientes do empreendimento, especificamente de suas áreas de apoio e da área de beneficiamento de minério de ferro, bem como eventuais interferências ocasionadas por este e pela futura área de lavra. Inclui grandes extensões de terrenos da bacia do ribeirão do Silva, de características essencialmente rurais, fora da mina.

Em relação à área diretamente afetada, este ponto está a jusante da futura Pilha Sul e da área da Cava A.

A figura a seguir ilustra o local de coleta do ponto **P3**.



Figura 277 - Local de coleta de sedimento no ponto P3.

- **P14 - Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes. UTM: X = 615388; Y= 7759346 (SIRGAS 2000 – FUSO 23 K).**

O ponto P14 está inserido no Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes.

A drenagem possui vertente escarpada com grande presença de sedimentos areno argilosos, e incide, também, a presença de matéria orgânica. A vegetação circundante é composta por mata ciliar fechada, com árvores de médio porte bem desenvolvidas.

Córrego com água cristalina, leito rochoso composto de matações de rochas. O leito medindo aproximadamente de 1 m a 1,5 m de largura, lâmina d'água variando de 5 a 10 cm.

No entorno do ponto de coleta há presença de rochas e vegetação. Neste ponto o ribeirão é raso e tem pouca velocidade.



Figura 278 - Local de coleta de sedimento no ponto P14.

c) Métodos de Amostragem e de Análise de Sedimento

Os métodos de amostragem e de análise neste item se referem à matriz sedimento.

Os trabalhos de coleta e análise foram desenvolvidos pelo laboratório VISÃO AMBIENTAL LTDA., tomando-se como referências de análises e amostragens as normas e métodos estabelecidos pelo “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, em sua 24ª edição de 2023.

As normas, cuidados e análises empregados na coleta se basearam também no NIT DICLA-057 - Critérios para acreditação da amostragem para ensaios de águas e matrizes ambientais e no DOC-CGCRE-091 - Orientação para amostragem de matrizes Ambientais.

➤ Método de Amostragem

Os sedimentos foram coletados diretamente nas margens dos córregos, nos mesmos locais de amostragem de água superficial, com auxílio de uma pá de aço inoxidável, acondicionados em sacos plásticos e em seguida identificados.

Da mesma forma que para a água, o sedimento foi coletado para a análise de uma série de elementos e compostos químicos e para análises qualitativa e quantitativa da comunidade bentônica.

O método utilizado para coleta das comunidades bentônicas foi o método de rede (Kick Net), tendo em vista os locais e tipos de substrato amostrados.



Figura 279 - Rede para coleta de sedimento para análise de comunidades bentônicas.

Empregou-se, como instrumento de coleta para as comunidades bentônicas, uma rede (tipo pulsar) adaptada a uma haste metálica de alumínio. O saco da rede possui 40 cm de comprimento e uma abertura triangular de 30 x 30 x 40 cm (aproximadamente 0,05 m²).

A malha da rede utilizada foi de aproximadamente 1 mm. A haste possui um cabo telescópico, cujo comprimento varia de 2 metros a 5 metros de comprimento.

As análises hidrobiológicas incluindo as comunidades bentônicas serão contemplados em outro item do presente estudo (no Volume 2 do EIA).

➤ **Metodologia de Análise**

As análises foram todas desenvolvidos pelo laboratório VISÃO AMBIENTAL LTDA, tomando-se como referências de análises os métodos estabelecidos pelo “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, em sua 24^a edição de 2023.

d) Legislação ambiental utilizada na avaliação da qualidade dos sedimentos de fundo de água doce

Diversos estudos foram desenvolvidos no sentido de mensurar os riscos que a concentração de um determinado elemento estocado em sedimento pode oferecer à biota aquática. Estes estudos visam estabelecer guias que norteassem a qualidade dos sedimentos, os chamados Valores Guias da Qualidade dos Sedimentos (VGQS) que têm sido largamente utilizados para avaliar o risco de contaminação de sedimentos (OLIVEIRA et al, 2018 apud Mac DONALD et al, 2000).

Um protocolo canadense estabeleceu dois critérios orientativos de qualidade de ecossistemas aquáticos a partir da quantificação das substâncias químicas em sedimentos de fundo. O primeiro para identificar concentrações abaixo das quais efeitos adversos à biota são improváveis, denominado de TEL (Threshold Effect Level) e o segundo para concentrações acima das quais efeitos adversos à biota são prováveis de ocorrer, denominado de PEL (Probable Effect Level). Esse protocolo gerou um guia de qualidade de sedimentos (SQG) como indicadores de qualidade e foi adotado no Brasil em 2004, para a avaliação de qualidade de sedimentos, quando o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) publicou a resolução CONAMA nº 344/2004, que estabeleceu as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras. Esta resolução foi revogada, sendo substituída pela Resolução CONAMA nº 454, de 01/11/2012, que estabelece diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas de jurisdição nacional.

Como no Brasil não há uma legislação específica para sedimentos de fundo, os resultados obtidos para sedimento nos quatro pontos de coleta avaliados foram comparados com os valores guias estipulados na Resolução CONAMA nº 454/2012. Os valores guias têm como referência publicações oficiais canadenses, norte-americanas e europeias, as quais encontram-se listadas nesta resolução.

A resolução prevê dois níveis de classificação do material a ser dragado em portos:

⇒ I - nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota;

⇒ II - nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

O enquadramento do material dragado em uma das classes obedecerá ao disposto nos valores orientadores da resolução.

Os resultados também foram comparados com os valores de prevenção (*Threshold Effects Level* – TEL) do *Screening Quick Reference Tables* da NOAA de 2008 (NOAA – SQRT).

A tabela a seguir apresenta os níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012 e os valores de prevenção (TEL) da NOAA – SQRT para inorgânicos em sólido.

Tabela 71 – Parâmetros Legais de Referência para Sedimentos de Água Doce.

Elementos Químicos	Unidade	Níveis de Classificação – Água Doce*		NOAA - SQRT 2008**
		Nível 1	Nível 2	TEL
Arsênio (As)	mg.kg ⁻¹	5,9	17	5,9
Cádmio (Cd)	mg.kg ⁻¹	0,6	3,5	0,59
Chumbo (Pb)	mg.kg ⁻¹	35	91,3	35
Cobre (Cu)	mg.kg ⁻¹	35,7	197	35,7
Cromo (Cr)	mg.kg ⁻¹	37,3	90	37,3
Ferro (Fe)	%	-	-	-
Manganês (Mn)	mg.kg ⁻¹	-	-	-
Mercúrio (Hg)	mg.kg ⁻¹	0,17	0,486	0,17
Níquel (Ni)	mg.kg ⁻¹	18	35,9	18
Zinco (Zn)	mg.kg ⁻¹	123	315	123

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota. **Valores de prevenção (*Threshold Effects Level* - TEL) do *Screening Quick Reference Tables* da NOAA de 2008.

A CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de Estado de São Paulo, também possui um guia com critérios para a avaliação da qualidade dos sedimentos. Os valores estabelecidos neste documento são baseados também naqueles adotados pelo Canadá, porém para o diagnóstico

químico foram estabelecidas cinco classes de qualidade de acordo com sua relação com TEL (Valores de prevenção) e PEL (concentração acima da qual frequentemente são esperados efeitos biológicos adversos).



Fonte: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>

Figura 280 - Classificação de contaminantes químicos em cinco faixas de qualidade e sua relação com os critérios TEL e PEL.

- ⇒ Qualidade ÓTIMA, para cada contaminante: concentração inferior a TEL.
- ⇒ Qualidade BOA, a faixa entre TEL, inclusive, e a concentração correspondente a 50% da distância entre TEL e PEL, somado a TEL.
- ⇒ Qualidade REGULAR, a faixa superior a 50% da distância entre TEL e PEL, somado a TEL e inferior a PEL.
- ⇒ Qualidade RUIM, a faixa entre PEL, inclusive, e a concentração correspondente a 1,5 x de seu próprio valor.
- ⇒ Qualidade PÉSSIMA acima de 1,5 x PEL.

A classe de cada substância química é detalhada na tabela a seguir:

Tabela 72 – Classificação de contaminantes em sedimento de água doce estabelecidos a partir de TEL e PEL.

QUALIDADE	ÓTIMA	BOA	REGULAR	RUIM	PÉSSIMA
As (µg/g) ¹	< 5,9	≥ 5,9 – 11,5	> 11,5 - < 17,0	17,0 – 25,5	> 25,5
Cd (µg/g) ¹	< 0,6	≥ 0,6 – 2,1	> 2,1 - < 3,5	3,5 – 5,3	> 5,3
Pb (µg/g) ¹	< 35,0	≥ 35,0 – 63,2	> 63,2 - < 91,3	91,3 – 137,0	> 137,0
Cu (µg/g) ¹	< 35,7	≥ 35,7 – 116,4	> 116,4 - < 197,0	197,0 – 295,5	> 295,5
Cr (µg/g) ¹	< 37,3	≥ 37,3 – 63,7	> 63,7 - < 90,0	90,0 – 135,0	> 135,0
Hg (µg/g) ¹	< 0,170	≥ 0,170 – 0,328	> 0,328 - < 0,486	0,486 – 0,729	> 0,729
Ni (µg/g) ²	< 18	≥ 18 – 27	> 27 - < 36	36 – 54	> 54
Zn (µg/g) ¹	< 123	≥ 123 – 219	> 219 - < 315	315 – 473	> 473

Fonte: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/06/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>

e) Discussão dos resultados dos parâmetros químicos avaliados nos pontos de coleta de sedimento

Os resultados referentes às concentrações de metais, matéria orgânica e valores de pH nas amostras de sedimentos coletadas nos pontos de coleta **P1** - Vertedouro da barragem B3, **P2** - Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante do empreendimento, **P3** - Ribeirão do Silva, a jusante do empreendimento e **P14** - Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes, são apresentados a seguir. Os resultados dos metais foram expressos em mg.kg⁻¹ de sedimento seco e em porcentagem no caso de alguns óxidos.

Os resultados e discussão são apresentados por parâmetro químico.

➤ Alumínio

O alumínio é o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre. A forte afinidade pelo oxigênio significa que o alumínio está comumente associado ao oxigênio na natureza sob a forma de óxidos. Ocorre naturalmente no ambiente como silicatos, óxidos e hidróxidos, combinado com outros elementos, como sódio e flúor, e como complexos com matéria orgânica.

É obtido industrialmente através da extração da bauxita, uma rocha sedimentar rica em minerais de alumínio.⁵⁴

O metal é utilizado na indústria automobilística, construção civil, aeroespacial, elétrica e eletrônica, na fabricação de ligas metálicas, utensílios domésticos e embalagens para alimentos. Os compostos de alumínio são usados como antiácidos, antiperspirantes e adstringentes. Os sais de alumínio são também muito empregados como coagulantes no tratamento da água para reduzir matéria orgânica, cor, turbidez e microrganismos.

Os resultados das análises de alumínio nos sedimentos coletados nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através na tabela e da figura logo a seguir.

O alumínio foi detectado nas amostras de sedimento nos quatro pontos analisados, sendo que o menor valor foi detectado no ponto **P1** – Vertedouro da Barragem **B3** (5040 mg.Kg⁻¹) e o maior no ponto **P14** – Córrego

⁵⁴ Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Alum%C3%ADnio>

Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes (13525 mg.Kg⁻¹), como pode ser verificado através da tabela a seguir. A Resolução CONAMA nº 454/2012 e TEL (NOAA SQRT 2008) não estabeleceram valores guias para o alumínio.

Tabela 73 – Resultados em mg.kg⁻¹ do alumínio nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
Al (mg.kg ⁻¹)	5040	8179	10981	13525	–	–	–

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

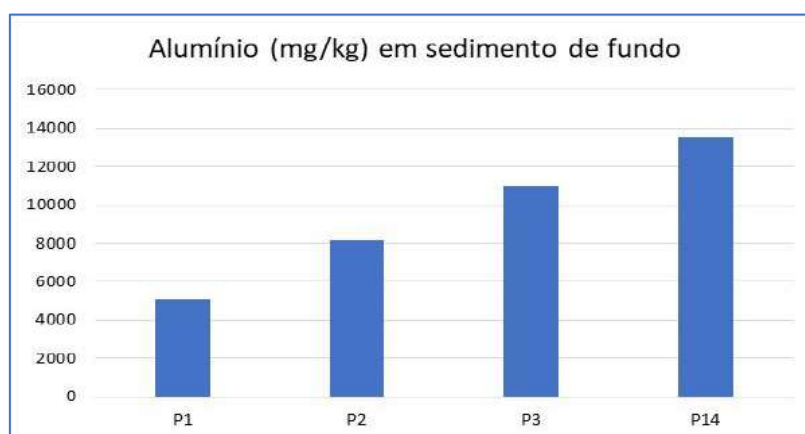


Figura 281 - Resultados de alumínio em mg.kg⁻¹ em sedimentos coletados em 16/09/24.

Apesar dos valores elevados de alumínio detectados nos sedimentos, na água ele acusou um teor inferior ao limite de quantificação do método de análise (<0,100 mg.L⁻¹) em todos os pontos de coleta, indicando que não está sendo mobilizado para a coluna d'água.

➤ **Arsênio (As)**

O arsênio (As) é um semi-metal de ocorrência natural em toda crosta terrestre e presente em mais de 200 minerais, sendo arsenopirita (FeAsS) o mineral mais comum. É obtido como subproduto do tratamento de minérios de cobre, chumbo, cobalto, ouro, níquel e zinco.

O metaloide arsênio é encontrado em ambiente natural nos estados de oxidação -3, +3 e +5. É um veneno bem conhecido e não é um elemento essencial para o corpo humano. Na água, esse metaloide é encontrado em dois estados de oxidação: +3 e +5. Ocorre raramente em estado nativo e tem como principais minerais a arsenopirita (FeAsS), loellingita (FeAs_2), ouro-pigmento (As_2S_3) e o realgar (As_4S_4).

Os resultados das análises de arsênio nos sedimentos coletados nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

Tabela 74 – Resultados em mg.kg^{-1} do metaloide arsênio nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg^{-1})		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
As (mg.kg^{-1})	11,0	7,60	14,0	13,0	5,9	17	5,9

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

Comparando-se os resultados obtidos nos quatro pontos de coleta com os valores guias estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/2012 e TEL (NOAA SQRT 2008), observa-se que o arsênio total foi detectado e esteve acima do valor do Nível 1 (limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota) da Resolução CONAMA 454/2012 e acima do valor de prevenção (TEL) em todos os pontos, sendo que o teor mais elevado ocorreu no **P3** (Ribeirão do Silva, a jusante do empreendimento), onde acusou um teor de $14,0 \text{ mg.kg}^{-1}$, sendo 2,4 vezes superior ao valor Nível 1 da resolução e do TEL. O menor valor foi detectado no ponto **P2** (Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante do empreendimento), quando acusou um teor de $7,60 \text{ mg.kg}^{-1}$. Os resultados oscilaram de $7,60$ a $14,0 \text{ mg.kg}^{-1}$. Todos os resultados foram inferiores ao valor de 17 mg.kg^{-1} , correspondente ao Nível 2 (limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota) da Resolução CONAMA 454/2012.

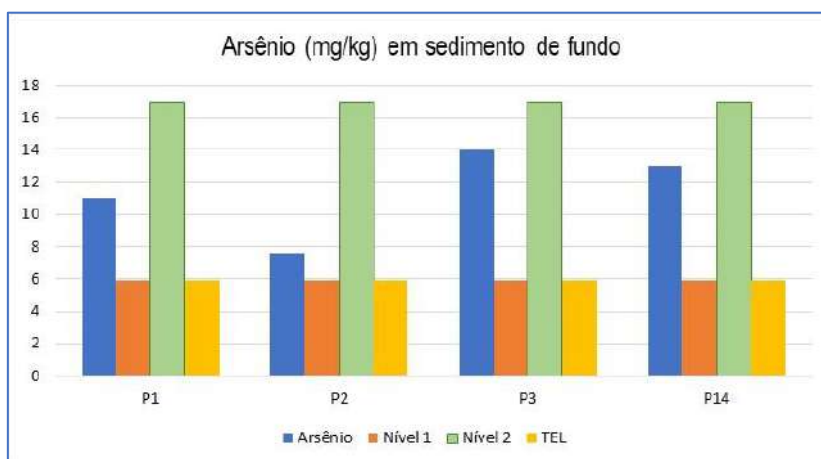


Figura 282 - Resultados de arsênio em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.

Comparando-se os resultados com a classificação de contaminantes estabelecidos pela CETESB para arsênio, tem-se que os pontos **P3** e **P14** são classificados como regulares e os pontos **P1** e **P2** como bons.

Os teores de arsênio acima dos valores guias presentes nos sedimentos não implicam, necessariamente, em sua disponibilização para o meio aquoso, mas pode ser uma das fontes desse elemento no curso d'água.

Comparando-se com os resultados de arsênio obtidos nas amostras de águas coletadas nos mesmos pontos dos sedimentos, verifica-se que foram bem inferiores ao LMP para águas classe 2, onde acusou um teor $<0,001 \text{ mg.L}^{-1}$ em todos os quatro pontos de coleta. Isto indica que o arsênio não está sendo mobilizado para a coluna d'água.

➤ **Bário (Ba)**

O bário é um metal alcalino-terroso que compõe 0,05% da crosta terrestre. Ocorre naturalmente em depósitos de minério e pode ser liberado no meio ambiente por processos tanto naturais quanto antropogênicos.

O bário nunca é encontrado isolado na natureza, já que em contato com o ar ele reage com o oxigênio, formando óxido de bário (BaO) e quando em contato com a água forma hidróxido de bário, Ba(OH)_2 . O bário é encontrado com mais frequência como o mineral barita (BaSO_4), ou sulfato de bário, e witherita (BaCO_3), carbonato de bário, e é produzido principalmente por meio da

eletrólise do cloreto de bário (BaCl_2) ou pelo aquecimento de óxido de bário com pó de alumínio.⁵⁵

Os resultados das análises de bário nos sedimentos coletados nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e da figura a seguir.

O bário foi detectado nas amostras de sedimento nos quatro pontos analisados, sendo que o menor valor foi detectado no ponto **P2** - Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante do empreendimento (65 mg.Kg^{-1}) e o maior no ponto **P1**- Vertedouro da barragem B3 (1196 mg.Kg^{-1}), como pode ser verificado através da tabela abaixo. A Resolução CONAMA nº 454/2012 e TEL (NOAA SQRT 2008) não estabeleceram valores guias para o bário.

Tabela 75 – Resultados em mg.kg^{-1} do bário nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg^{-1})		
Ba (mg.kg^{-1})	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
	1196	65	659	145	—	—	—

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

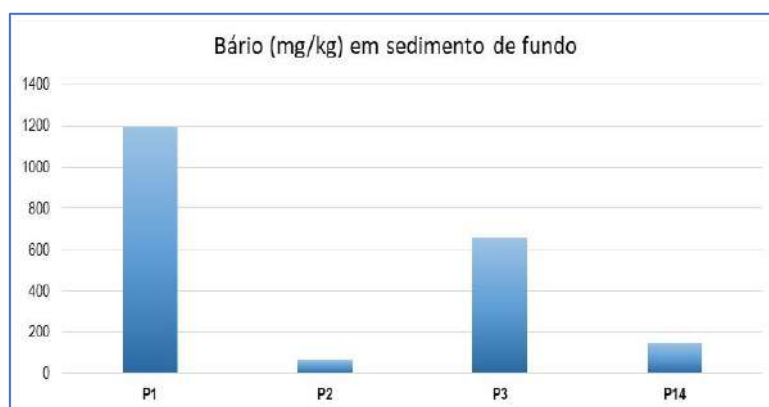


Figura 283 - Resultados de bário em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.

⁵⁵ Fonte: <https://crqsp.org.br/elementos-quimicos-barrio/>

➤ Berílio (Be)

A principal fonte de compostos de berílio na água parece ser a liberação da queima de carvão e do seu uso industrial. Outras fontes de berílio na água superficial é a deposição de berílio atmosférico e intemperismo de rochas e solos. É mais provável que o berílio esteja presente no sedimento ou adsorvido a matéria suspensa do corpo de água, do que estar presente na solução, uma vez que os sais solúveis de berílio sofrem hidrólise no sedimento em pH neutro.⁵⁶

Os resultados das análises de berílio nos sedimentos coletados nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

Como pode ser verificado pela tabela abaixo, o berílio acusou teores oscilando de inferior ao limite de quantificação do método de análise (<3,0 mg.Kg⁻¹) nos pontos **P1**, **P2** e **P14** a 0,4 mg.Kg⁻¹ no ponto **P3**. A Resolução CONAMA nº 454/2012 e TEL (NOAA SQRT 2008) não estabeleceram valores guias para o berílio.

Tabela 76 – Resultados em mg.kg⁻¹ do berílio nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
					Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL **
Be (mg.kg ⁻¹)	P1	P2	P3	P14			
	<0,3	<0,3	0,4	<0,3	—	—	—

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

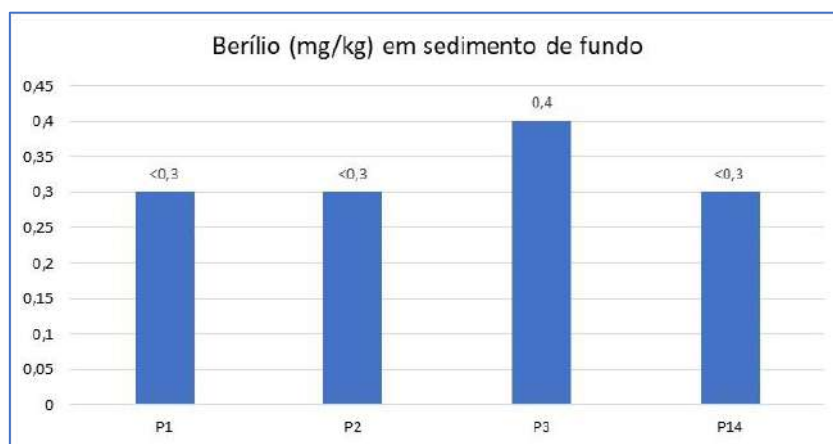


Figura 284 - Resultados de berílio em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.

➤ Cádmio (Cd)

O cádmio é um metal de transição, com coloração branco acinzentado, podendo se apresentar na cor prata esbranquiçado, azulado ou metálico lustroso. É um metal relativamente raro na crosta terrestre.

As fontes naturais de cádmio na atmosfera são a atividade vulcânica, a erosão de rochas sedimentares e fosfáticas e os incêndios florestais

É encontrado associado a outros metais, como zinco, cobre e chumbo; por isso, sua principal forma de obtenção se dá como subproduto da obtenção desses metais.

É aplicado na produção das baterias níquel-cádmio, na fabricação de pigmentos, em células fotovoltaicas, entre outros.

O cádmio adsorvido a argila ou material orgânico pode entrar na cadeia alimentar. O pH é fator determinante para a disponibilidade do metal em solos e sedimentos; quanto maior a acidez maior a disponibilidade.

O cádmio do ponto de vista biológico, não é nem essencial e nem benéfico. É considerado bioacumulativo, ou seja, tem a capacidade de se acumular ao longo da cadeia alimentar, como o chumbo e o mercúrio.

O Cd bioacumula em plantas aquáticas, invertebrados, peixes e mamíferos. Concentrações elevadas, de 2 a 30 mg/kg de cádmio por peso úmido, são encontradas em moluscos e crustáceos.⁵⁷

⁵⁷ Fonte: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cadmio.pdf>

Os resultados das análises de cádmio nos sedimentos coletados nos quatro pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

Como pode ser verificado na tabela, o metal pesado cádmio acusou um teor inferior ao limite de quantificação do método de análise ($<0,3 \text{ mg.Kg}^{-1}$) em todos os pontos de coleta, sendo inferior aos valores guias estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/2012 e TEL (NOAA SQRT 2008).

Em termos da classificação de contaminantes em sedimento de água doce estabelecida pela CETESB a partir do TEL e PEL, a qualidade do sedimento em termos do cádmio foi considerada como ótima, uma vez que acusaram teores $<0,6 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Os resultados obtidos para cádmio nas duas matrizes água e sedimento indicam que o sedimento não mobilizou cádmio para a coluna d'água, uma vez que não foi detectado neste compartimento. O valor detectado nas amostras de água ($0,001 \text{ mg.L}^{-1}$) foi igual ao limite máximo permitido, o qual é muito baixo e muito próximo ao limite de quantificação do método de análise.

Tabela 77 – Resultados em mg.kg^{-1} do cádmio nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg^{-1})		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	
Cd (mg.kg^{-1})	$<0,3$	$<0,3$	$<0,3$	$<0,3$	0,6	3,5	0,59

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

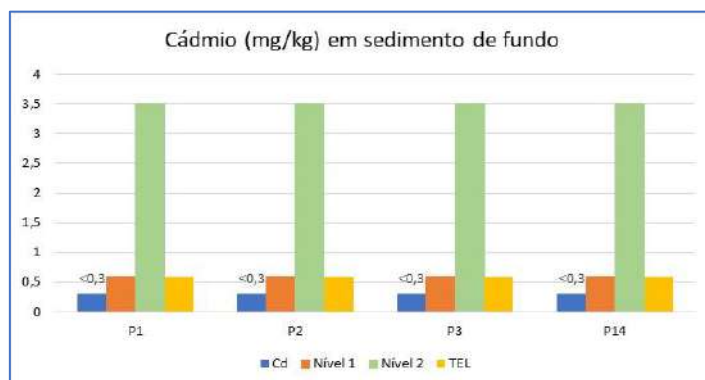


Figura 285 - Resultados de cádmio em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.

➤ Chumbo (Pb)

O chumbo não possui efeitos benéficos ou nutricionais desejáveis. Ele é um metal tóxico que tende a se acumular nos tecidos do homem e de outros animais produzindo uma toxicidade crônica ou aguda, podendo ser letal. Ele é altamente tóxico para peixes.

Como o cádmio e o mercúrio, o chumbo tem a propriedade de se acumular na cadeia alimentar (bioacumulativo).

Os resultados das análises de chumbo nos sedimentos coletados nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

Como pode ser verificado, o metal pesado chumbo acusou teores oscilando de 6,5 mg.kg⁻¹ (**P2** - Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante do empreendimento) a 13 mg.kg⁻¹ (**P1** - Vertedouro da barragem B3), sendo inferiores aos valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012 e TEL (NOAA SQRT 2008), os quais se encontram na tabela a seguir.

Tabela 78 – Resultados em mg.kg⁻¹ do chumbo nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
Pb (mg.kg ⁻¹)	13,0	6,5	12,0	9,2	35	91,3	35

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

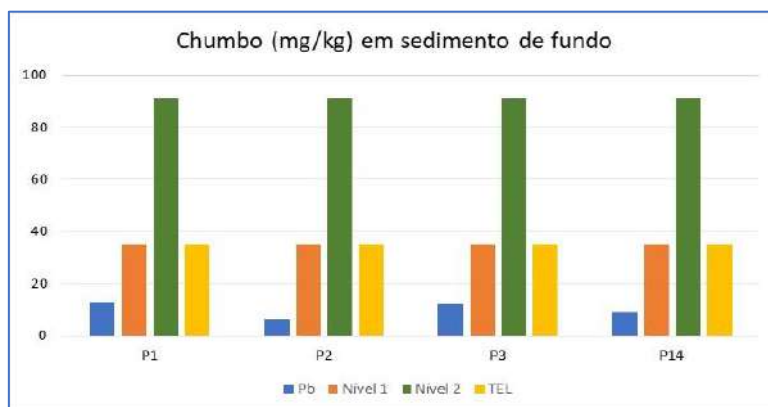


Figura 286 - Resultados de chumbo em mg.kg⁻¹ em sedimentos coletados em 16/09/24.

Em todos os pontos de coleta analisados, o chumbo esteve abaixo dos valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012 e TEL (NOA SQRT 2008), sugerindo que nesses pontos os sedimentos não estão contaminados por ele.

Apesar do chumbo ter sido detectado nos quatro pontos de coleta, em termos da classificação de contaminantes em sedimento de água doce estabelecida pela CETESB a partir do TEL e PEL, a qualidade do sedimento em termos do chumbo foi considerada como ótima, uma vez que acusaram teores $<35,0 \text{ mg.kg}^{-1}$.

O chumbo não foi detectado nas águas superficiais. Em todos os pontos de coleta de água o chumbo esteve inferior ao limite de quantificação do método de análise ($<0,010 \text{ mg.L}^{-1}$), mesmo tendo sido detectado nos sedimentos em concentrações inferiores aos valores de referência, sugerindo que o chumbo não está sendo mobilizado para a coluna d'água.

➤ **Cobalto (Co)**

O cobalto é um metal prateado brilhante que pertence ao grupo dos metais de transição, ele é um dos 3 elementos de transição ferromagnéticos, junto com o ferro e o níquel. É um metal muito duro e resistente, e seu ponto de fusão é altíssimo. Ele permanece magnético até mesmo quando submetido a altas temperaturas.⁵⁸

Este metal é extraído principalmente como subproduto da mineração de outros metais, especialmente do níquel e do cobre. A maior parte da produção mundial de cobalto provém de depósitos de minério de sulfeto de níquel-cobalto e de minério de cobre-cobalto.

É utilizado para a produção de superligas usadas em turbinas de gás de aviões, ligas resistentes a corrosão, aços rápidos, carbetos, ferramentas de diamante e baterias de íon lítio. O Co-60, radioisótopo é usado como fonte de radiação gama em radioterapia e esterilização de alimentos.⁵⁹

⁵⁸ Fonte: <https://crqsp.org.br/elemento-quimico-cobalto/>

⁵⁹ Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Cobalto>.

Os resultados das análises de cobalto nos sedimentos coletados nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

O cobalto acusou teores oscilando de 3,1 (**P2**) a 36 mg.Kg⁻¹ (**P3**). A Resolução CONAMA nº 454/2012 e TEL (NOAA SQRT 2008) não estabeleceram valores guias para o cobalto.

Tabela 79 – Resultados em mg.kg⁻¹ do cobalto nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
Co (mg.kg ⁻¹)	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL **
	8,9	3,1	36,0	5,6	–	–	–

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

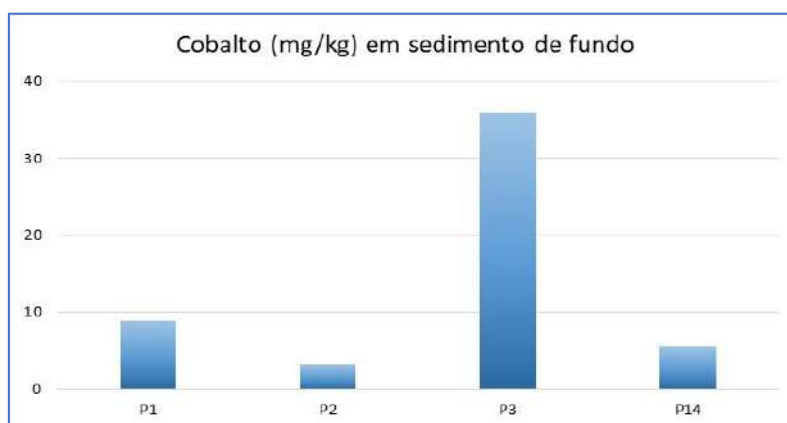


Figura 287 - Resultados de cobalto em mg.kg⁻¹ em sedimentos coletados em 16/09/24.

➤ Cobre (Cu)

Apresenta quatro estados de oxidação: metálico (Cu⁰); íon cuproso (Cu⁺); íon cúprico (Cu⁺²) e o íon trivalente (Cu⁺³). Assim como o Ni, Zn e Pb, possui forte afinidade com o enxofre, formando minerais sulfetados sob condições redutoras.

Algumas fontes antropogênicas de cobre para o meio ambiente incluem mineração, fundição, queima de carvão como fonte de energia, corrosão

de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir de usos agrícolas do cobre como fungicida e pesticida no tratamento de solos e efluentes, além de precipitação atmosférica de fontes industriais. Também pela excreção de animais.

Por se tratar de um metal de amplo emprego, é frequentemente encontrado nas águas receptoras de lixo e de esgotos domésticos e industriais.

O cobre é um elemento essencial aos organismos vivos em pequenas quantidades⁶⁰.

Os resultados das análises de cobre nos sedimentos coletados nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura logo a seguir.

Como pode ser verificado através da tabela a seguir, o cobre acusou teores oscilando de 4,9 mg.Kg⁻¹ (**P2**) a 17,0 mg.Kg⁻¹ (**P3**). Os resultados encontrados para todos os pontos estiveram abaixo dos níveis limiares 1 e 2 da Resolução CONAMA nº 454/2012 e do Valor de Prevenção (TEL (NOAA SQRT 2008)).

Apesar do cobre ter sido detectado nos quatro pontos de coleta, em termos da classificação de contaminantes em sedimento de água doce estabelecida pela CETESB a partir do TEL e PEL, a qualidade do sedimento em termos deste elemento foi considerada como ótima, uma vez que acusaram teores <35,7 mg.kg⁻¹

Em termos de águas superficiais o cobre oscilou de 0,005 mg.L⁻¹ (**P14** - Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes) a 0,011 mg.L⁻¹ (**P1** – Vertedouro da Barragem **B3**).

Nos sistemas hídricos, o cobre apresenta forte interação com a matéria orgânica, o que reduz sensivelmente sua biodisponibilidade para os organismos aquáticos. O ponto **P1** acusou um teor de matéria orgânica no sedimento de 0,7%.

⁶⁰ **Fonte:** Cobre.pdf (cetesb.sp.gov.br)

Tabela 80 – Resultados em mg.kg⁻¹ do cobre nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
Cu (mg.kg ⁻¹)	7,6	4,9	17,0	6,9	35,7	197	35,7

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

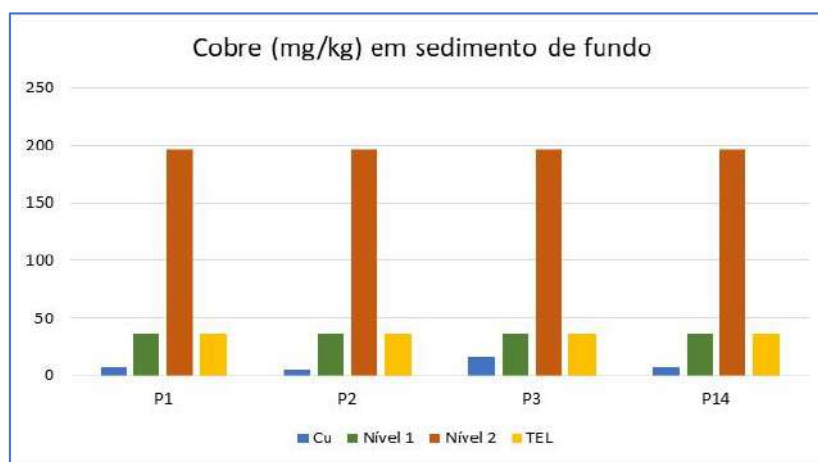


Figura 288 - Resultados de cobre em mg.kg⁻¹ em sedimentos coletados em 16/09/24.

➤ Mercúrio total (Hg)

O mercúrio (do latim – *hydrargyrum*) é um metal de cor prateada, extremamente pesado, líquido à temperatura ambiente e sem odor. Raramente ocorre livre na natureza, é líquido em condições de temperatura ambiente. Seu principal mineral é o cinábrio (HgS). O mercúrio emite vapores perceptíveis mesmo a frio. Começa a evaporar em temperatura em torno de 40° C e o seu vapor não tem cor e nem cheiro.

A principal fonte natural de mercúrio é a própria massa terrestre e seu processo geotérmico. Encontra-se amplamente distribuído no meio ambiente.

O mercúrio tem a propriedade também de bioacumulação e biomagnificação. A bioacumulação é o processo pelo qual os seres vivos absorvem e retêm substâncias químicas no seu organismo quando a taxa de ingestão é maior ou igual à taxa de eliminação. O grau de bioacumulação de um poluente é influenciado por uma série de fatores que dependem do ecossistema.

A biomagnificação é a propagação desse efeito resultante do acúmulo do contaminante nos tecidos dos organismos vivos, quando há a passagem por cada nível trófico da cadeia alimentar.

O mercúrio não é considerado essencial para os seres vivos.

Os resultados das análises de mercúrio nos sedimentos coletados nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

Como pode ser verificado através da tabela apresentada na sequência, o mercúrio total acusou um teor inferior ao limite de quantificação do método de análise ($<0,1 \text{ mg.Kg}^{-1}$) em todos os pontos de coleta analisados, sendo inferior aos níveis limiares 1 e 2 da Resolução CONAMA nº 454/2012 iguais a 0,17 e 0,486 mg.L^{-1} respectivamente e ao Valor de Prevenção (TEL (NOAA SQRT 2008)) igual a 0,17 mg.L^{-1} .

Em termos da classificação de contaminantes em sedimento de água doce estabelecida pela CETESB a partir do TEL e PEL, a qualidade do sedimento em termos deste elemento foi considerada como ótima, uma vez que acusaram teores $<0,17 \text{ mg.kg}^{-1}$

O mercúrio esteve abaixo do limite de quantificação do método de análise ($<0,0002 \text{ mg.L}^{-1}$) nas amostras de água coletadas nos mesmos pontos de sedimento.

Os resultados obtidos para mercúrio total nas águas superficiais e sedimentos sugerem que estes compartimentos não estão contaminados pelo metal pesado mercúrio.

Tabela 81 – Resultados em mg.kg^{-1} do mercúrio nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg^{-1})		
					Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
	P1	P2	P3	P14	Nível 1*	Nível 2*	TEL**
Hg (mg.kg^{-1})	$<0,1$	$<0,1$	$<0,1$	$<0,1$	0,17	0,486	0,17

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

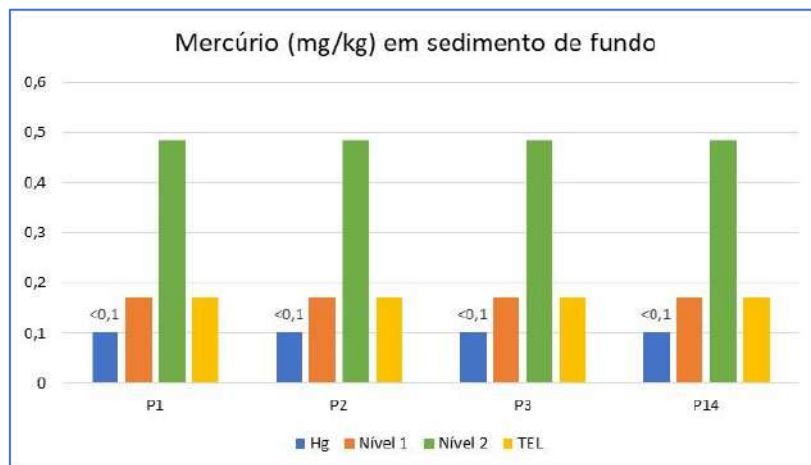


Figura 289 - Resultados de mercúrio em mg.kg⁻¹ em sedimentos coletados em 16/09/24.

➤ **Níquel total (Ni)**

O níquel ocorre naturalmente em vários tipos de rochas e pode entrar para o meio ambiente através dos mecanismos de degradação da rocha.

O níquel também é encontrado em fertilizantes.

A maioria dos compostos de níquel é relativamente solúvel em pH 6,5. Entretanto, o metal existe predominantemente na forma insolúvel, como hidróxido de níquel, em pH > 6,7.

Nos rios é transportado como partículas precipitadas com material orgânico; nos lagos, a forma iônica é predominante, associada com material orgânico (AZEVEDO & CHASIN, 2003).

O metal não é acumulado em quantidades significativas por organismos aquáticos.

Os resultados das análises de níquel nos sedimentos coletados nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

O níquel total acusou nas amostras de sedimento teores que oscilaram de 3,4 mg.Kg⁻¹ (**P2**) a 28,0 mg.Kg⁻¹ (**P3**). Os pontos **P1**, **P2** e **P14** acusaram teores inferiores aos valores guias estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/2012 e ao TEL (NOAA SQRT 2008). Já o ponto **P3** acusou um teor superior ao nível limiar 1 e ao valor de referência TEL e foi inferior ao Nível 2 que é a limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

O níquel apesar de ter sido detectado no compartimento sedimento, acusou um teor inferior ao limite de quantificação do método analítico utilizado ($<0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$) nos quatro pontos de coleta de águas superficiais, indicando que este metal não está sendo mobilizado para a coluna água.

Tabela 82 – Resultados em mg.kg^{-1} do níquel nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg^{-1})		
Ni (mg.kg^{-1})	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL **
					18	35,9	18

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

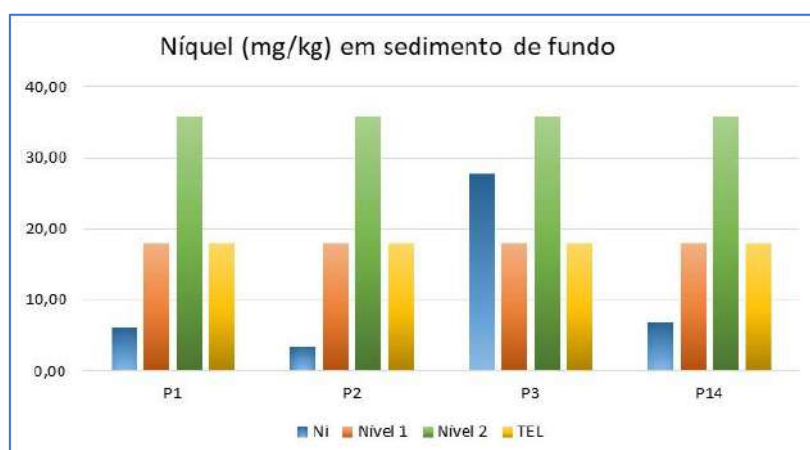


Figura 290 - Resultados de níquel em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/24.

Em termos da classificação de contaminantes em sedimento de água doce estabelecida pela CETESB a partir do TEL e PEL, a qualidade do sedimento em termos deste elemento foi considerada como ótima nos pontos **P1**, **P2** e **P14**, uma vez que acusaram teores $<0,18 \text{ mg.kg}^{-1}$ e regular no ponto **P2** ($>27,0 - <36,0 \text{ mg.kg}^{-1}$).

➤ Zinco total (Zn)

É um dos elementos mais encontrados na Terra. Pode ser encontrado no ar, no solo, na água e está naturalmente presente nos alimentos. O zinco se

distribui pelo ar, pela água e pelo solo como resultado de processos naturais e atividades humanas. Grande quantidade de zinco entra no ambiente como resultado das atividades antropogênicas, como mineração, purificação de zinco, chumbo, cádmio, produção de aço, queima de carvão e de lixo (AZEVEDO & CHASIN, 2003).

Embora o zinco seja um requisito essencial para uma boa saúde, o excesso dele pode ser prejudicial. Absorção excessiva de zinco suprime a absorção de cobre e de ferro. O zinco metálico não é considerado tóxico, porém alguns de seus compostos, como o óxido e o sulfeto, são nocivos.

Os resultados de zinco obtidos nas amostras de sedimentos coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

O zinco total acusou em todas as amostras de sedimento teores inferiores aos valores limiares e de prevenção e oscilou de 14,0 mg.Kg⁻¹ (P2) a 39 mg.Kg⁻¹ (P3).

Tabela 83 – Resultados em mg.kg⁻¹ de zinco nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
Zn (mg.kg ⁻¹)	25	14	39	24	123	315	123

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

Em termos da classificação de contaminantes em sedimento de água doce estabelecida pela CETESB a partir do TEL e PEL, a qualidade do sedimento em termos deste elemento foi considerada como ótima nos quatro pontos de coleta, uma vez que acusaram teores <0,123 mg.kg⁻¹.

O zinco apesar de ter sido detectado nas amostras de sedimento, não foi detectado nas amostras de águas superficiais. Em todos os pontos o zinco acusou um teor inferior ao limite de quantificação do método de análise (<0,05 mg.L⁻¹). Este resultado indica que o zinco presente nos sedimentos não está sendo mobilizado para a coluna d'água.

Alguns fatores como pH, potencial redox, salinidade, capacidade de troca de cátions, a concentração de zinco, vão influenciar na mobilidade relativa do zinco.

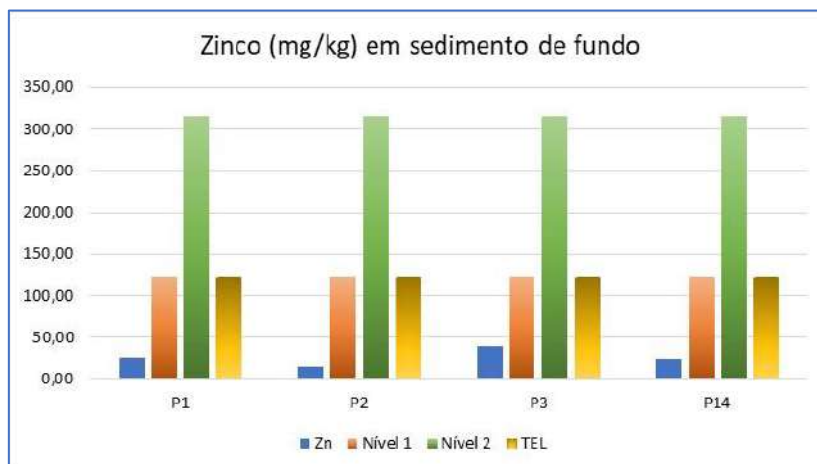


Figura 291 - Resultados de zinco em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/2024.

➤ Selênio (Se)

O selênio é um elemento amplamente distribuído na natureza e é encontrado no ambiente na forma de selenatos (Se^{6+}), selenitos (Se^{4+}) e selenetos (Se^{2+}) e raramente como elemento selênio (Se^0). O selênio em sua forma orgânica é encontrado em quantidades traços na maioria das plantas e tecidos animais

É um elemento essencial para a maioria das formas de vida.

Níveis elevados de selênio no ambiente podem ocorrer naturalmente do intemperismo de rochas e solos. O selênio também é liberado para o meio ambiente de atividades antropogênicas como mineração ou processos metalúrgicos, queima de carvão e de petróleo e processos de combustão em grande escala.⁶¹

Os resultados de selênio obtidos nas amostras de sedimentos coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

⁶¹ Fonte: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2021/05/Sele%CC%82nio.pdf>
598

O selênio total acusou em todas as amostras de sedimento teores oscilando de <2,50 (**P2**) a 7,60 mg.Kg⁻¹ (**P3**).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 e TEL (NOAA SQRT 2008) não estabeleceram valores guias para o selênio.

Tabela 84 – Resultados em mg.kg⁻¹ de selênio nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
Se (mg.kg ⁻¹)	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
					-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

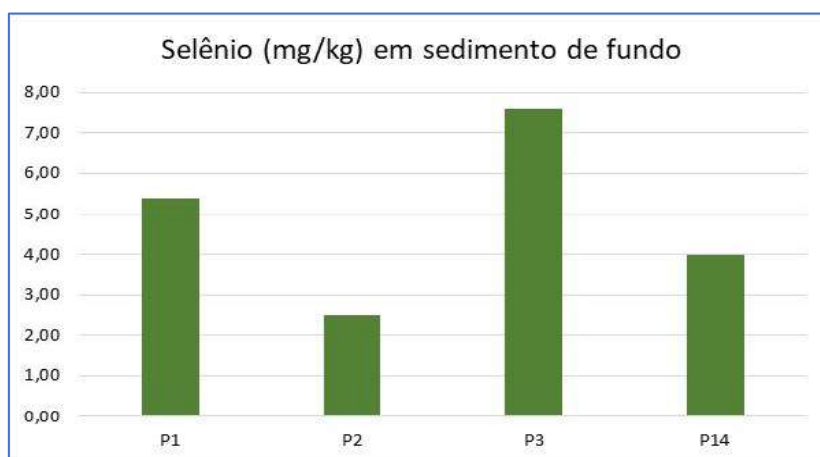


Figura 292 - Resultados de selênio em mg.kg⁻¹ em sedimentos coletados em 16/09/2024.

➤ Ferro (Fe)

O ferro é um metal de transição, brilhante, branco prateado, com propriedades magnéticas e que enferruja em contato com umidade. É o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre, depois do alumínio.

É um elemento muito frequente na crosta terrestre, por isso seus compostos são encontrados em todos os corpos d'água, mesmo que em concentrações muito reduzidas. É um micronutriente indispensável para o metabolismo dos seres vivos.

O ferro ocorre na natureza na forma elementar (Fe^0), mas a maior parte ocorre na forma combinada com o oxigênio, silício e enxofre. Quase todas as rochas e solos contêm ao menos traços de ferro.⁶²

O ferro é extraído da natureza na forma de minério, que é transformado em ferro-gusa e depois em lingotes.

Os resultados de ferro obtidos nas amostras de sedimentos coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

O ferro total acusou em todas as amostras de sedimento teores oscilando de 55.366,0 (**P2**) a 102.809,0 mg.Kg^{-1} (**P14**).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 e TEL (NOAA SQRT 2008) não estabeleceram valores guias para o ferro.

Tabela 85 – Resultados em mg.kg^{-1} de ferro nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg^{-1})		
Fe (mg.kg^{-1})	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL **
					-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

Os elevados teores de ferro detectados em todas as amostras de sedimento estão relacionados à presença de hematita em todos os pontos de coleta.

⁶² Fonte: OLIVEIRA, B.R.DE. Avaliação dos Metais Ambientalmente Disponíveis Em Amostras de Sedimento de Pontos de Captação de Água Para Abastecimento Público de Palmas, TO. 2012. Dissertação de Mestrado.

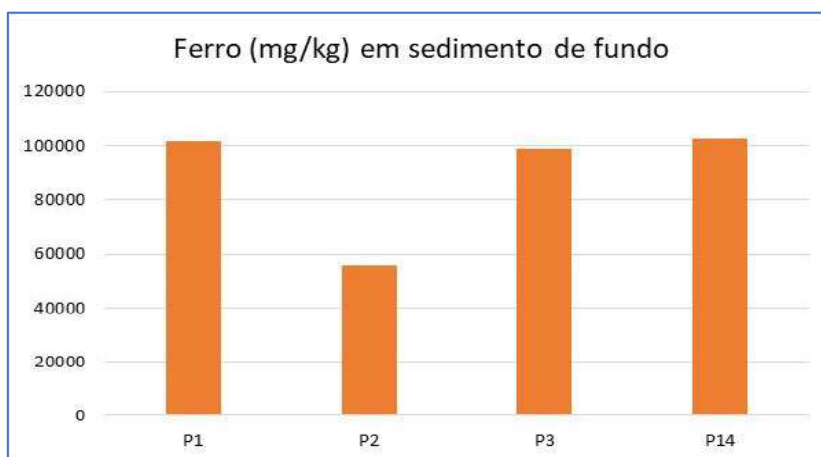


Figura 293 - Resultados de ferro em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/2024.

➤ Manganês (Mn)

O manganês (Mn) é um metal de transição. Metal branco cinzento distribuído em diversos ambientes geológicos, encontrando-se na forma de óxidos, hidróxidos, silicatos e carbonatos.

É um metal que está presente em quase todos os tipos de solos, ocorrendo naturalmente em águas superficiais e subterrâneas.

O Mn inorgânico (retirado de rochas) é usado na fabricação de ligas metálicas, especialmente aços, em pilhas, palitos de fósforo, vidros, fogos de artifício, na indústria química, de couro e têxtil, e como fertilizante.

Possui propriedades parecidas com o ferro, podendo sofrer processos corrosivos. Esse metal é abundante na natureza, podendo ser encontrado em muitos tipos de minerais, de onde pode ser extraído por processos de eletrólise ou reações exotérmicas de redução. Apenas um isótopo natural do manganês é conhecido.

Uma das características mais interessantes do manganês é a sua capacidade de assumir muitos estados de oxidação diferentes, proporcionando ampla diversidade de compostos químicos formados com outros elementos.

Os resultados de manganês obtidos nas amostras de sedimentos coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

O manganês total acusou em todas as amostras de sedimento teores oscilando de 2364 (**P2**) a 11472 mg.Kg^{-1} (**P1**).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 e TEL (NOAA SQRT 2008) não estabeleceram valores guias para o manganês total.

Tabela 86 – Resultados em mg.kg^{-1} de manganês nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg^{-1})		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
Mn (mg.kg^{-1})	11.472	2.364	16.624	4.904	-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

Os elevados teores de manganês detectados em todas as amostras de sedimento estão relacionados à presença de óxido de manganês em todos os pontos de coleta.

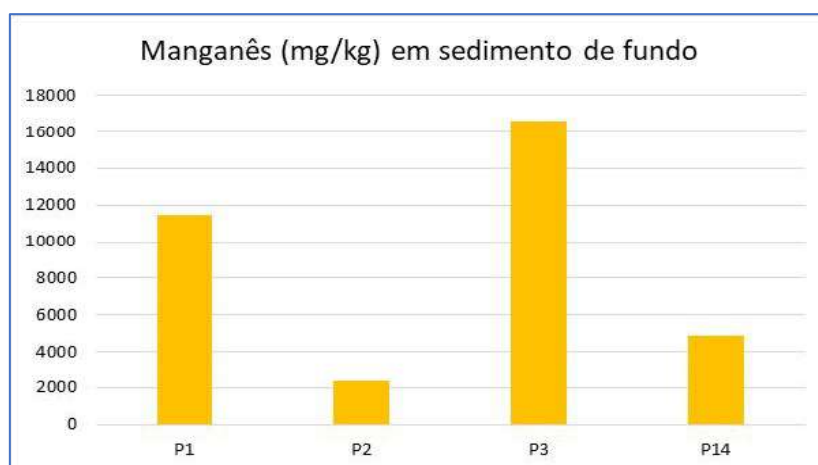


Figura 294 - Resultados de manganês em mg.kg^{-1} em sedimentos coletados em 16/09/2024.

➤ pH

Os resultados de pH medidos nas amostras de sedimento coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela da Figura a seguir.

O pH oscilou de 7,36 (P1) a 7,72 (P14) caracterizando os sedimentos como ligeiramente alcalinos.

Tabela 87 – Resultados de pH nas amostras de sedimentos nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
pH	7,36	7,56	7,59	7,72	-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Treshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

O pH ácido favorece a mobilização dos metais contidos no sedimento para a coluna d'água.

Com relação aos quatro pontos de coleta analisados, o pH esteve ligeiramente alcalino.

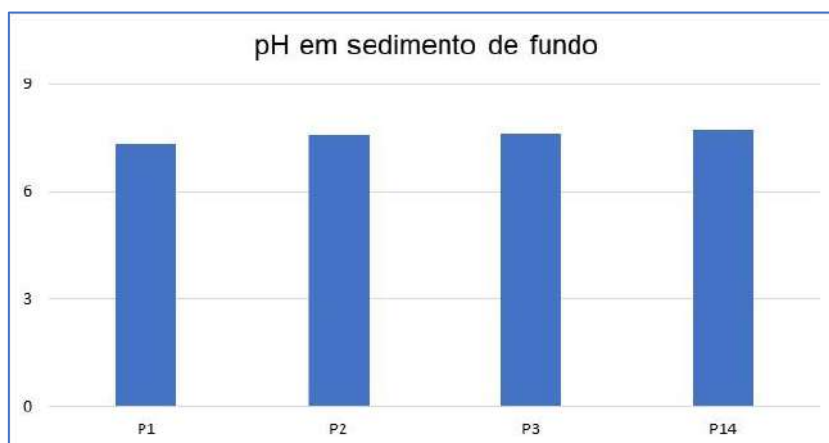


Figura 295 - Resultados de pH em sedimentos coletados em 16/09/24.

➤ Óxido de Alumínio (Al₂O₃)

Os resultados de óxido de alumínio detectados nas amostras de sedimento coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela da figura a seguir.

O alumínio na forma de óxido (Al₂O₃ - Alumina) foi detectado em todas as estações de amostragem, onde variou de 12800 (**P1**) a 38300 mg.kg⁻¹ (**P14**).

Tabela 88 – Resultados de óxido de alumínio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg^{-1})		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL **
Al_2O_3 (mg.kg^{-1})	12800	14700	28600	38300	-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

A Resolução CONAMA nº 454/2012 não estabeleceu valores limiares para o óxido de alumínio em sedimento.

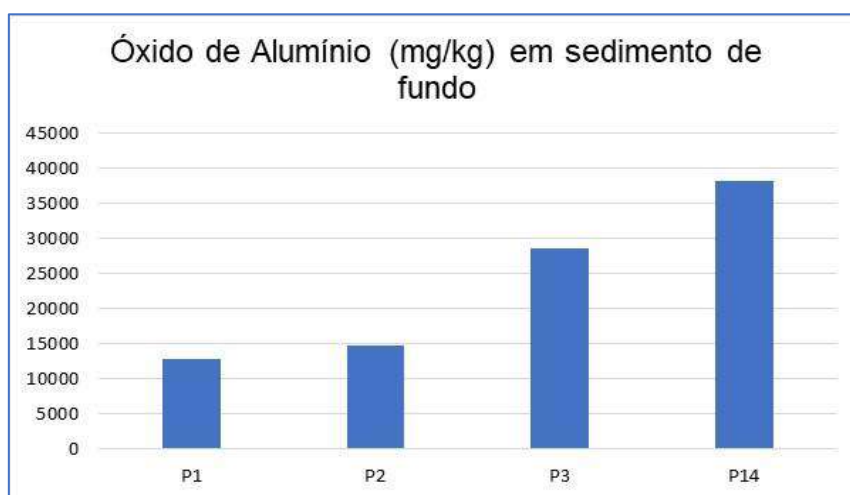


Figura 296 - Resultados de óxido de alumínio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados em 16/09/2024.

➤ Óxido de Cálcio (CaO)

Os resultados de óxido de cálcio detectados nas amostras de sedimento coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

O óxido de cálcio detectado nas amostras de sedimento dos cursos d'água avaliados no presente estudo acusou teores oscilando de 195 (**P14**) a 544 mg.kg^{-1} (**P2**).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 não estabeleceu valores limiares para o cálcio em sedimento.

Tabela 89 – Resultados de óxido de cálcio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg^{-1})		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
CaO (mg.kg^{-1})	311	195	403	544	-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

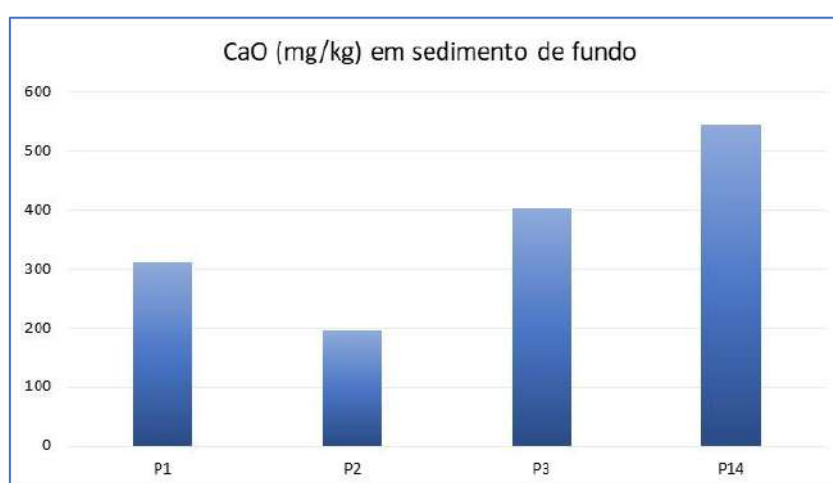


Figura 297 - Resultados de óxido de cálcio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados em 16/09/24.

➤ Óxido de Ferro (Fe_2O_3) – Hematita

Os resultados de óxido férrico detectados nas amostras de sedimento coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

O óxido férrico detectado nas amostras de sedimento dos cursos d'água avaliados no presente estudo acusou elevados teores oscilando de 359.000 (P14) a 484000% (P1).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 não estabeleceu valores limiares para o ferro em sedimento.

Tabela 90 – Resultados de óxido férrico (%) e (mg.kg⁻¹) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
Fe ₂ O ₃ (%)	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL **
	484000	396000	381000	359000	-	-	-
Fe ₂ O ₃ (mg.kg ⁻¹)	4,84 x10 ⁹	3,96 x10 ⁹	3,81x10 ⁹	3,59 x10 ⁹	-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

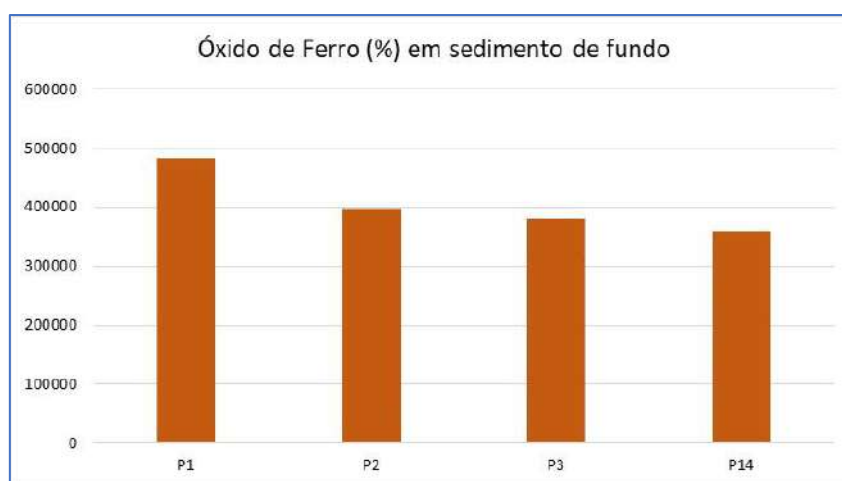


Figura 298 - Resultados de óxido férrico (%) em sedimentos coletados em 16/09/24.

➤ Óxido de Magnésio (MgO)

Os resultados de óxido de magnésio detectados nas amostras de sedimento coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

O óxido de magnésio detectado nas amostras de sedimento dos cursos d'água avaliados no presente estudo acusou teores oscilando de 207 (**P1** e **P2**) a 532 mg.kg⁻¹ (**P14**).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 não estabeleceu valores limiares para o magnésio em sedimento.

Tabela 91 – Resultados de óxido de magnésio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg^{-1})		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
MgO (mg.kg^{-1})	207	207	371	532	-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

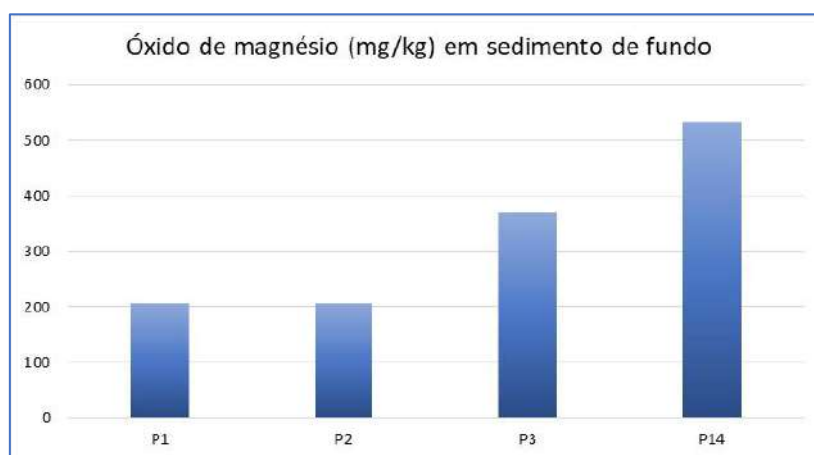


Figura 299 - Resultados de óxido de magnésio (mg.Kg^{-1}) em sedimentos coletados em 16/09/2024.

➤ Óxido de Manganês (MnO)

Os resultados de óxido de manganês detectados nas amostras de sedimento coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

O óxido de manganês detectado nas amostras de sedimento dos cursos d'água avaliados no presente estudo acusou teores oscilando de 1830 (**P2**) a 9790 mg.kg^{-1} (**P3**).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 não estabeleceu valores limiares para o manganês em sedimento.

Tabela 92 – Resultados de óxido de manganês (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg^{-1})		
MnO (mg.kg^{-1})	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
	6890	1830	9790	3900	-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

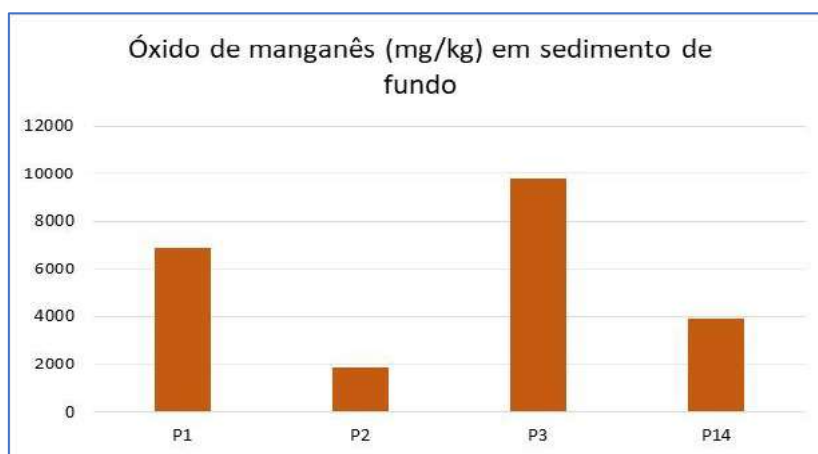


Figura 300 - Resultados de óxido de manganês (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados em 16/09/2024

➤ Óxido de Potássio (K_2O)

Os resultados de óxido de potássio detectados nas amostras de sedimento coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

O óxido de potássio detectado nas amostras de sedimento dos cursos d'água avaliados no presente estudo acusou teores oscilando de 158 (**P2**) a 623 mg.kg^{-1} (**P3**).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 não estabeleceu valores limiares para o potássio em sedimento de água doce.

Tabela 93 – Resultados de óxido de potássio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg^{-1})		
K_2O (mg.kg^{-1})	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
	333	158	623	383	-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

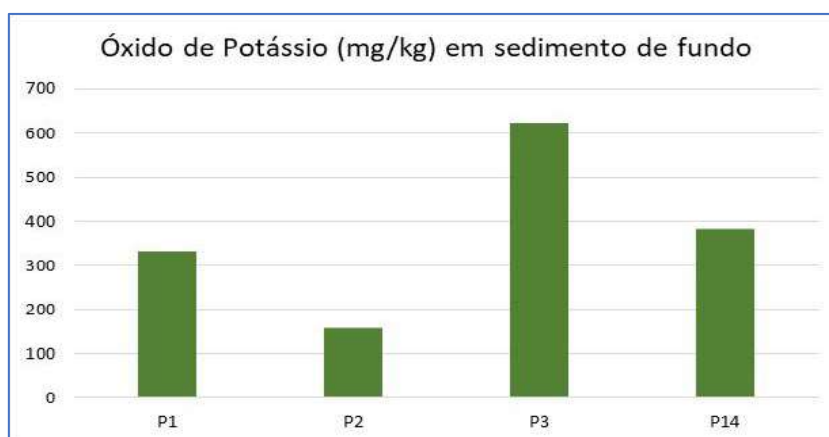


Figura 301 - Resultados de óxido de potássio (mg.kg^{-1}) em sedimentos coletados em 16/09/2024.

➤ Óxido de Sódio (Na_2O)

O composto Na_2O é conhecido como óxido de sódio em sua forma química. É uma substância sólida, de cor branca, que é altamente reativa devido à presença de átomos de sódio e oxigênio em sua estrutura.

O óxido de sódio possui propriedades químicas interessantes, sendo utilizado em diversas aplicações industriais, como na fabricação de vidro, detergentes e produtos químicos. Além disso, é importante ressaltar que o contato direto com o composto pode ser prejudicial à saúde, podendo causar irritação na pele e nos olhos⁶³.

Os resultados de óxido de sódio detectados nas amostras de sedimento coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

⁶³ Fonte: <https://maestrovirtuale.com/oxido-de-sodio-na2o-estrutura-formula-propriedades-iscos/>

O óxido de sódio oscilou de 132 (**P2**) a 418 mg.kg⁻¹ (**P3**).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 não estabeleceu valores limiares para o sódio em sedimento.

Tabela 94 – Resultados de óxido de sódio (mg.kg⁻¹) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
Na ₂ O (mg.kg ⁻¹)	279	132	418	180	-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

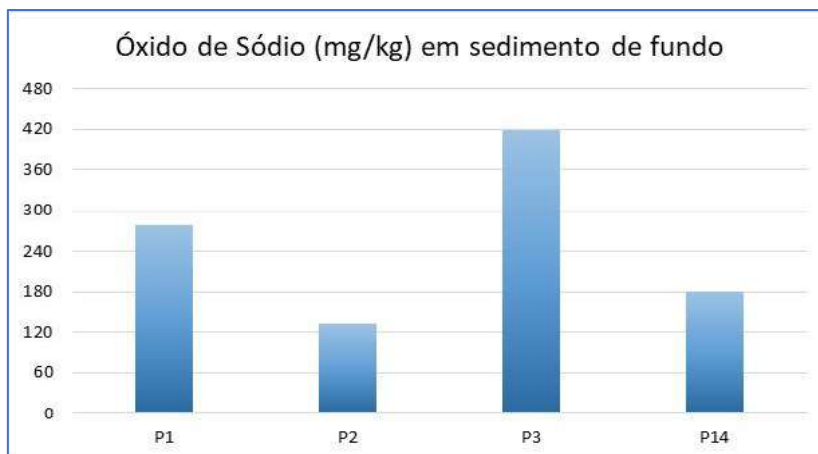


Figura 302 - Resultados de óxido de sódio (mg.kg⁻¹) em sedimentos coletados em 16/09/2024.

➤ Óxido de silício IV (SiO₂ – Sílica)

Dióxido de silício, também conhecido como sílica, é um óxido de silício com a fórmula química SiO₂, comumente encontrado na natureza como quartzo.

Sílica é um mineral natural, também conhecido como dióxido de silício, que está presente em vários componentes da natureza, como rochas, areia, quartzo, entre outros. É o segundo mineral mais abundante da crosta terrestre.⁶⁴

⁶⁴ Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_dioxide

A sílica é um material básico na indústria de vidro, cerâmicas e refratários, e é uma matéria importante prima na produção de silicatos solúveis, silício e seus compostos carbeto de silício e silicones. Pela sua abundância na crosta terrestre, a sílica é amplamente utilizada como constituinte de numerosos materiais⁶⁵.

Os resultados de dióxido de silício detectados nas amostras de sedimento coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

A sílica foi detectada em todos os pontos de coleta, onde oscilou de 1560 (**P1**) a 2230 mg.kg⁻¹ (**P14**).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 não estabeleceu valores limiares para o silício em sedimento.

Tabela 95 – Resultados de dióxido de silício (mg.kg⁻¹) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
SiO ₂ (mg.kg ⁻¹)	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
					-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

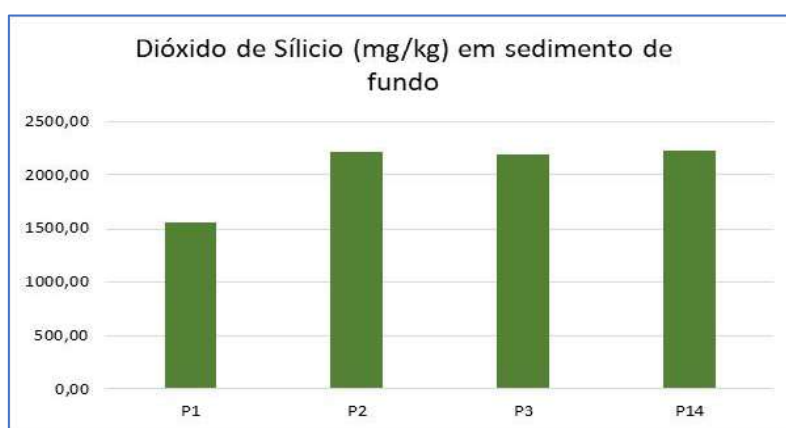


Figura 303 - Resultados de óxido de silício (mg.kg⁻¹) em sedimentos coletados em 16/09/2024.

➤ Dióxido de Titânio (TiO₂)

O dióxido de titânio (TiO₂) é um composto químico que ocorre na natureza e é encontrado em minerais como a ilmenita, que é um óxido de titânio e ferro. A ilmenita é um mineral economicamente importante, mas não é normalmente usada como minério de ferro, mas sim de titânio⁶⁶.

Os principais minerais acessórios da ilmenita são: zirconita, hematita, magnetita, rutilo, espinélio, albita, apatita, monazita, calcita, microclina, olivina, pirrotita, biotita e quartzo.

O titânio é o nono elemento mais abundante na crosta terrestre e é encontrado na natureza em moléculas químicas, geralmente com oxigênio e ferro.

Os resultados de dióxido de titânio detectados nas amostras de sedimento coletadas nos pontos de coleta na data 16/09/24 podem ser observados através da tabela e figura a seguir.

O dióxido de titânio foi detectado em todos os pontos de coleta, onde oscilou de 0,06 (P2) a 0,12% (P14).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 não estabeleceu valores limiares para o titânio em sedimento.

Tabela 96 – Resultados de dióxido de titânio (%) e (mg.kg⁻¹) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012	NOAA SQRT 2008	
TiO ₂ (%)					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
	0,07	0,06	0,11	0,12	-	-	-
TiO ₂ (mg.kg ⁻¹)	700	600	1100	1200	-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.



Figura 304 - Resultados de dióxido de titânio (%) em sedimentos coletados em 16/09/09/24.

➤ Pentóxido de Fósforo (P_2O_5)

O Óxido de Fósforo V é amplamente utilizado em diversas indústrias e laboratórios devido às suas propriedades únicas. Algumas das principais aplicações incluem: produção de catalisadores (utilizado em processos químicos); dessecantes (empregado na remoção de umidade); indústria de produtos químicos (utilizado em diversas reações de síntese química) e laboratórios de pesquisa (utilizado em experimentos científicos de alta precisão).

O fósforo na forma de óxido (P_2O_5) foi detectado em todos os pontos de coleta na data 16/09/24, como pode ser observado através da tabela e figura a seguir.

Os resultados do pentóxido de fósforo em todos os pontos de coleta oscilaram de 1310 (**P3**) a 1720% (**P14**).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 não estabeleceu valores limiares para o fósforo em sedimento.

Tabela 97 – Resultados de pentóxido de fósforo (%) e ($mg.kg^{-1}$) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais ($mg.kg^{-1}$)		
					Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
P_2O_5 (%)	P1	P2	P3	P14			
	1620	1340	1310	1720	-	-	-

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
P ₂ O ₅ (mg.kg ⁻¹)	1,62x10 ⁷	1,34x10 ⁷	1,31x10 ⁷	1,72x10 ⁷	-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

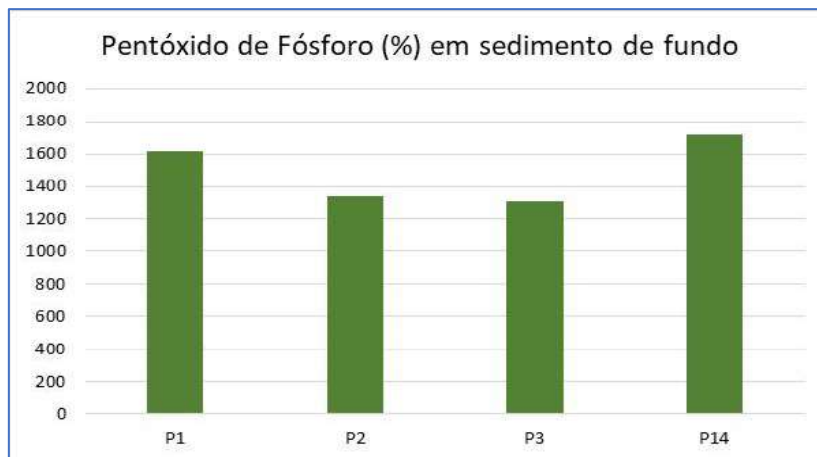


Figura 305 - Resultados de pentóxido de fósforo (%) em sedimentos coletados em 16/09/2024.

➤ **Matéria Orgânica**

O sedimento orgânico é aquele com elevado teor de matéria orgânica. Segundo UNGEMACH (1960) apud ESTEVES (1998)⁶⁷, para o sedimento ser considerado orgânico deve apresentar concentração de matéria orgânica superior a 10% do peso.

O sedimento mineral é caracterizado pelo baixo teor de matéria orgânica (menos de 10% do peso seco) e ocorre principalmente em ambientes aquáticos oligotróficos de regiões temperadas.

Os resultados da matéria orgânica em todos os pontos de coleta oscilaram de 0,7 (**P1**) a 1,20% (**P2**).

Os valores obtidos para a matéria orgânica em todos os pontos de coleta, mostram que os sedimentos analisados são de origem mineral, com pouco conteúdo de matéria orgânica, visto que todos apresentaram menos de 10% de matéria orgânica em peso.

⁶⁷ **Fonte:** ESTEVES, F.A. Fundamentos de limnologia. 3ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

²² **Fonte:** OLIVEIRA, B.R.DE. Avaliação dos Metais Ambientalmente Disponíveis Em Amostras de Sedimento de Pontos de Captação de Água Para Abastecimento Público de Palmas, TO. 2012. Dissertação de Mestrado.

O teor de matéria orgânica é um fator que pode promover a retenção dos metais. As partículas orgânicas podem mobilizar de 1 a 10% (peso seco) de Ag, Co, Cu, Fe, Pb, Mn, Mo, Ni, V e Zn, o que demonstra que os ácidos húmicos e fúlvicos, atuando como agentes complexantes, são grandes responsáveis pelo enriquecimento de metais em sedimentos.

Tabela 98 – Resultados de matéria orgânica (mg.Kg⁻¹) em sedimentos coletados nas estações de amostragem P1 a P3 e P14.

PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA				Limites Nacionais e internacionais (mg.kg ⁻¹)		
	P1	P2	P3	P14	Resolução CONAMA 454/2012		NOAA SQRT 2008
					Nível 1*	Nível 2*	TEL**
Matéria Orgânica (MO) (%)	0,7	1,20	1,00	1,10	-	-	-

* Níveis de classificação do material a ser dragado segundo a Resolução CONAMA 454/2012. Nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos a biota. Nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso a biota.

**Valores de prevenção (Threshold Effects Level - TEL) do Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008.

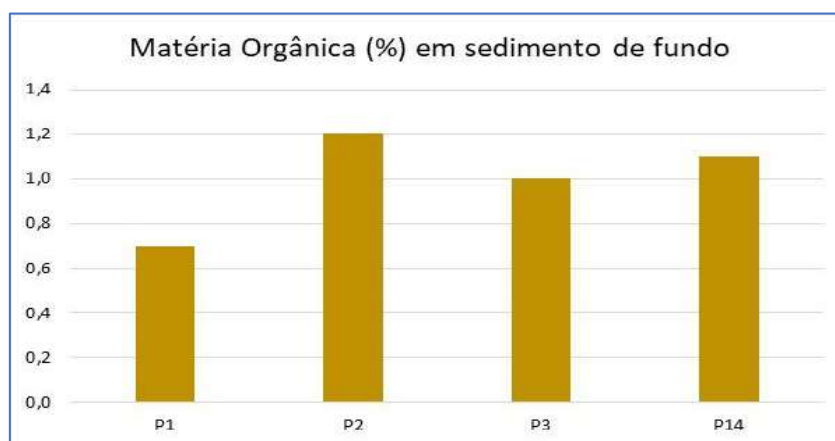


Figura 306 - Resultados de matéria orgânica (%) em sedimentos coletados em 16/09/2024.

f) Discussão geral

O presente estudo mostrou que de modo geral, na campanha realizada em setembro de 2024 os resultados para todos os elementos químicos nas amostras de sedimento que possuem valores limiares estabelecidos pela Resolução CONAMA 454/2012 e valores de prevenção da NOAA de 2008 (NOAA – SQRT), estiveram abaixo destes, com exceção de arsênio nos pontos **P1 a P3 e P14** e níquel nos pontos **P3 e P14**.

Todas as mostras de sedimento analisadas nos quatro pontos de coleta acusaram a presença dos metais avaliados, com exceção dos elementos cádmio, mercúrio e berílio que acusaram teores inferiores aos seus limites de quantificação nos quatro pontos de coleta, exceto o berílio no ponto **P3**.

Os elementos ferro, manganês e alumínio acusaram valores muito elevados, assim como seus óxidos.

A partir da análise e interpretação dos resultados obtidos para todos os parâmetros avaliados, observa-se que o ponto **P2** – Ribeirão do Silva, imediatamente a jusante do empreendimento foi o que acusou concentrações mais baixas para os parâmetros analisados e o **P3** – Ribeirão do Silva, a jusante do empreendimento o que acusou na sua maioria os valores mais altos.

Os elementos Al, As, Ba, Fe, Mn, Pb, Co, Cu, Cr, Ni, e Zn foram detectados em todos os pontos de coleta.

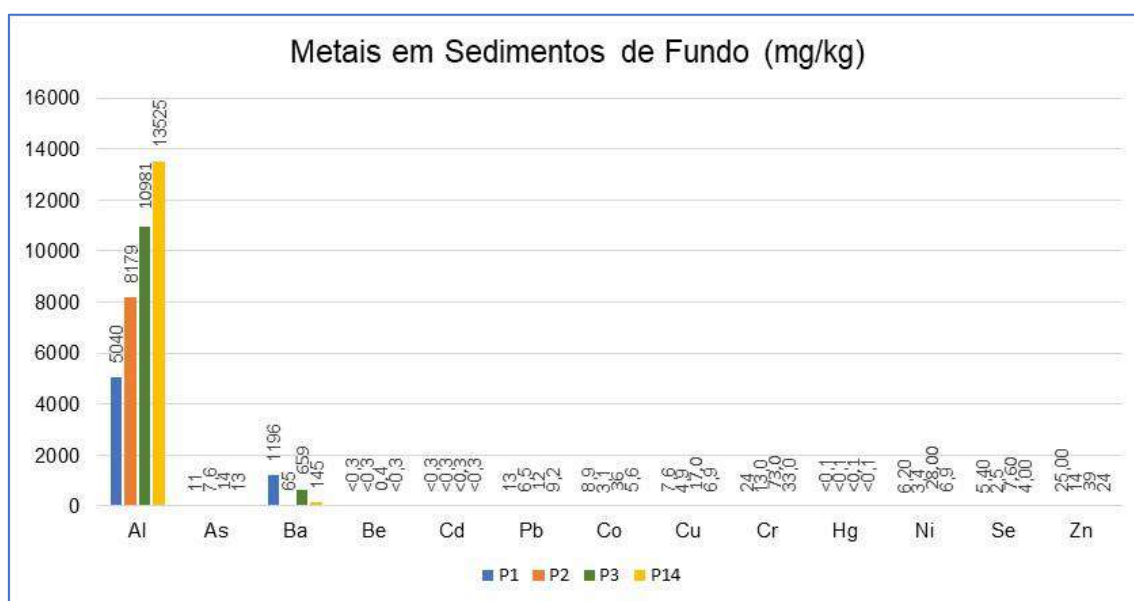


Figura 307 - Metais em sedimento de fundo de água doce (mg.kg^{-1}) em quatro pontos de coleta.

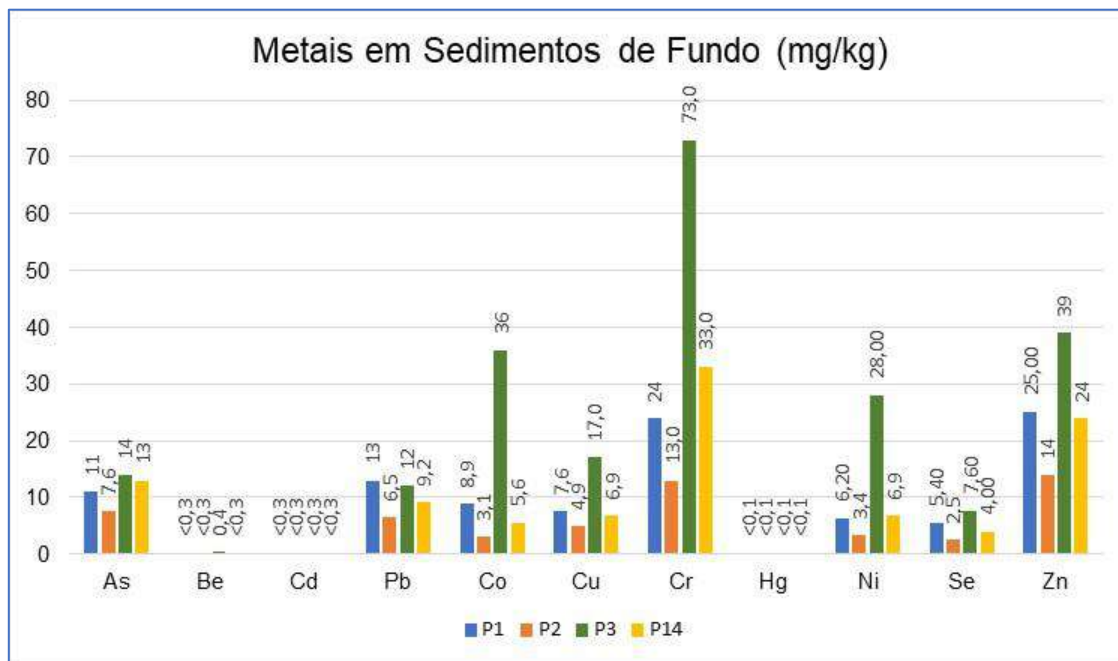


Figura 308 - Metais em sedimento de fundo de água doce (mg.kg^{-1}) em quatro pontos de coleta sem o bário e o alumínio.

Os elementos Be, Cd e Hg não foram quantificados em nenhum dos locais amostrados, visto que todos eles resultaram em concentrações abaixo dos limites de quantificação (LQ) dos métodos utilizados, com exceção do Be no ponto **P3**.

Os metais Pb, Cu e Zn, apesar de terem sido quantificados, apresentaram concentrações abaixo dos valores de prevenção (*Threshold Effects Level – TEL*) do *Screening Quick Reference Tables da NOAA de 2008* (NOAA – SQRT) e dos níveis 1 (limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota) e 2 (limiar acima do qual é provável a ocorrência de efeitos adversos à biota) da Resolução CONAMA 454/2012 em todos os pontos de coleta.

Os teores de alumínio, bário, ferro e manganês se destacam nos pontos **P1** a **P3** e **P14**, sendo que o alumínio, ferro e manganês em todos os pontos e bário nos pontos **P1** e **P3**, apresentaram valores mais elevados nos pontos avaliados.

Os elementos Fe, Al, Ca, Mg, Mn, K, Na, Si, Ti e P na forma de óxidos estiveram presentes nos quatro pontos de coleta, sendo que o Al, Fe, Mn, Si, Ti e P foram os que apresentaram os maiores teores. Os elementos Ca, Mg, K e

Na foram os que apresentaram menores teores, sendo todos na mesma ordem de grandeza.

Para os elementos que possuem valores orientadores, a maior concentração de chumbo foi de 13 mg.kg^{-1} , enquanto o TEL é de 35 mg.kg^{-1} . O Nível 1 é de 35 mg.kg^{-1} e o Nível 2 de $91,3 \text{ mg.kg}^{-1}$. O Cobre teve como a maior concentração detectada 17 mg.kg^{-1} e o valor de seu TEL é de $35,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ (**P3**), o Nível 1 $35,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ e o Nível 2 197 mg.kg^{-1} . O zinco foi encontrado numa concentração mais alta no ponto **P3** (39 mg.kg^{-1}), enquanto seu TEL é de 123 mg.kg^{-1} , o Nível 1 de 123 mg.kg^{-1} e o Nível 2 de 315 mg.L^{-1} . Com os valores obtidos abaixo dos valores orientadores estabelecidos pelo NOAA SQRT 2008 (TEL) e Níveis 1 e 2 da Resolução CONAMA 454/12, pode-se considerar que tais sedimentos não causam efeitos adversos para a biota.

Outra comparação é utilizando os valores de concentração de cádmio, arsênio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco com os valores de concentração adotados pela CETESB para a classificação de contaminantes em sedimentos de água doce (Tabela 2). Por meio desta análise, observa-se que as concentrações de Cd, Pb, Cu, Hg e Zn foram inferiores ao valor orientador TEL em todos os pontos, indicando que os sedimentos coletados nos quatro pontos podem ser classificados como de qualidade ótima para todos contaminantes Cd, Pb, Cu e Hg.

Quanto ao arsênio e níquel tem-se que os sedimentos coletados nos quatro pontos podem ser classificados como de qualidade boa em relação ao arsênio nos pontos **P1** e **P2** e regular nos pontos **P3** e **P14**. Já o níquel os sedimentos coletados nos pontos **P1**, **P2** e **P14** podem ser classificados como de qualidade ótima e no ponto **P3** como regular.

Em termos de matéria orgânica, todos os pontos de coleta acusaram baixos teores, sendo $<10\%$, indicando que os sedimentos analisados são de origem mineral, com baixo teor de conteúdo de matéria orgânica.

O pH das amostras foi ligeiramente alcalino, o que contribui para a não solubilização dos metais.

Dentre os macro e microelementos nas formas de seus óxidos, todos foram detectados nos quatro pontos de coleta, sendo os que acusaram valores

mais elevados foram os óxidos de alumínio, ferro, manganês, silício, fósforo e titânio.

Dentre os óxidos analisados nos quatro pontos de coleta, cerca de 60% acusaram os menores teores no ponto **P2** (Ribeirão do Silva) (60%) e cerca de 60% acusaram os maiores teores no ponto **P14** (Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes).

O ferro na forma de óxido esteve mais elevado no ponto **P1** (484000%) e mais reduzido no ponto **P14** (359000%). Já o manganês acusou um valor mais elevado no ponto **P3** (9790 mg.kg⁻¹) e mais reduzido no ponto **P2** (1830 mg.kg⁻¹). Para estes elementos não há valores guias para se fazer um comparativo.

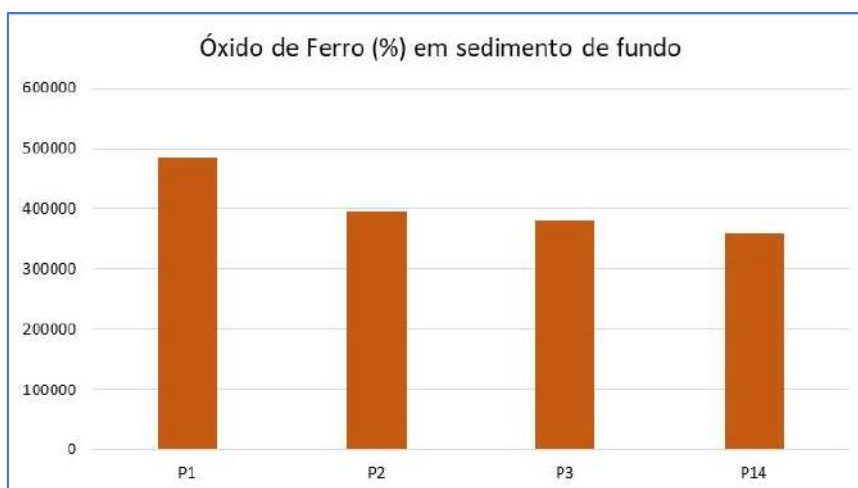


Figura 309 - Óxido de ferro (%) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta.

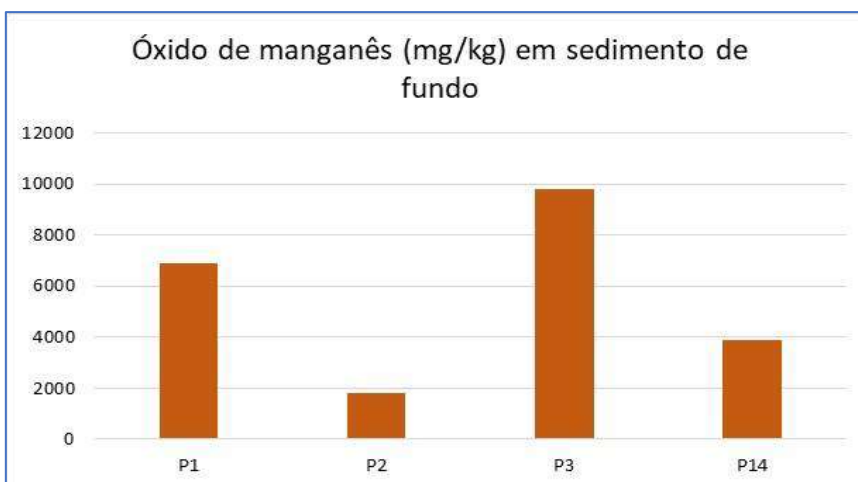


Figura 310 - Óxido de manganês (mg.kg⁻¹) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta.

Os óxidos de cálcio, magnésio, titânio e sódio acusaram valores mais baixos no ponto **P2** (Ribeirão do Silva). O titânio, magnésio e o cálcio estiveram mais elevados no ponto **P14** (Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes). O sódio e o potássio estiveram mais elevados no ponto **P3** (Ribeirão do Silva).

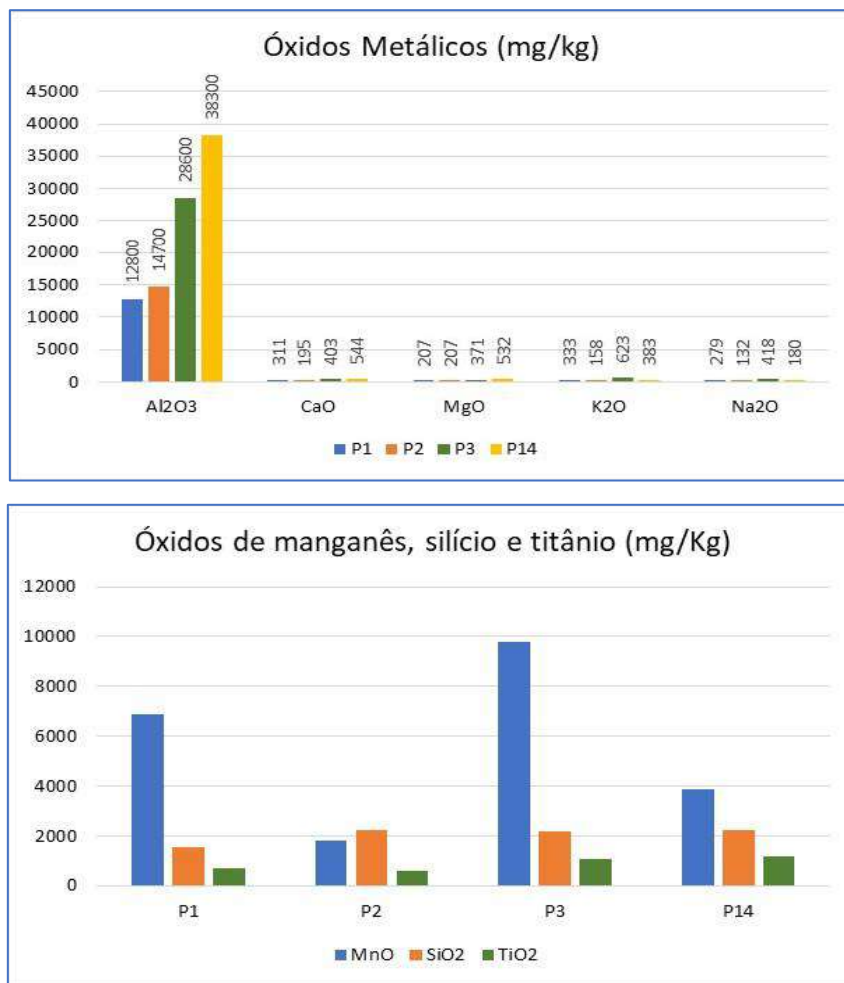


Figura 311 - Óxidos (mg.kg⁻¹) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta.

Os óxidos de ferro acusaram o maior valor no ponto **P1** (vertedouro da Barragem **B3**) e o menor no ponto **P14** (Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes). Já os óxidos de manganês apresentaram o menor teor no ponto **P2** (Ribeirão do Silva) e o maior no ponto **P3** (Ribeirão do Silva).

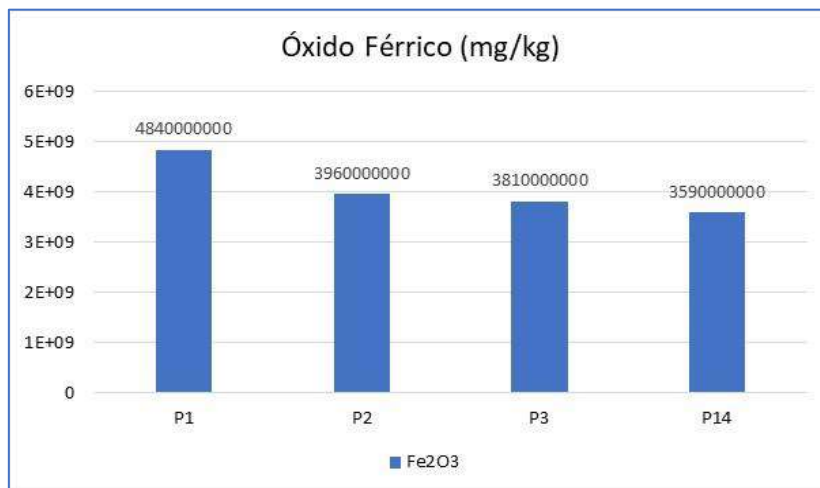


Figura 312 - Óxidos de ferro e manganês (mg.kg⁻¹) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta. Continua.

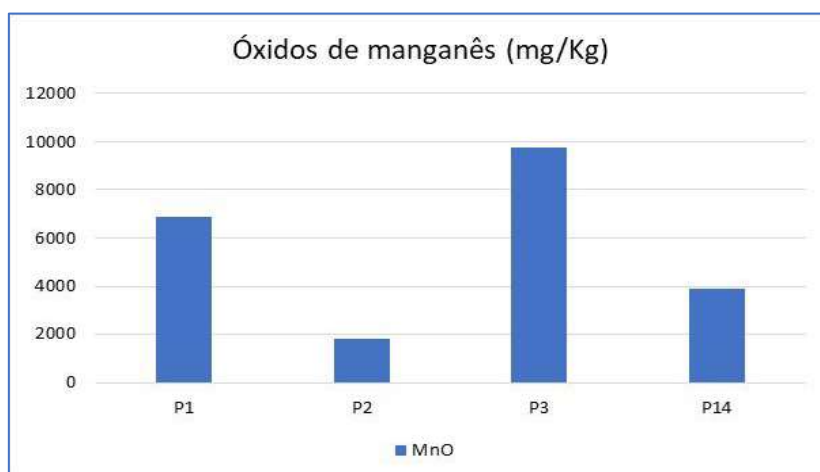


Figura 313 - Óxidos de ferro e manganês (mg.kg⁻¹) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta.

O óxido de fósforo acusou o maior teor no ponto **P14** (Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes) e o menor no ponto **P3** (Ribeirão do Silva).

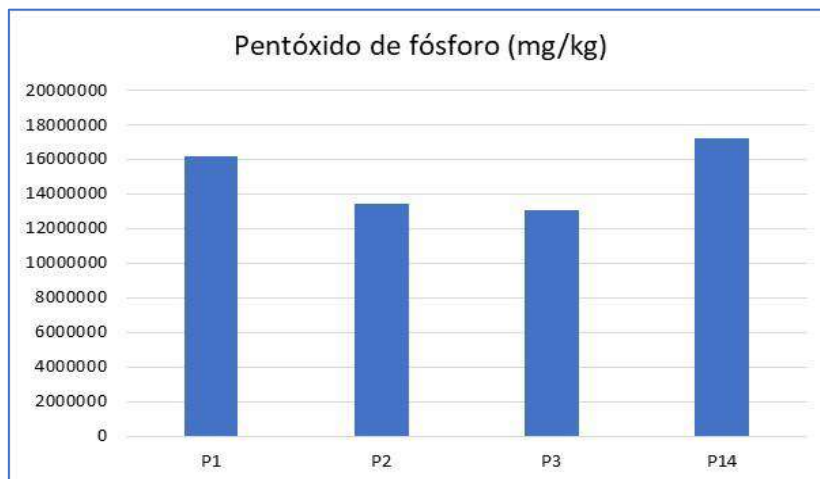


Figura 314 - Óxido de fósforo (mg.kg^{-1}) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta.

O óxido de silício acusou o menor teor no ponto **P1** (vertedouro da barragem B3) e o maior nos pontos **P14** (Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes). Já o óxido de potássio acusou o menor valor no ponto **P2** (Ribeirão do Silva) e maior no ponto **P3** (Ribeirão do Silva).

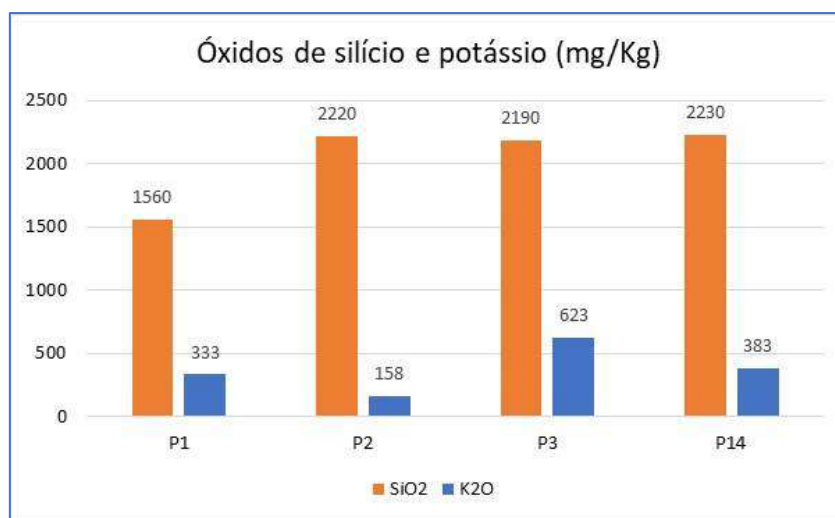


Figura 315 - Óxido de silício e potássio (mg.kg^{-1}) em sedimento de fundo de água doce nos quatro pontos de coleta.

g) Conclusão

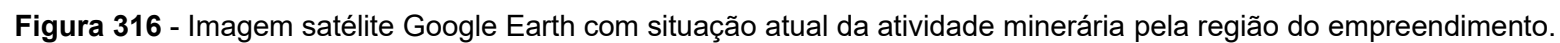
Comparando-se os resultados dos metais traços detectados nas águas superficiais avaliadas nos quatro pontos de coleta com os resultados obtidos em sedimento nos mesmos pontos, verifica-se que estes não foram detectados nas águas, sugerindo que os metais que foram detectados nos sedimentos não estão sendo mobilizados para a coluna d'água e que as águas não estão contaminadas por estes metais.

Os elementos que possuem valor orientador TEL (Threshold Effect Level), concentração na qual raramente são esperados efeitos adversos para os organismos, estabelecidos pelo NOAA de 2008, apresentaram concentrações abaixo do limite, mostrando que os sedimentos coletados nos quatro pontos raramente são causadores de efeitos adversos para os organismos. Somente o arsênio nos quatro pontos e o níquel no ponto **P3** acusaram valores acima do TEL.

Em termos da classificação de contaminantes em sedimentos estabelecidos pela CETESB, os sedimentos avaliados apresentaram qualidade ótima para os contaminantes analisados, com exceção do arsênio nos pontos **P3** e **P14** que foram regulares e o níquel que foi regular no ponto **P3**.

Com base no que foi exposto, até o presente momento os sedimentos não se encontram impactados de forma adversa.

Ressalta-se que o ponto localizado no Córrego Bugre, tributário direto do Ribeirão Arêdes (**P14**), na Mina do Sapecado, também recebe influência de outras mineradoras como pode ser observado através da figura abaixo.



Os resultados apresentados no presente estudo servem para avaliar a qualidade atual do compartimento sedimento, ou seja, um “retrato” da atual situação dele nos cursos d’água inseridos nas áreas diretamente afetadas pelo futuro empreendimento.