ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) - VOLUME II

Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I, Brumadinho/MG - Áreas de Estudo

29 de agosto de 2023

ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA) - VOLUME II

Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I, Brumadinho/MG - Áreas de Estudo

Vale

ago-23

Referências Cadastrais

Cliente:	Vale SA
Localização:	Brumadinho / MG
Título:	Estudo de Impacto Ambiental (EIA) - Diagnóstico do Meio Físico - Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I, Brumadinho/MG.
Contato:	Aidene Godinho - Gerente de Licenciamento da Reparação
E-mail:	central.ambiental.brumadinho@vale.com
Gerente:	Luanna Di Guimarães
Data do documento:	29 de agosto de 2023

Verificador/aprovador	Luanna Di Guimarães	Gerente Ambiental

Este documento é composto de 01 volume e está sendo entregue em 01 cópia digital.

Isenção de Responsabilidade:

Este documento é confidencial, destinando-se ao uso exclusivo do cliente, não podendo ser reproduzido por qualquer meio (impresso, eletrônico e afins) ainda que em parte, sem a prévia autorização escrita do cliente.

Este documento foi preparado pela Arcadis com observância das normas técnicas recomendáveis e em estrita obediência aos termos do pedido e contrato firmado com o cliente. Em razão disto, a Arcadis isenta-se de qualquer responsabilidade civil e criminal perante o cliente ou terceiros pela utilização deste documento, ainda que parcialmente, fora do escopo para o qual foi preparado.

Sumário

1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL 1

1.1 Meio Físico 1

1.1.1 Clima e Meteorologia 1

1.1.1.1 Metodologia 1

1.1.1.2 Classificação Climática e Dinâmica Atmosférica 4

1.1.1.3 Contextualização das Áreas de Estudos Regional e Local 6

1.1.1.4 Síntese conclusiva 19

1.1.2 Qualidade do Ar 20

1.1.2.1 Metodologia 20

1.1.2.2 Contextualização da Área de Estudo Regional e Local 24

1.1.3 Ruído Ambiental e Vibração 32

1.1.3.1 Metodologia 32

1.1.3.2 Ruído 38

1.1.3.3 Vibração 47

1.1.3.4 Síntese conclusiva 48

1.1.4 Geologia 49

1.1.4.1 Metodologia 49

1.1.4.2 Contextualização Geotectônica 50

1.1.4.3 Sucessão Litoestratigráfica 53

1.1.4.4 Contextualização da Área de Estudo Regional - AER 56

1.1.4.5 Contextualização da Área de Estudo Local - AEL 66

1.1.4.6 Síntese Conclusiva 67

1.1.5 Geomorfologia 68

1.1.5.1 Metodologia 68

1.1.5.2 Contextualização Geomorfológica 69

1.1.5.3 Contextualização da Área de Estudo Regional 70

1.1.5.4 Contextualização da Área de Estudo Local 80

1.1.5.5 Síntese Conclusiva 91

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.6 Pedologia e Aptidão Agrícola 92
1.1.6.1 Metodologia 92
1.1.6.2 Contextualização da Área de Estudo Regional 92
1.1.6.3 Contextualização da Área de Estudo Local 96
1.1.6.4 Aptidão Agrícola 98
1.1.6.5 Síntese Conclusiva 101
1.1.7 Espeleologia 102
1.1.7.1 Metodologia 102
1.1.7.2 Contextualização da Área de Estudo Regional 102
1.1.7.3 Contextualização da Área de Estudo Local 110
1.1.7.4 Síntese Conclusiva 114
1.1.8 Recursos Hídricos Superficiais 116
1.1.8.1 Metodologia 116
1.1.8.2 Contextualização da Área de Estudo Regional 116
1.1.8.3 Contextualização da Área de Estudo Local 117
1.1.8.4 Vazões Características nas áreas de estudo 120
1.1.8.5 Resultados 123
1.1.8.6 Caracterização do Uso das Águas Superficiais 133
1.1.8.7 Síntese Conclusiva 137
1.1.9 Qualidade das Águas Superficiais, Efluentes e Sedimentos 139
1.1.9.1 Metodologia 139
1.1.9.2 Contextualização da Área de Estudo Regional e Local 151
1.1.10 Recursos Hídricos Subterrâneos 195
1.1.10.1 Metodologia 195
1.1.10.2 Contextualização da Área de Estudo Regional 195
1.1.10.3 Contextualização da Área de Estudo Local 197
1.1.10.4 Potenciometria das Áreas de Estudo 200
1.1.10.5 Uso das águas subterrâneas 202
1.1.10.6 Síntese Conclusiva 205
1.1.11 Qualidade das Águas Subterrâneas 206

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.11.1 Metodologia 206

1.1.11.2 Contextualização da Área de Estudo Local 209

2 REFERÊNCIAS BILIOGRAFICAS 230

Tabelas

Tabela 1-1 - Localização das estações meteorológicas utilizadas para caracterização da área de estudo 4

Tabela 1-2 - Parâmetros analisados nas estações 4

Tabela 1-3 - Temperaturas mensais da estação INMET 83632 de acordo com as Normais Climatológicas de 1981 a 2010 6

Tabela 1-4 - Temperaturas mensais da estação INMET A555 no período de 2008 a 2022 7

Tabela 1-5 - Distribuições das médias mensais de precipitação 9

Tabela 1-6 - Dados mensais de pluviosidade e evaporação de acordo com as Normais Climatológicas (1981-2010) para a estação 83632 11

Tabela 1-7 - Valores de intensidade dos ventos de acordo com dados da estação A555 (Ibirité) 18

Tabela 1-8 - Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar 20

Tabela 1-9 - Limites Estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018. 22

Tabela 1-10 - Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018. 23

Tabela 1-11 - Estrutura do Índice de Qualidade do Ar 23

Tabela 1-12 - Critério de Validação de dados 24

Tabela 1-13 - Média anual e limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018 para o poluente PTS nas estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Córrego do Feijão e Parque da Cachoeira. 27

Tabela 1-14 - Medições (médias diárias) acima dos limites definidos na Resolução CONAMA nº 491/2018 para o poluente MP_{10} nas estações Córrego do Feijão e Parque da Cachoeira 28

Tabela 1-15 - Média anual e limites estabelecidos pela Resolução CONAMA no 491/2018 para o poluente MP_{10} nas estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Córrego do Feijão e Parque da Cachoeira. 28

Tabela 1-16 - Média anual e limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018 para o poluente $MP_{2,5}$ nas estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Córrego do Feijão e Parque da Cachoeira. 29

Tabela 1-17 - Malha Amostral dos Pontos de Monitoramento de Ruído e Vibração Utilizada no Projeto 32

Tabela 1-18 - Relação dos equipamentos usados e seus respectivos certificados 36

Tabela 1-19 - Limites Estabelecidos pela ABNT NBR 10.151/2019 36

Tabela 1-20 - Porcentagem de ultrapassagens de ruído no período diurno (2021 e 2022) 41

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Tabela 1-21 - Porcentagem de ultrapassagens de ruído no período noturno (2021 e 2022) - Valores em porcentagem (%) 45

Tabela 1-22 - Síntese de resultados de vibração para os pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6, RV7, RV8, RV9, RV10, RV11, RV12B e RV13 48

Tabela 1-23 - Variáveis morfométricas obtidas para a sub-bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão. 82

Tabela 1-24 - Potencial Espeleológico segundo litotipo. 104

Tabela 1-25 - Cavidades inseridas na Área de Estudo Regional. 108

Tabela 1-26 - Cavidades próximas à Barragem Menezes inseridas na Área de Estudo Local 110

Tabela 1-27 - Características fisiográficas da bacia do ribeirão Ferro-Carvão. 118

Tabela 1-28 - Pontos de monitoramento fluviométrico 120

Tabela 1-29 - Vazões obtidas conforme registros de outorgas e usos insignificantes do IDE-Sisema 137

Tabela 1-30 - Pontos de qualidade de água superficial, sedimento e efluente 141

Tabela 1-31 - Relação de pontos, período e parâmetros analisados para qualidade de água superficial 142

Tabela 1-32 - Valores máximos permitidos (VMP) pela DN COPAM-CERH nº 08/2022 para águas superficiais Classe 2 144

Tabela 1-33 - Relação de pontos, período e parâmetros analisados para qualidade de efluente. 146

Tabela 1-34 - Valores máximos permitidos (VMP) pela DN Conjunta COPAM-CERH para efluentes industriais 148

Tabela 1-35 - Tabela de Pontos e Parâmetros monitorados para a matriz de sedimentos. 149

Tabela 1-36 - Resultados obtidos para o monitoramento de efluente (2021 e 2022) 177

Tabela 1-37 - Correlação entre as zonas aquíferas e unidades litoestratigráficas da sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão 197

Tabela 1-38 - Vazões obtidas nas outorgas e cadastros de usos insignificantes. 204

Tabela 1-39 - Pontos analisados de Água Subterrânea 206

Tabela 1-40 - Valores de referência para os parâmetros analisados. 208

Figuras

Figura 1-1 - Mapa de localização das estações climatológicas 3

Figura 1-2 - Sistemas de circulação atmosférica perturbada do sudeste brasileiro 5

Figura 1-3 - Variação mensal da temperatura - Estação 83632 7

Figura 1-4 - Temperaturas médias mensais - Estação A555 8

Figura 1-5 - Correlação entre os dados pluviométricos das estações utilizadas 9

Figura 1-6 - Distribuição das Precipitações Médias Mensais para as estações analisadas 10

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Figura 1-7 - Dados médios mensais de precipitação e evaporação 12

Figura 1-8 - Mapa de Normais Climatológicas para Evaporação para o período de 1991-2020 13

Figura 1-9 - Extrato de balanço hídrico da Estação 83632 com base nas Normais Climatológicas do INMET (1981-2010) 14

Figura 1-10 - Variação mensal da umidade relativa - Estação 83632 15

Figura 1-11 - Variação mensal da umidade relativa - Estação A555 - Ibirité 16

Figura 1-12 - Dados médios mensais de pressão atmosférica e umidade relativa na estação INMET A555 (2008 a 2022) 17

Figura 1-13 - Rosa dos Ventos - Estação A555 (2008 a 2022) 18

Figura 1-14 - Localização Espacial das Estações de Monitoramento de Qualidade do Ar 21

Figura 1-15 - Resultados de PTS para as Estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira e Córrego do Feijão (2021 e 2022). 25

Figura 1-16 - Resultados de PTS para o ponto PS 26 e PS 28 (2021 e 2022). 26

Figura 1-17 - Resultados de MP_{10} para as Estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira e Córrego do Feijão (2021 e 2022). 27

Figura 1-18 - Resultados de $MP_{2,5}$ para as estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira e Córrego do Feijão. 29

Figura 1-19 - Índice de Qualidade do Ar para o poluente MP_{10} nas estações de monitoramento contínuo para os anos de 2021 e 2022. 30

Figura 1-20 - Índice de Qualidade do Ar para o poluente $MP_{2,5}$ nas estações de monitoramento contínuo para os anos de 2021 e 2022. 31

Figura 1-21 - Localização Espacial das Estações de Monitoramento de Ruído e Vibração 34

Figura 1-22 - Monitoramento de ruído nas comunidades próximas ao projeto 35

Figura 1-23 - Resultados de ruído diurno nos pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6B e RV7 (2021) 39

Figura 1-24 - Resultados de ruído diurno nos pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6B e RV7 (2022) 39

Figura 1-25 - Resultados de ruído diurno nos pontos RV9, RV10, RV11, RV12B e RV13 (2021) 40

Figura 1-26 - Resultados de ruído diurno nos pontos RV8, RV9, RV10, RV11, RV12B e RV13 (2022) 40

Figura 1-27 - Resultados de ruído diurno - Estações Pires, Cachoeira 1 e Cachoeira 2 41

Figura 1-28 - Resultados de ruído noturno nos pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6B e RV7 (2021) 43

Figura 1-29 - Resultados de ruído noturno nos pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6B e RV7 (2022) 43

Figura 1-30 - Resultados de ruído noturno nos pontos RV9, RV10, RV11, RV12B e RV13 (2021) 44

Figura 1-31 - Resultados de ruído noturno nos pontos RV8, RV9, RV10, RV11, RV12B e RV13 (2022) 44

Figura 1-32 - Resultados de ruído noturno - Estações Pires, Cachoeira 1 e Cachoeira 2 45

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Figura 1-33 - Resultados de vibração dos pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6, RV7, RV8, RV9, RV10, RV11, RV12B, RV13 47

Figura 1-34 - Síntese esquemática para a Evolução Geológica do Quadrilátero Ferrífero 51

Figura 1-35 - Unidades Litoestratigráficas e principais feições estruturais do Quadrilátero Ferrífero com localização da área de estudo, em vermelho. Dobras: 1) Sinclinal Piedade; 2) Homoclinal Serra do Curral; 3) Anticlinal Serra do Curral; 4) Sinclinal Moeda; 5) S Sinclinal Dom Bosco; 6) Anticlinal de Mariana; 7) Sinclinal Santa Rita; 8) Anticlinal Conceição; 9) Sinclinal Gandarela; 10) Sinclinal vargem do Lima; 11) Sinclinal Ouro Fino. Complexos granito-gnáissicos: 12) Belo Horizonte; 13) Bonfim; 14) Bação; 15) Santa Bárbara; 16) Caeté; 17) Santo Antônio do Pirapetininga; 18) Mantiqueira. Falhas: 19) Bem-Te-Vi; 20) São Vicente; 21) Sistema de Empurrões Córrego do Garimpo; 22) Falha das Cambotas; 23) Fundão; 24) Água Quente; 25) Sistemas de empurrões do Sinclinal Dom Bosco; 26) Sistema de empurrões da serra do Caraça; 27) Zona de Cisalhamento extensional Moeda-Bonfim; 28) Falha Transcorrente do Engenho. Sedes municipais: BH - Belo Horizonte; CC - Cachoeira do Campo; IT - Itabirito; NL - Nova Lima; CA - Caeté; CG - Congonhas; OP - Ouro Preto. 52

Figura 1-36 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. 55

Figura 1-37 - Mapa Geológico da Área de Estudo Regional e Local 57

Figura 1-38 - Mapa dos domínios geológico-geotécnicos do Quadrilátero Ferrífero 65

Figura 1-39 - Afloramento de rocha no talude de corte pertencente à estrutura da Barragem Menezes I 66

Figura 1-40 - Afloramento de blocos e matacões de rocha em nível de drenagem local 66

Figura 1-41 - Mapa Geomorfológico da Área de Estudo. 72

Figura 1-42 - Padrões de Relevo 73

Figura 1-43 - Mapa Hipsométrico 74

Figura 1-44 - Mapa de Declividade. 75

Figura 1-45 - Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa e inundação da Área de Estudo 79

Figura 1-46 - Visão geral do entorno da área do projeto. Perceptível ao fundo da imagem serra com vertente íngreme e topo alongado retilíneo (demarcado por traçado vermelho). 85

Figura 1-47 - Drenagem afluente do Córrego Olaria. Padrão de drenagem sinuosa/dendrítica, com largura de aproximadamente 10 m de extensão, em vale fechado, com alta densidade arbórea. 85

Figura 1-48 - Visão geral para montante da Barragem. Ao fundo nota-se topo de morro de elevada cota topográfica, de fácil distinção em relação a paisagem. 86

Figura 1-49 - Visão geral ao topo do talude de aterro da Barragem Menezes I, em que se observa o reservatório de água e sedimentos em meia encosta de morro com acentuada declividade e amplitude topográfica. Ao fundo da imagem, nota-se morro resistente na topografia local de relevo dissecado 86

Figura 1-50 - Carta de Suscetibilidade a movimentos de massa e inundação com destaque para AEL e Área do projeto de descaracterização da Barragem Menezes I 87

Figura 1-51 - Visão geral de jusante do talude da Barragem Menezes I 89

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Figura 1-52 - Visão geral de montante da Barragem Menezes I 89

Figura 1-53 - Visão geral da ombreira esquerda da Barragem, sem indícios de processos erosivos sobre o solo compactado nos taludes..... 89

Figura 1-54 - Visão do sopé do talude, sem indícios de instabilidade 89

Figura 1-55 - Pontos de erosão (em destaque com pontilhado vermelho) nas vias de acesso à Barragem Menezes I. 90

Figura 1-56 - Ponto de erosão com desprendimento de solo e tombamento de árvores a montante da Barragem Menezes (em destaque com pontilhado vermelho) 90

Figura 1-57 - Mapa de Pedologia e Classe de Solos..... 93

Figura 1-58 - Aptidão Agrícola. 100

Figura 1-59 - Mapa do Potencial Espeleológico nas Áreas de Estudo Regional e Local do Meio Físico e Cavidades..... 106

Figura 1-60 - Mapa de delimitação dos caminhamentos espeleológicos realizados em estudos anteriores pelas consultorias Brandt e Ativo Ambiental 107

Figura 1-61 - Localização da Cavidade MJ-0008. *Fonte: Ativo ambiental, 2014.* 112

Figura 1-62 - Mapa Topográfico da Cavidade MJ-0008. *Fonte: Ativo ambiental, 2014.* 112

Figura 1-63 - Localização da Cavidade MJ-0009. 113

Figura 1-64 - Mapa Topográfico da Cavidade MJ-0009. *Fonte: Ativo ambiental, 2014.* 113

Figura 1-65 - Localização da Cavidade MJ-0010. 114

Figura 1-66 - Mapa Topográfico da Cavidade MJ-0010. 114

Figura 1-67 - Mapa das Bacias hidrográficas no contexto do projeto.....119

Figura 1-68 - Mapa dos pontos de monitoramento fluviométrico..... 122

Figura 1-69 - Vazões mensais observada no ponto Hidro 02 (AUT-EP.) 124

Figura 1-70 - Vazões mensais observada no ponto Hidro-03. 125

Figura 1-71 - Vazões mensais observada no ponto Hidro-04. 126

Figura 1-72 - Vazões mensais observada no ponto HIDRO-05 (BCF-RL-38). 127

Figura 1-73 - Vazões mensais médias observada no ponto Hidro 6 (Montante). 128

Figura 1-74 - Vazões mensais observada no ponto Hidro-07 (saída)..... 129

Figura 1-75 - Vazões mensais observada no ponto Jusante BH-01. 130

Figura 1-76 - Vazões mensais observada no ponto Jusante Dique 2. 131

Figura 1-77 - Vazões mensais observada na estação fluviométrica Alberto Flores. 132

Figura 1-78 - Vazões mensais observadas nos pontos monitorados 133

Figura 1-79 - Mapa de localização com outorgas e uso insignificantes na área de estudo. 135

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Figura 1-80 - Finalidades de usos de água superficial na área de estudo. 136

Figura 1-81 - Diagrama unifilar dos pontos analisados de qualidade de água superficial, sedimento e efluente. 140

Figura 1-82 - Mapa de localização dos pontos de água superficial analisados. 143

Figura 1-83 - Mapa de localização dos pontos de efluentes analisados. 147

Figura 1-84 - Mapa de localização dos pontos de sedimentos analisados. 150

Figura 1-85 - Boxplot dos resultados de Condutividade Elétrica nos pontos de monitoramento de água superficial (2021 e 2022) 152

Figura 1-86 - Boxplot dos resultados de Oxigênio Dissolvido nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 153

Figura 1-87 - Boxplot dos resultados de pH nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 154

Figura 1-88 - Boxplot dos resultados de Alumínio Dissolvido nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 156

Figura 1-89 - Boxplot dos resultados de Alumínio Total nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 156

Figura 1-90 - Boxplot dos resultados de Arsênio Total nos pontos monitoramento de água superficial (2021 e 2022) 157

Figura 1-91 - Boxplot dos resultados de Bário Dissolvido nos pontos monitoramento de água superficial (2021 e 2022) 158

Figura 1-92 - Boxplot dos resultados de Bário Total nos pontos monitoramento de água superficial (2021 e 2022) 159

Figura 1-93 - Boxplot dos resultados de Chumbo Total nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 161

Figura 1-94 - Boxplot dos resultados de Cobre Dissolvido nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 162

Figura 1-95 - Boxplot dos resultados de Ferro Dissolvido nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 164

Figura 1-96 - Boxplot dos resultados de Ferro Total nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 165

Figura 1-97 - Boxplot dos resultados de Manganês Dissolvido nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 166

Figura 1-98 - Boxplot dos resultados de Manganês Total nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 167

Figura 1-99 - Boxplot dos resultados de Sólidos Dissolvidos Totais nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 169

Figura 1-100 - Boxplot dos resultados de Cor Verdadeira nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 170

Figura 1-101 - Boxplot dos resultados de Sólidos Sedimentáveis nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 171

Figura 1-102 - Boxplot dos resultados de Sólidos Suspensos Totais (SST) nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 172

Figura 1-103 - Boxplot dos resultados de Turbidez nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 173

Figura 1-104 - Boxplot dos resultados de Sólidos Totais nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 174

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Figura 1-105 - Boxplot dos resultados de DBO nos pontos de água superficial (2021 e 2022)..... 175
Figura 1-106 - Boxplot dos resultados de DQO nos pontos de água superficial (2021 e 2022) 176
Figura 1-107 - Caracterização granulométrica nos pontos de monitoramento de sedimentos (2021 e 2022)..... 178
Figura 1-108 - Boxplot dos resultados de Alumínio nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)..... 180
Figura 1-109 - Boxplot dos resultados de Arsênio nos pontos de sedimentos (2021 e 2022) 181
Figura 1-110 - Boxplot dos resultados de Bário nos pontos de sedimentos (2021 e 2022) 182
Figura 1-111 - Boxplot dos resultados de Chumbo nos pontos de sedimentos (2021 e 2022) 183
Figura 1-112 - Boxplot dos resultados de Cobalto nos pontos de sedimentos (2021 e 2022) 184
Figura 1-113 - Boxplot dos resultados de Cobre nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)..... 185
Figura 1-114 - Boxplot dos resultados de Cromo nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)..... 186
Figura 1-115 - Boxplot dos resultados de Ferro nos pontos de sedimentos (2021 e 2022) 188
Figura 1-116 - Boxplot dos resultados de Manganês nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)..... 189
Figura 1-117 - Boxplot dos resultados de Níquel nos pontos de sedimentos (2021 e 2022) 191
Figura 1-118 - Boxplot dos resultados de Zinco nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)..... 192
Figura 1-119 - Mapa Hidrogeológico da Área de Estudos 196
Figura 1-120 - Mapa potenciométrico da área de estudo. 201
Figura 1-121 - Mapa de localização com outorgas e uso insignificantes na área de estudo. 203
Figura 1-122. Finalidades de usos de água subterrânea na área de estudo. 204
Figura 1-123 - Localização dos pontos de monitoramento analisados de água subterrânea. 207
Figura 1-124 - Distribuição dos resultados de Alumínio Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 210
Figura 1-125 - Distribuição dos resultados de Alumínio Dissolvido nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 211
Figura 1-126 - Distribuição dos resultados de Arsênio Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea do entorno da cava (2021/2022) 212
Figura 1-127 - Distribuição dos resultados de Arsênio Dissolvido nos pontos de monitoramento de água subterrânea do entorno da cava (2021/2022) 212
Figura 1-128 - Distribuição dos resultados de Bário Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 213
Figura 1-129 - Distribuição dos resultados de Bário Dissolvido no entorno da cava (2021/2022)..... 214
Figura 1-130 - Distribuição dos resultados de Chumbo Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 215

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Figura 1-131 - Distribuição dos resultados de Cobalto Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 216

Figura 1-132 - Distribuição dos resultados de Cobalto Dissolvido nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 216

Figura 1-133 - Distribuição dos resultados de Ferro Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 218

Figura 1-134 - Distribuição dos resultados de Ferro Dissolvido nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 218

Figura 1-135 - Distribuição dos resultados de Manganês Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 220

Figura 1-136 - Distribuição dos resultados de Manganês Dissolvido nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 220

Figura 1-137 - Distribuição dos resultados de Zinco Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 222

Figura 1-138 - Distribuição dos resultados de Condutividade Elétrica nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 223

Figura 1-139 - Distribuição dos resultados de Turbidez nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 224

Figura 1-140 - Distribuição dos resultados de Oxigênio Dissolvido nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 225

Figura 1-141 - Distribuição dos resultados de pH nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 226

Figura 1-142 - Distribuição dos resultados de Cor Aparente nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 227

Figura 1-143 - Distribuição dos resultados de Sólidos Dissolvidos Totais nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022) 228

Anexos

Anexo I - Mapa Geológico 242

Anexo II - Mapa de Pontos Análise de Solo 243

Anexo III - Espeleologia 244

Anexo IV - Mapa de Recursos Hídricos Subterrâneos 245

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

O diagnóstico ambiental dos meios físico, biótico, socioeconômico e cultural que envolvem a Área Diretamente Afetada (ADA) e suas Áreas de Estudo (AE) tem como objetivo caracterizar e apresentar os principais aspectos socioambientais da região antes da inserção ou expansão de um empreendimento ou projeto.

Para a elaboração do diagnóstico ambiental para o Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I, foram utilizados dados secundários de órgãos governamentais e de outras entidades, dados de monitoramento ambiental disponibilizados pela VALE, estudos ambientais já realizados na área, coleta de dados primários, além de consulta a referências bibliográficas de estudos publicados. A partir da elaboração do diagnóstico ambiental, foi possível realizar as análises de impactos ambientais, definir as áreas de influência do empreendimento e propor as medidas de controle necessárias e adequadas para implantação do projeto.

O diagnóstico ambiental, foi organizado de forma a apresentar toda a dimensão ambiental de cada tema estudado. Os procedimentos metodológicos adotados por cada um dos meios (físico, biótico, socioeconômico e cultural), encontram-se descritos nos respectivos itens do relatório. Ressalta-se que para temas específicos buscaram-se outras fontes de informações para complementar os estudos.

1.1 Meio Físico

1.1.1 Clima e Meteorologia

O conjunto de condições atmosféricas define o clima de uma região, sendo este determinado pelas médias mensais e anuais das condições observadas em um ou mais pontos representativos do clima local (BERRY *et al*, 2003). A seguir serão apresentados os principais aspectos climatológicos de forma a realizar o diagnóstico das Áreas de Estudo Regional e Local do projeto.

1.1.1.1 Metodologia

O diagnóstico ambiental referente a caracterização do clima e às condições meteorológicas foi elaborado de forma conjunta para as Áreas de Estudo Regional e Local com base nos principais aspectos regionais e a descrição de parâmetros climatológicos locais obtidos em estações climatológicas e pluviométricas junto ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastre Naturais - CEMADEN e o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Os valores médios das variáveis meteorológicas que definem o clima de uma região são denominados “Normais Climatológicas”, e são obtidos por meio do monitoramento destes parâmetros, segundo critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). São medidos em estações climatológicas operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão da administração pública federal, vinculado ao Ministério da Agricultura e Pecuária. As médias desses parâmetros referem-se a períodos padronizados de 30 anos, sucessivamente, a exemplo: 1961-1991, 1981-2010 e 1991-2020.

As normais climatológicas são os dados climáticos mais difundidos no Brasil, descrevendo os elementos meteorológicos gerais de uma região, como por exemplo, a temperatura, precipitação, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, insolação, nebulosidade, e características dos ventos.

Objetivando a classificação climática mais atual possível, utilizou-se os dados das Normais Climatológicas de 1981 a 2010 da Estação 83632 - Ibirité Rola Moça (INMET) em conjunto com os dados da estação automática do INMET A555 localizada nas proximidades de Ibirité de 2008 a 2022.

Para análise das variáveis em escala local foram utilizados dados da Estação Alberto Flores (310900606A), fornecidos pelo CEMADEN durante o período de 2019 e 2022. Considerando que as estações CEMADEN possuem apenas dados pluviométricos, foram utilizados dados das Normais Climatológicas relativas ao período de 1981 a 2010 (INMET, 2022) referente a Estação Meteorológica do INMET (83632), localizada nas proximidades do município de Ibirité[1] concomitantemente aos dados da Estação Automática INMET A555 (Ibirité). Estas estações se localizam próximas à área de estudo, na bacia hidrográfica do Paraopeba, e apresentam características físicas (latitude, altitude e ocupação e uso da terra) similares às da área de inserção do projeto (Figura 1-1).

[1] Não existem dados nas Normais Climatológicas de 1990 a 2020 para esta estação, portanto foram utilizados dados das Normais de 1981 a 2010.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

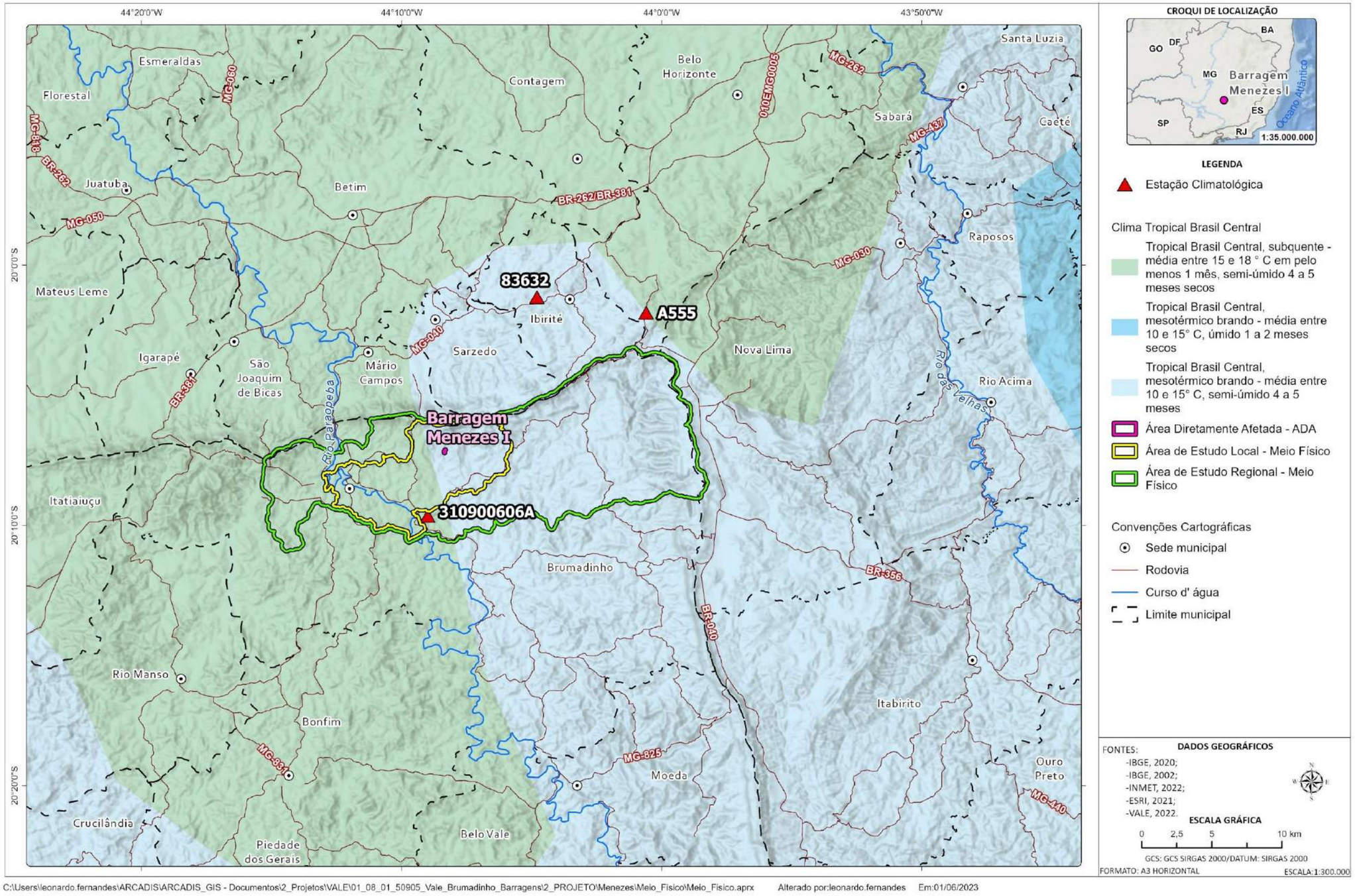


Figura 1-1 - Mapa de localização das estações climatológicas

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: IBGE (2002 e 2020), ESRI (2021), VALE (2022).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

As informações sobre as estações utilizadas para a caracterização climática da área de estudo são apresentadas na Tabela 1-1. A Tabela 1-2 apresenta os parâmetros disponíveis em cada uma das estações.

Tabela 1-1 - Localização das estações meteorológicas utilizadas para caracterização da área de estudo

Código	Nome	Coordenadas Sirgas 2000/23S		Tipo	Localização	Operadora
		UTM E (m)	UTM N (m)			
83632	Ibirité	597543.47	7791513.53	Meteorológica	Ibirité	INMET
A555	Ibirité (Rola Moça)	603543.51	7784892.47	Meteorológica	Belo Horizonte/MG	INMET
310900606A	Alberto Flores	597297.96	7790639.31	Pluviométrica	Brumadinho/MG	CEMADEN

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: INMET, 2023; CEMADEN, 2023.

Tabela 1-2 - Parâmetros analisados nas estações

Parâmetros	Estação		
	INMET Convencional 83632 - Ibirité	INMET automática A555 - Ibirité	CEMADEN 310900606A - Alberto Flores
Pluviosidade	X	X	X
Temperatura	X	X	
Umidade Relativa	X	X	
Pressão Atmosférica		X	
Evaporação	X		
Ventos		X	

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: INMET, 2023; CEMADEN, 2023.

1.1.1.2 Classificação Climática e Dinâmica Atmosférica

Segundo IBGE, o Brasil possui 5 (cinco) climas zonais, sendo eles: Equatorial, Tropical Zona Equatorial, Tropical Nordeste Oriental, Tropical Brasil Central e Temperado. Estas zonas climáticas são subdivididas em variadas regiões climáticas a depender de suas características, principalmente da quantidade e distribuição da precipitação e temperatura.

Conforme mapa da Figura 1-1, verifica-se que o tipo climático existente na região de estudo é o Tropical Brasil Central, mesotérmico brando, com média de temperatura entre 10°C e 15°C, semi-úmido, com 4 a 5 meses secos. Além deste, uma parte da área de estudo encontra-se sob o domínio do clima Tropical Brasil Central subquente, com média entre 15ºC e 18°C em pelo menos 1 mês e com 4 a 5 meses secos (IBGE, 2002).

De acordo com IBGE (2006), a região Sudeste apresenta a maior diversificação climática do Brasil, quando considerado o regime de temperatura. Tal diversificação ocorre devido à atuação de diversos fatores, sendo alguns de ordem estática, como condições geográficas (posição, topografia acidentada), e outros de natureza dinâmica, como circulação atmosférica, os quais atuam simultaneamente em constante interação (NIMER, 1979).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A dinâmica climática de uma região está associada com a circulação atmosférica, de forma que os processos sinóticos em conjunto com os atributos de superfície definem o comportamento dos elementos climáticos. Nesse contexto, o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) é um importante sistema atmosférico que atua na região Sudeste, no qual tem origem das altas pressões subtropicais localizadas no Atlântico Sul e que apresenta tempo relativamente estável e alta umidade sobre áreas marítimas e baixa umidade relativa quando em continente (ASSIS, 2010).

A dinâmica sinótica da região Sudeste, segundo Nimer (1979), as instabilidades climáticas bruscas e mudanças de tempo, geralmente associadas às chuvas, ocorrem com a chegada de correntes de circulação perturbada. Os três principais sistemas de correntes de circulação perturbada que atuam na região são: Sistema de Correntes Perturbadas de Sul (FP), Sistema de Correntes Perturbadas de Oeste (IT) e Sistema de Correntes Perturbadas do Leste (EW), representados na Figura 1-2 (NIMER, 1979).

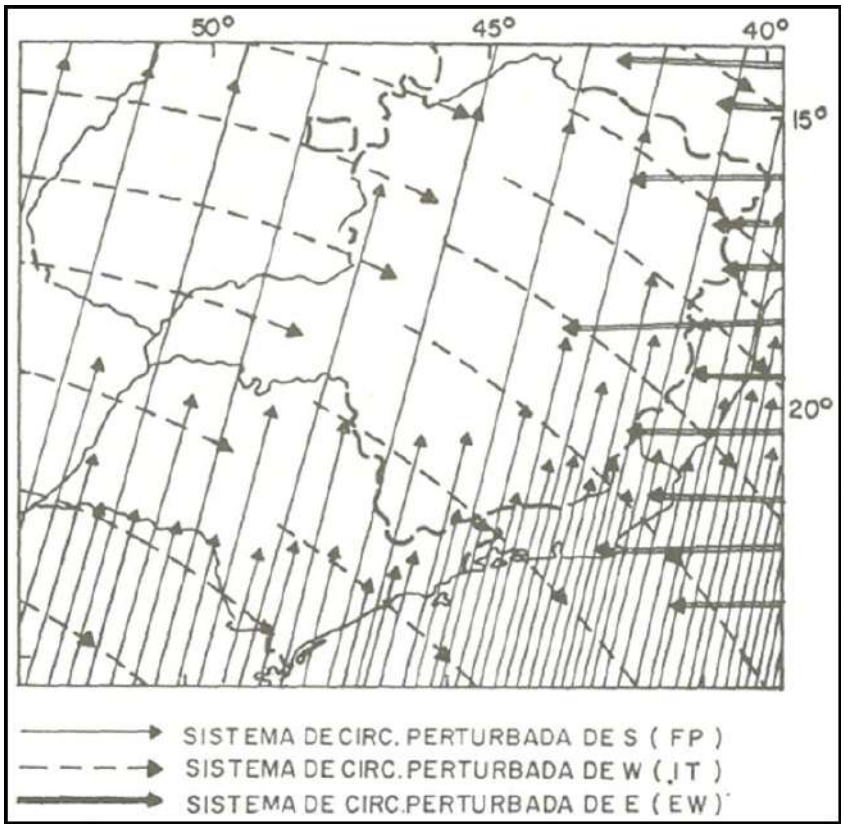


Figura 1-2 - Sistemas de circulação atmosférica perturbada do sudeste brasileiro

Fonte: NIMER, 1979.

O Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul (APAS), oriundo ao sul do continente americano, próximo a zona subantártica e que se desloca, devido aos centros de baixas pressões, em direção às baixas latitudes, principalmente no período de outono e inverno. Esse sistema possui como características básicas o tempo estável, baixa nebulosidade e baixas temperaturas. Ressalta-se que quando este anticiclone chega à região, já está em processo de tropicalização e, portanto, as temperaturas e umidade relativa do ar são mais altas se comparado com seu período de formação (ASSIS, 2010).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Além dos sistemas supracitados, a Zona de Convergência do Atlântico Sul, conhecida como ZCAS é um importante sistema atmosférico associados às chuvas na região Sudeste, principalmente no período de verão. Caracteriza-se por uma extensa faixa de nebulosidade com direção noroeste-sudeste facilmente identificável por imagens de satélite e/ou cartas sinóticas, onde geralmente persiste por um período de até 10 dias, resultando em elevados índices pluviométricos em sua região de atuação (ASSIS, 2010).

Ressalta-se a importância dos Sistemas Frontais/ Frentes frias e Linhas de instabilidades (LI), ambos sistemas de baixa pressão associados a intensas chuvas e altas velocidades dos ventos. As Frentes Frias se deslocam em direção às baixas latitudes, impulsionadas pelo APAS e relacionam-se com as LI, cujas formações podem ser identificadas em imagens de satélite e cartas sinóticas (ASSIS, 2010).

1.1.1.3 Contextualização das Áreas de Estudos Regional e Local

1.1.1.3.1 Temperatura

De acordo com os dados das Normais Climatológicas (1981 a 2010), referente à Estação 83632, a temperatura média compensada anual é de 21,1 ºC. Verifica-se a existência de dois períodos distintos: um com temperaturas mais altas e outro com temperaturas mais baixas. A Tabela 1-3 e Figura 1-3 apresentam os valores compensados de temperaturas mínimas, máximas e médias, registradas na estação 83632 no período de 1981 a 2010 de acordo com as Normais climatológicas do INMET.

Tabela 1-3 - Temperaturas mensais da estação INMET 83632 de acordo com as Normais Climatológicas de 1981 a 2010

Temperatura Mensal (°C) - Estação 83632 (Ibirité)													
Normais Climatológicas INMET 1981-2010													
Mês	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**	**Anual**
Máxima	29,70	30,40	30,00	29,00	27,20	26,10	26,30	27,70	28,70	29,90	29,60	29,20	**28,70**
Média	23,00	23,20	22,90	21,60	19,20	17,70	17,40	19,00	21,10	22,50	22,80	22,70	**21,10**
Mínima	18,10	17,60	17,60	15,50	12,70	10,10	9,70	11,40	14,40	16,10	17,10	17,90	**14,90**

Elaboração: Arcadis, 2023. Fonte: INMET, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

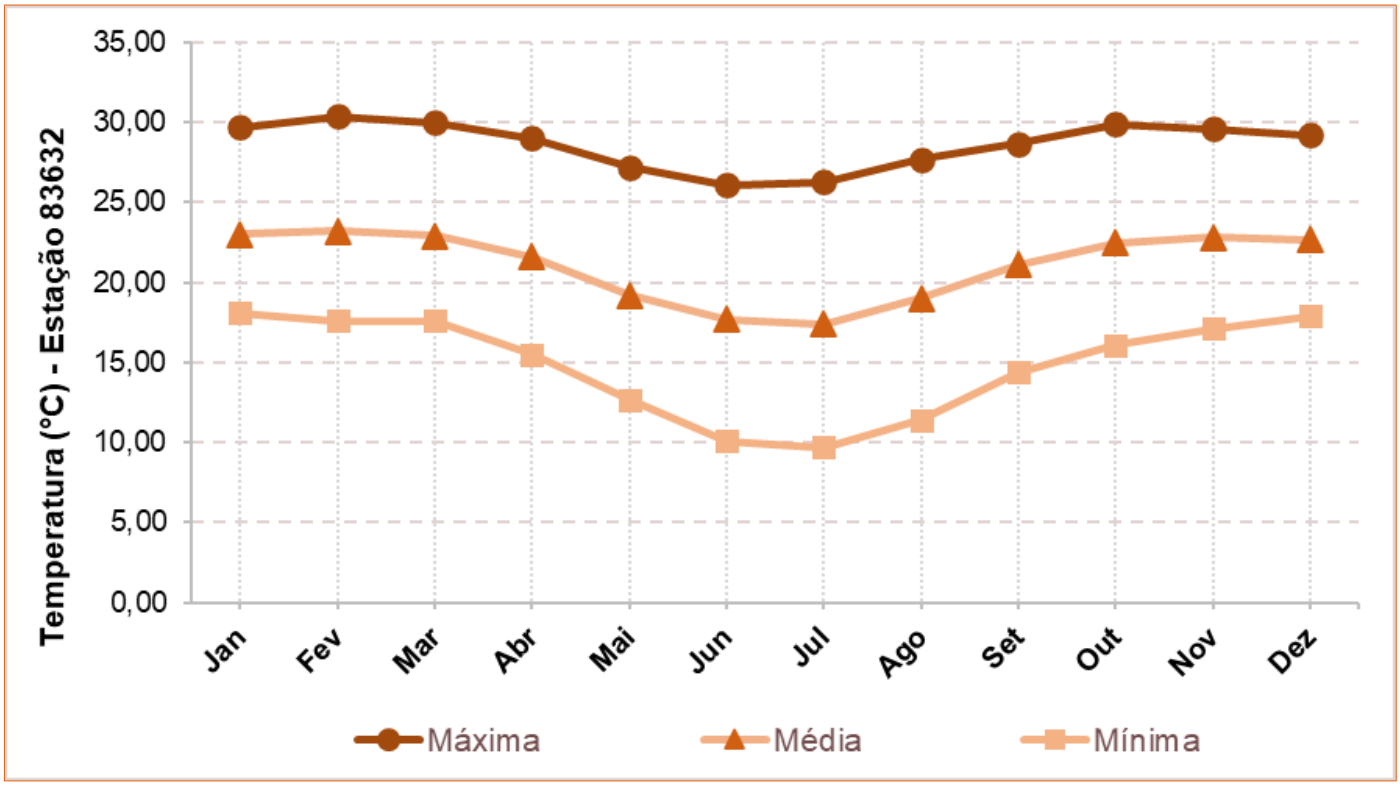


Figura 1-3 - Variação mensal da temperatura - Estação 83632

Elaboração: Arcadis, 2023. Fonte: INMET, 2023.

Conforme os dados médios das Normais Climatológicas (1981-2010), fevereiro é o mês mais quente (média compensada de 23,20 ºC) e julho o mais frio (média compensada de 17,4 ºC). Fevereiro também é o mês com a maior média compensada de temperatura máxima (30,4 ºC), relativa ao período de verão, período em que geralmente as temperaturas médias são mais elevadas. A temperatura máxima absoluta do período de 1981 a 2010 ocorreu em novembro de 2007 (39,6ºC).

Com relação às temperaturas mínimas, o período de inverno apresenta as menores médias, sendo julho o mês com médias compensada de temperatura mínima mais baixa (9,70ºC). A temperatura mínima absoluta no período de 1981 a 2010 também ocorreu no mês de julho de 1982 (0,4 ºC).

Considerando que a estação convencional do INMET 83632 em Ibirité possui somente dados de Normais Climatológicas até o ano de 2010, foram utilizados os dados aferidos pela estação automática A555 (Ibirité) de forma a complementar a análise climática. A Tabela 1-4 e Figura 1-4 apresentam os valores médios de temperaturas registradas na Estação A555 no período de 2008 a 2022.

Tabela 1-4 - Temperaturas mensais da estação INMET A555 no período de 2008 a 2022

Temperatura Média Mensal (°C) - Estação A555 (2008 - 2022)													
Mês	**Jan**	**Fev**	**Mar**	**Abr**	**Mai**	**Jun**	**Jul**	**Ago**	**Set**	**Out**	**Nov**	**Dez**	**Anual**
Média	21,70	21,37	21,38	20,25	18,32	17,77	17,56	18,33	20,24	21,10	20,08	21,08	**19,93**

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Elaboração: Arcadis, 2022. Fonte: INMET, 2022

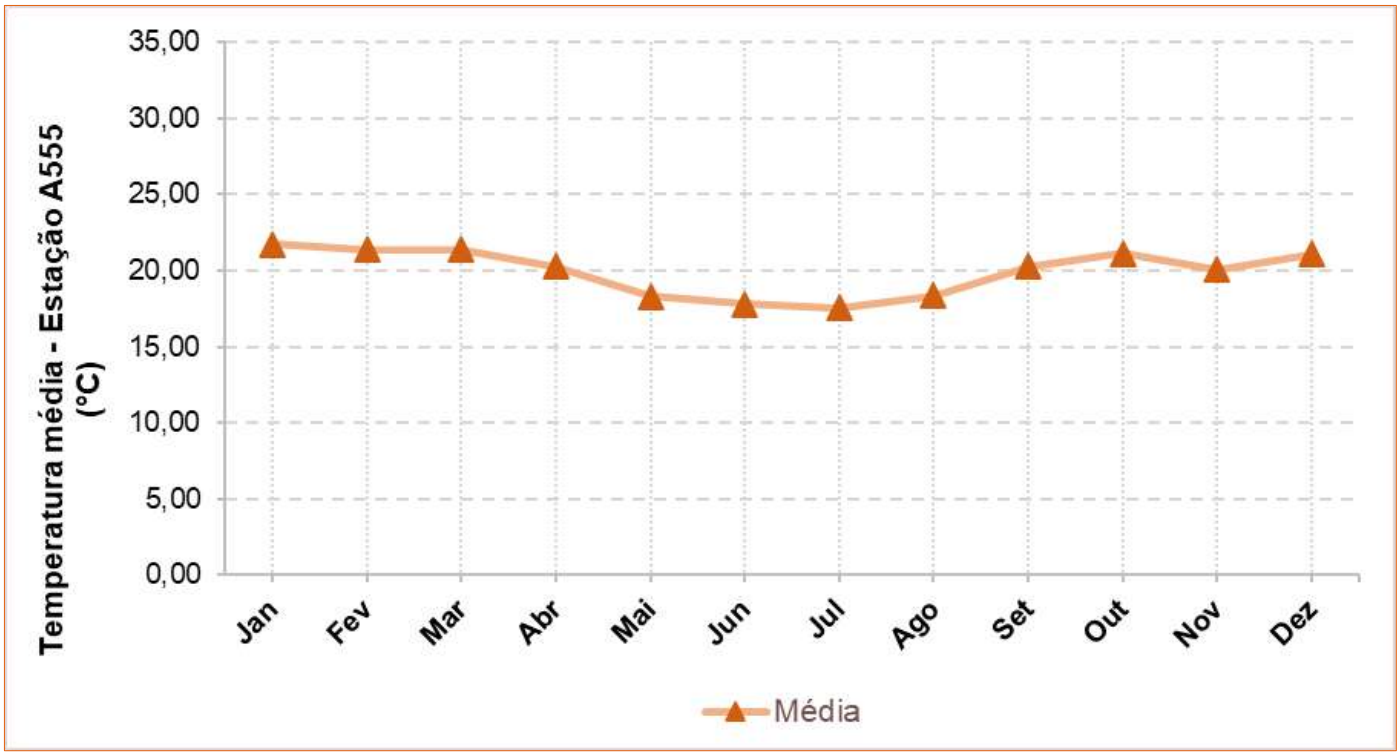


Figura 1-4 - Temperaturas médias mensais - Estação A555

Elaboração: Arcadis, 2023. Fonte: INMET, 2023

De acordo com os dados da estação do INMET A555, no período de 2008 a 2022, a amplitude térmica média anual é de aproximadamente 4,14 °C, sendo a temperatura média anual de 19,93 ºC, com temperaturas mais elevadas ocorrendo entre setembro e abril. No período de maio a agosto predominam as temperaturas mais baixas do ano, atingindo mínimo entre junho e julho. O mês mais frio é julho com temperatura média de 17,56 °C e o mês mais quente é janeiro com média de 21,7 °C.

1.1.1.3.2 Pluviometria

Considerando que a Estação 310900606A Alberto Flores (CEMADEN) é a mais próxima da área de estudo, procedeu-se com uma análise de correlação com as outras duas estações (83632 e A555) a fim de se verificar o coeficiente de correlação entre as estações (Figura 1-5).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

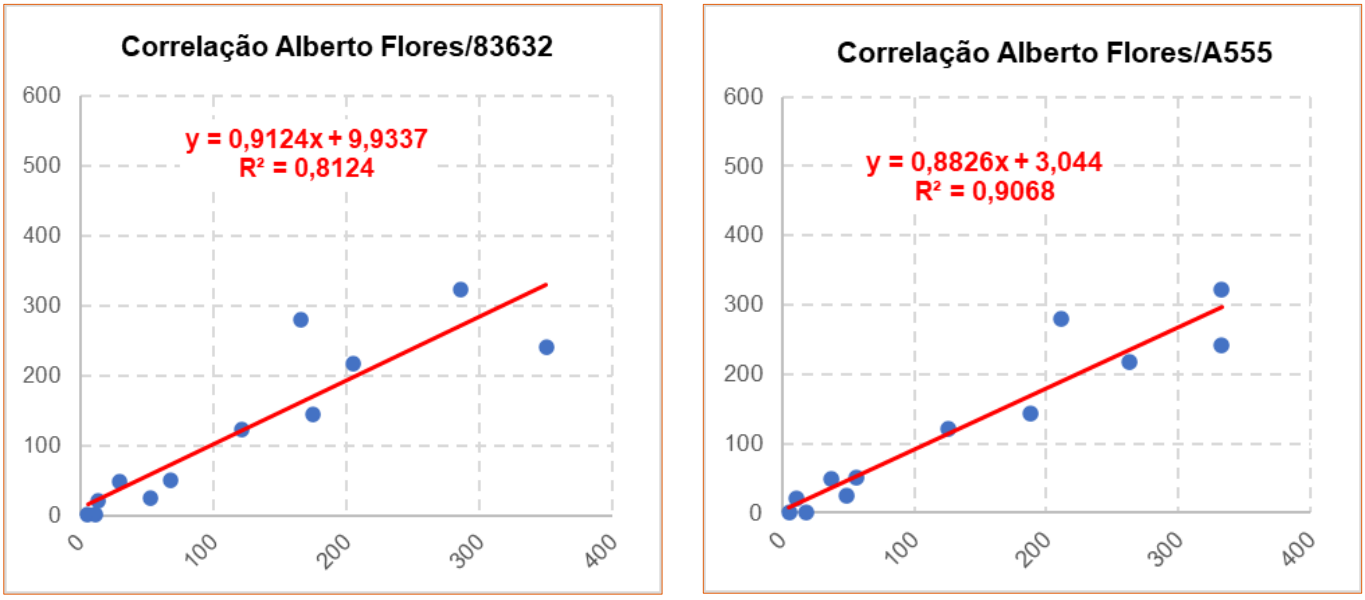


Figura 1-5 - Correlação entre os dados pluviométricos das estações utilizadas

Elaborado: Arcadis,2023. INMET,2023; CEMADEN,2023.

Os resultados da análise de correlação indicam que a estação que melhor se correlaciona com a estação Alberto Flores é a estação do INMET A555, apresentando um R² de 0,9068. A estação 83632 também apresentou coeficiente de correção alto comparado a estação Alberto Flores, com R² de 0,8124. Dessa maneira, entende-se que ambas as estações são adequadas para a caracterização pluviométrica da região de estudo.

Sobre a distribuição das chuvas ao longo do ano, Tabela 1-5 a Figura 1-6 e apresentam as distribuições das médias mensais de precipitação para a Estação Convencional INMET 83632 (Normais climatológicas de 1981 a 2010), Estação Automática INMET A555 e Estação Alberto Flores (CEMADEN).

Tabela 1-5 - Distribuições das médias mensais de precipitação

Precipitação média (mm)			
Mês	**Estação INMET 83632 1981-2010**	**Estação INMET A555 2008-2022**	**Estação Alberto Flores (310900606A) 2014-2021**
Jan	286,00	332,40	322,20
Fev	165,40	211,47	279,20
Mar	175,30	188,04	143,80
Abr	67,60	55,83	50,80
Mai	29,90	37,31	48,60
Jun	11,70	18,60	1,60
Jul	5,70	5,32	1,40
Ago	13,20	10,73	21,40
Set	53,30	48,72	24,40
Out	121,50	125,47	122,00
Nov	205,30	262,48	217,20

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Precipitação média (mm)			
Mês	**Estação INMET 83632 1981-2010**	**Estação INMET A555 2008-2022**	**Estação Alberto Flores (310900606A) 2014-2021**
Dez	349,90	332,30	241,40
Total Anual	**1484,8**	**1628,7**	**1474,00**

Elaborado: Arcadis,2023. INMET,2023; CEMADEN,2023.

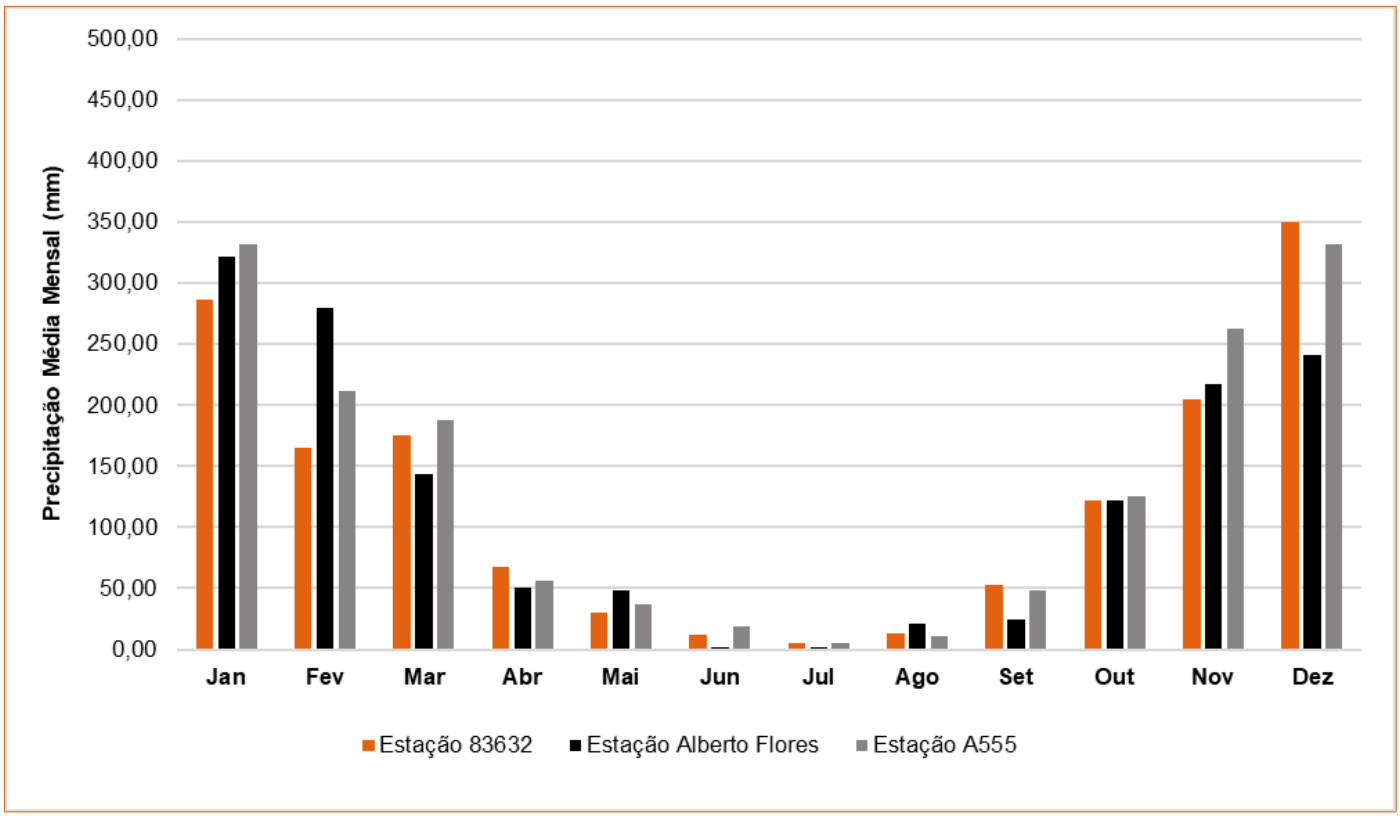


Figura 1-6 - Distribuição das Precipitações Médias Mensais para as estações analisadas

Elaborado: Arcadis,2023. INMET,2023; CEMADEN,2023.

Segundo dados das Normais Climatológicas para a estação 83632, no período de 1981-2010 (INMET, 2022), os índices médios totais anuais de pluviosidade atingem valores de aproximadamente 1.484,8 mm, apresentando um total acumulado de 205,3 mm (novembro), 349,9 mm (dezembro) e 286,00 mm (janeiro), os meses mais chuvosos, que concentram mais de 56% do total anual. Durante os três meses mais secos do ano, junho, julho e agosto, os valores médios de pluviosidade mantêm-se no máximo em torno de 13,2 mm. O valor médio total anual acumulado de chuva é de 1.628,7 mm na Estação A555 e de 1.474 mm na Estação Alberto Flores. Nota-se que as três estações analisadas neste estudo apresentam padrão de chuva e seca semelhantes, variando na intensidade acumulada em cada mês.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

O regime pluviométrico da região é caracterizado como tipicamente tropical, com dois períodos bem definidos: um chuvoso, de outubro a março, com maiores índices de chuvas geralmente nos meses de outubro a janeiro e um período seco, de abril a setembro, com estiagem mais crítica no trimestre junho a agosto. Ressalta-se que abril e setembro apresentam características de transição entre a estação chuvosa e seca. As precipitações ocorrentes na região estão geralmente associadas a ação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), cuja faixa de nebulosidade resulta em chuvas intensas na região do sudeste brasileiro, além das Linhas de Instabilidade (LI), Frentes Frias e de movimentos convectivos.

1.1.1.3.3 Evaporação

As médias mensais de precipitação e evaporação acumuladas, segundo as Normais climatológicas para a estação 83632 nos anos de 1981 a 2010 são apresentadas na Figura 1-7. De acordo com a Figura 1-8 que apresenta o mapa de distribuição do total anual da evaporação no Brasil, nota-se que as áreas de estudo se encontram na faixa de 1204,6 mm de evaporação anual.

Nos meses de agosto, setembro e outubro ocorre um aumento dos valores de evaporação que são causados pelo aumento da temperatura somado a diminuição considerável das chuvas. Ainda segundo as normais, os meses com maior taxa de evaporação são julho (101,1 mm), agosto (130,7 mm), setembro (135,7 mm) e outubro (126,3 mm). Os meses de dezembro (83,6 mm), janeiro (85,5 mm), abril (84,4 mm) e maio (86,2 mm) apresentam os menores valores de evaporação médios. O total médio anual de evaporação é de 1204,6 mm (Tabela 1-6 e Figura 1-7).

Tabela 1-6 - Dados mensais de pluviosidade e evaporação de acordo com as Normais Climatológicas (1981-2010) para a estação 83632

Mês	Estação 83632 (1981 - 2010)	
	Pluviosidade	Evaporação
Jan	286,00	85,50
Fev	165,40	94,30
Mar	175,30	99,80
Abr	67,60	84,40
Mai	29,90	86,20
Jun	11,70	79,40
Jul	5,70	101,10
Ago	13,20	130,70
Set	53,30	135,70
Out	121,50	126,30
Nov	205,30	97,60
Dez	349,90	83,60
Total anual	**1484,80**	**1204,60**

Elaborado: Arcadis,2023. INMET,2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

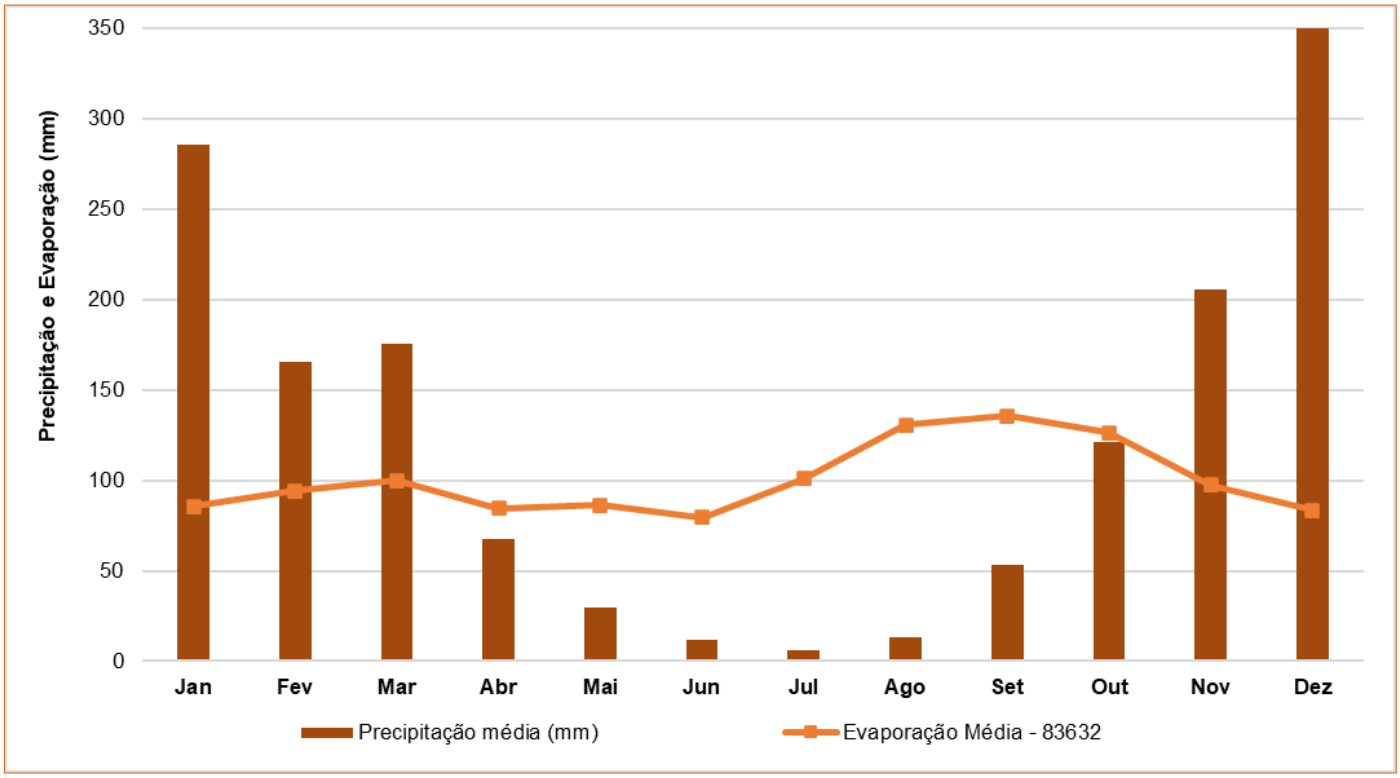


Figura 1-7 - Dados médios mensais de precipitação e evaporação

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: INMET,2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

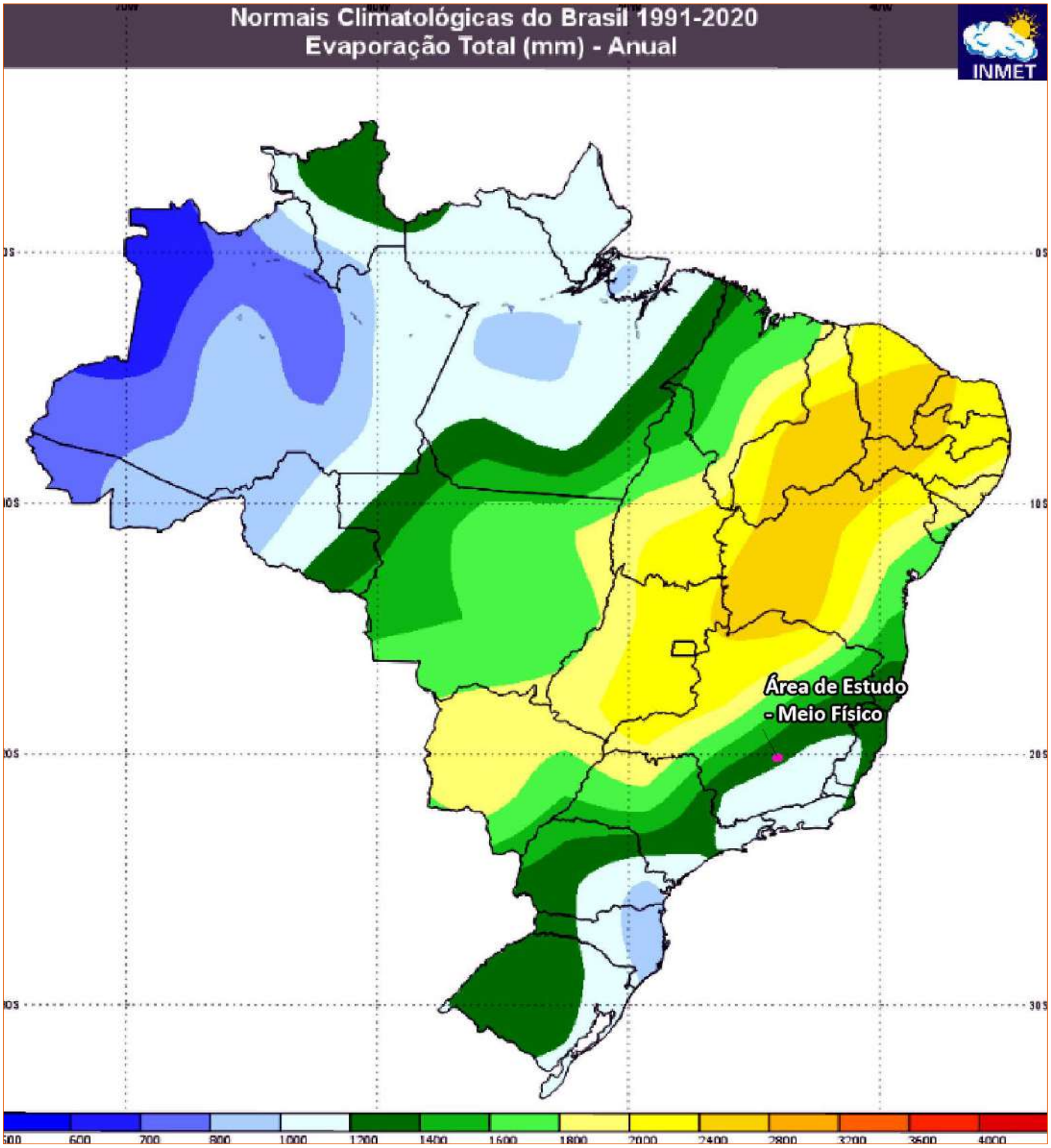


Figura 1-8 - Mapa de Normais Climatológicas para Evaporação para o período de 1991-2020

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: INMET, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.1.3.4 Balanço Hídrico Climatológico

O balanço hídrico é um importante método que permite calcular a disponibilidade de água no solo e em superfícies vegetadas, onde se contabiliza a precipitação em relação a evapotranspiração potencial, o que resulta na identificação da concentração da capacidade de armazenamento de água no solo (TUBELIS, 1984).

Para este estudo foi empregado um método bastante utilizado para o cálculo de balanço hídrico, o de Thornthwaite e Mather (1955), onde considera-se a relação dos índices pluviométricos com a evapotranspiração potencial, a partir de um determinado valor de capacidade de armazenamento de absorção do solo conforme os tipos de solos e de cobertura vegetal. Os valores de precipitação anual média (P) entre 1981 e 2010 foram superiores aos de evapotranspiração potencial anual (ETP), somando 1484,8 mm e 1340,7 mm, respectivamente. De novembro a março os valores de precipitação são superiores aos de ETP, já nos meses de abril a outubro os valores de evapotranspiração potencial são superiores aos valores de precipitação. Ressalta-se que neste estudo, para fins de cálculos de balanço hídrico o valor de capacidade de armazenamento do solo (CA) foi considerado 100 mm.

O gráfico a seguir (Figura 1-9) apresenta o extrato do balanço hídrico para a estação 83632 no período de 1981 a 2010 (Normais Climatológicas). Observa-se que os meses de dezembro a março são meses de excedente hídrico, com reposição hídrica ocorrendo em novembro e dezembro. Ressalta-se que a partir de abril até meados de setembro há retirada de água do solo, o que somado a diminuição das chuvas e a elevada evapotranspiração, leva o sistema ao déficit hídrico que perdura até outubro.

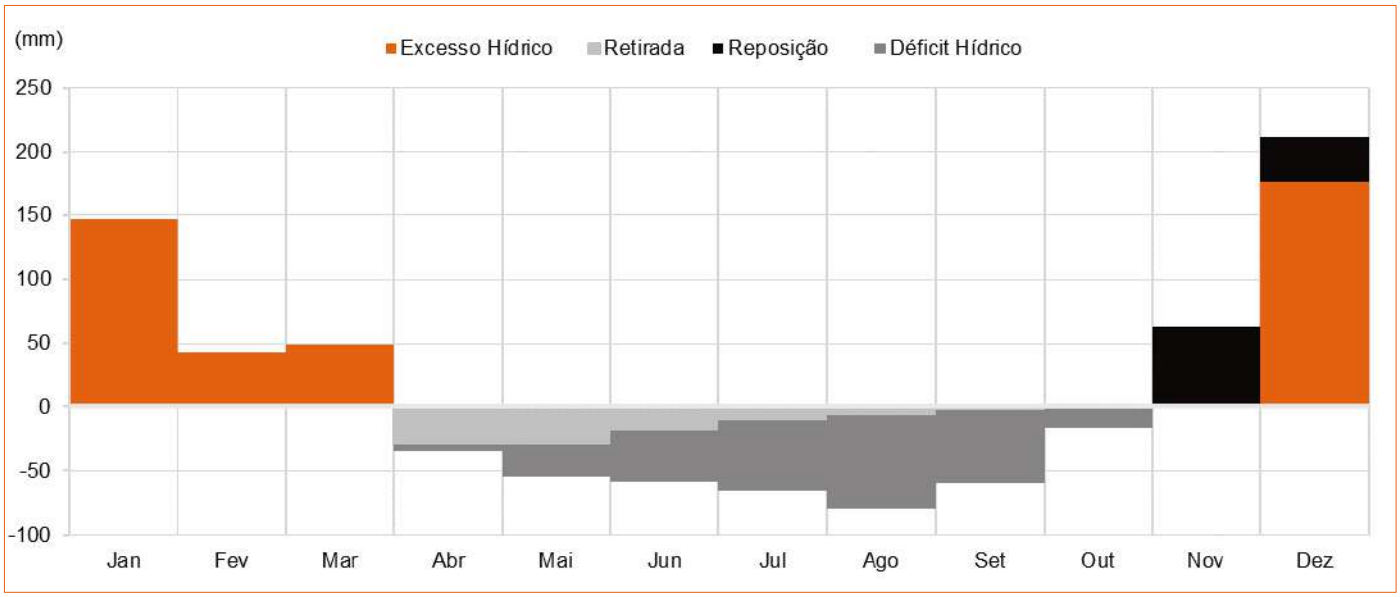


Figura 1-9 - Extrato de balanço hídrico da Estação 83632 com base nas Normais Climatológicas do INMET (1981-2010)

Elaborado por *Arcadis, 2023. Fonte: INMET,2023.*

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.1.3.5 Umidade Relativa e Pressão Atmosférica

A umidade do ar é uma variável climática que diz respeito a quantidade de vapor d'água contido na atmosfera. Ela é o resultado da evaporação das águas encontradas na superfície terrestre e hídricas, concomitantemente a evapotranspiração animal e vegetal (TORRES e MACHADO, 2008). A Figura 1-10 apresenta as distribuições médias de umidade relativa ao longo dos meses, na estação climatológica 83632 no período de 1981-2010 (Normais Climatológicas).[2]

Figura 1-10 - Variação mensal da umidade relativa - Estação 83632

Elaboração: Arcadis, 2023. Fonte: INMET, 2023.

Com relação aos níveis de umidade relativa do ar, os índices mais baixos são associados ao período seco. Durante essa época, são comuns algumas semanas em que a umidade atinge valores mínimos absolutos abaixo de 50% durante os horários mais secos da tarde.

Conforme apresentado na Figura 1-10, é possível verificar uma queda nas médias mensais de umidade relativa do ar durante os meses de junho a outubro, apresentando média mais baixa no mês de agosto com um valor de 68% e média mais alta no mês de janeiro com 80,6%. A Figura 1-11 apresenta os valores médios da umidade relativa mínimas, máximas e médias, registradas na Estação Automática do INMET A555 no período de 2008 a 2022.

[2] Destaca-se que não há valores médios de umidade relativa máxima e mínima para as Normais Climatológicas da estação INMET 83632, desta forma no gráfico da Figura 12.1.11 só foi considerado os dados médios para este atributo climático.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

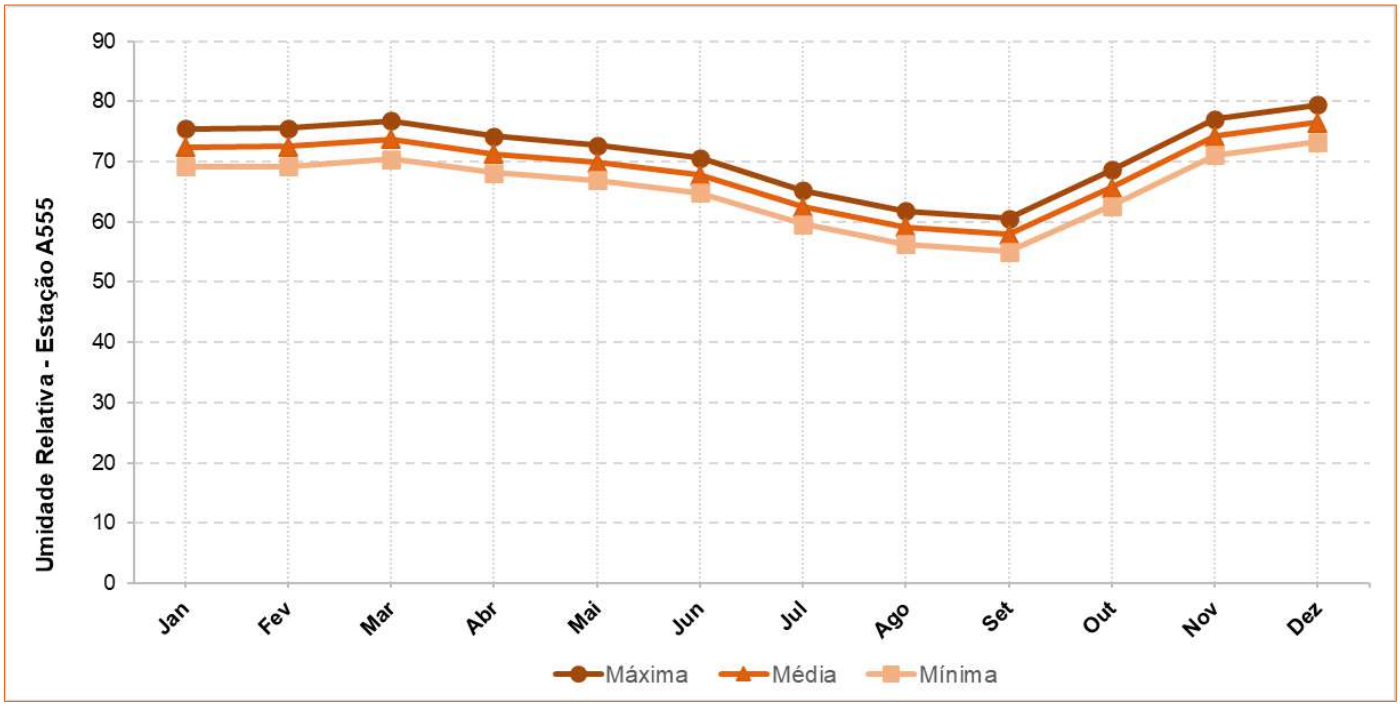


Figura 1-11 - Variação mensal da umidade relativa - Estação A555 - Ibirité

Elaboração: Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

Os percentuais médios anuais de umidade relativa reportados pela estação A555 apresentam médias máximas de 71% e média mínimas de 65%, já a umidade relativa média anual é da ordem de 69%. Os meses mais secos, correspondentes ao período de outono e inverno apresentam os menores valores de umidade relativa do ar chegando a um valor médio de 61% no mês de setembro.

A pressão atmosférica, por sua vez, é a força que a atmosfera exerce sobre a superfície (TUBELIS; NASCIMENTO, 1984). Nesse contexto, a Figura 1-12 apresenta os dados médios mensais para pressão atmosférica e umidade relativa na Estação A555[3], demostrando que com o aumento da pressão atmosférica ocorre a diminuição da umidade relativa do ar na região.

[3] Visto que não há valores de pressão atmosférica para as Normais Climatológicas da estação do INMET 83632 (1981-2010), foram utilizados nesta análise dados de pressão atmosférica e umidade relativa do ar aferidos na estação INMET A555 no período de 2008 a 2022.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

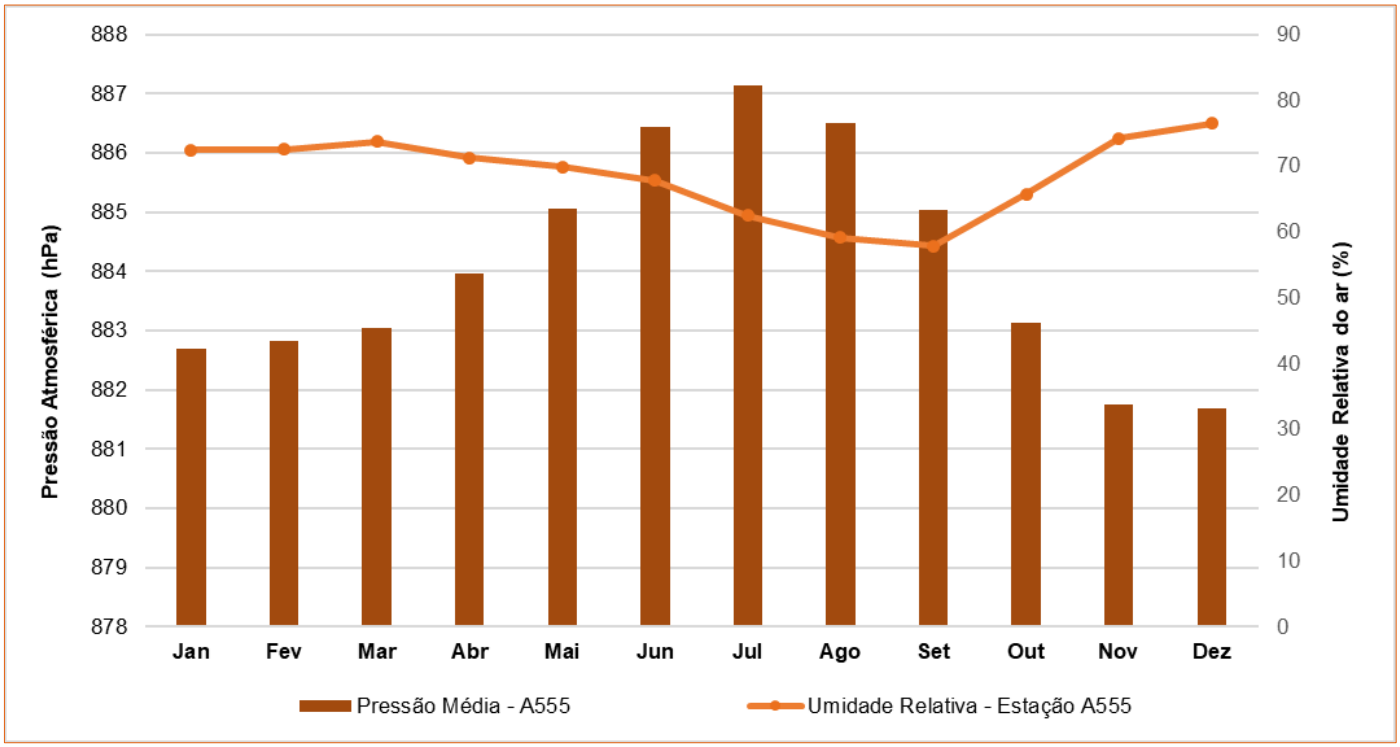


Figura 1-12 - Dados médios mensais de pressão atmosférica e umidade relativa na estação INMET A555 (2008 a 2022)

Elaboração: Arcadis, 2023. Fonte: INMET, 2023.

A baixa umidade do ar durante o inverno na área de estudo está relacionada à predominância de sistemas de alta pressão, grandes massas de ar seco que atuam na porção central do Brasil, causando bloqueios atmosféricos que impedem a chegada de frentes frias e sistemas de baixa pressão que possam vir a causar chuva, deslocando-as para o oceano. Por isso, verifica-se um gradativo aumento na pressão do ar no decorrer do ano, atingindo valores máximos de 887,14 hPa no mês de julho (inverno) e atingindo os valores mais baixos no mês de dezembro 881,68 hPa (verão).

1.1.1.3.6 Velocidade e direção predominante dos ventos

O vento é um importante elemento climático que resulta do deslocamento de ar cometidos a partir da mudança de gradiente de pressão, no qual o ar se desloca de zonas de altas pressões em direção a zonas de baixa pressão. Segundo Tubelis e Nascimento (1984) além de gradientes de pressão, os ventos são gerados a partir das movimentações de rotação da Terra, da força centrífuga em relação ao seu movimento e do atrito com a superfície terrestre. A Figura 1-13 apresenta gráfico com os resultados de velocidade e direção predominante dos ventos para o período de 2008 a 2022. A Tabela 1-7 apresenta os valores de intensidade e direção predominante do vento para a estação A555.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

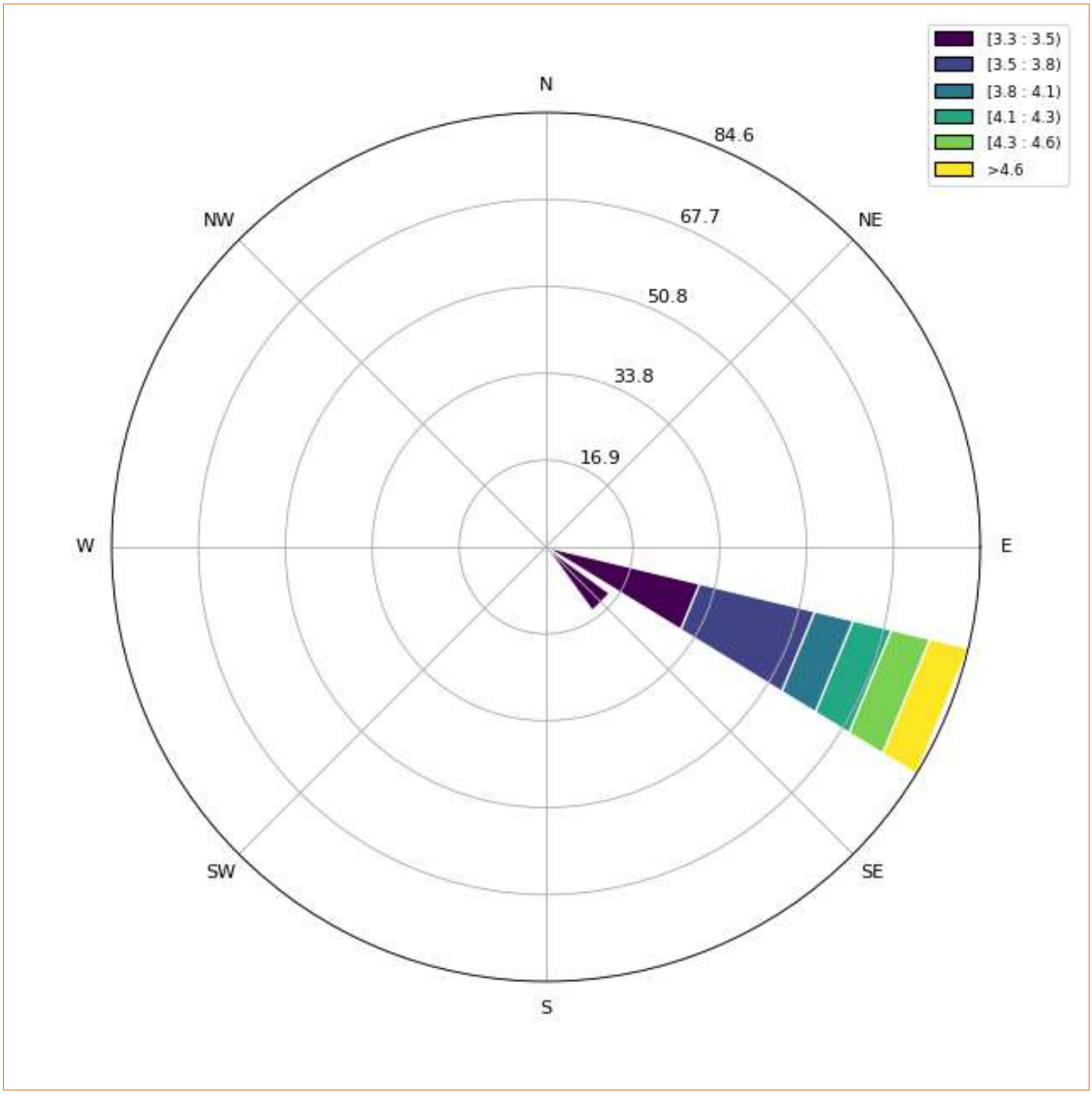


Figura 1-13 - Rosa dos Ventos - Estação A555 (2008 a 2022)

Fonte: INMET, 2023

Tabela 1-7 - Valores de intensidade dos ventos de acordo com dados da estação A555 (Ibirité)

Estação A555 (2008 -2022)		
Mês	**Intensidade do Vento (m.s-¹)**	**Direção dos Ventos (graus)**
Jan	3,4	E
Fev	3,4	E

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Estação A555 (2008 -2022)		
Mês	**Intensidade do Vento (m.s-¹)**	**Direção dos Ventos (graus)**
Mar	3,5	E
Abr	3,7	ESE
Mai	3,4	ESE
Jun	3,4	ESE
Jul	3,6	E
Ago	4,3	E
Set	4,6	E
Out	4,5	E
Nov	3,9	ESE
Dez	3,3	ESE
Anual	**3,8**	ESE

Elaborado: Arcadis,2023. Fonte: INMET, 2023.

De acordo com os dados acima apresentados, a intensidade média anual do vento é de 3,8 m/s na estação A555 e os meses de maiores velocidades do vento são agosto, setembro e outubro, medindo 4,3 m/s, 4,6 m/s e 4,5 m/s, respectivamente. Os meses que apresentam menores velocidades médias dos ventos são: janeiro 3,4 m/s, fevereiro 3,4 m/s e dezembro 3,3 m/s.

Conforme Figura 1-13**,** as áreas de estudos regional e local possuem direção predominante do vento anual a Leste-Sudeste, intercalados com ventos a Leste ao longo de alguns meses. Ressalta-se que o conhecimento acerca da direção dos ventos é de suma importância, uma vez que estes valores medidos auxiliam, por exemplo, a prever a dispersão de poluentes atmosféricos oriundos de atividades de empreendimentos.

1.1.1.4 Síntese conclusiva

As áreas de Estudo Regional e Local possuem duas estações bem definidas: uma chuvosa (de novembro a março), que apresenta os maiores índices de chuvas principalmente nos meses de dezembro e janeiro, e uma estação seca (de abril a setembro), com estiagem mais crítica no trimestre junho a agosto. Os tipos climáticos predominantes da região, segundo IBGE (2002) envolvem o clima Tropical Brasil Central (mesotérmico brando que apresenta geralmente média de temperatura entre 10°C e 15°C, semi-úmido com 4 a 5 meses secos) e o clima Tropical Brasil Central subquente (média de temperatura entre 15ºC e 18°C em pelo menos 1 mês e com 4 a 5 meses secos).

É importante destacar que a precipitação média na região de estudo variou de 1474 mm (Estação CEMADEN Alberto Flores) a 1628,7 mm (Estação INMET A555) e que de acordo com o balanço hídrico climatológico local, os meses de dezembro a março são meses de excedente hídrico, com reposição hídrica ocorrendo em novembro e dezembro. Os meses de déficit hídrico perduram de abril a outubro.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Em relação ao comportamento dos ventos, de acordo com os dados obtidos junto a estação A555 (2008 a 2022), a intensidade deste atributo varia de 3,3 m/s a 4,6 m/s, com média anual de 3,8 m/s. Já a direção predominante dos ventos é Leste-Sudeste, intercalados com ventos a Leste ao longo de alguns meses. Por fim, justifica-se que dados climáticos são de suma importância para as atividades de mineração, uma vez que a partir destes é possível definir o melhor período e as melhores práticas para obras a fim de diminuir os impactos gerados pelas atividades do empreendimento.

1.1.2 Qualidade do Ar

1.1.2.1 Metodologia

O diagnóstico da qualidade do ar das Áreas e Estudo Regional e Local foi elaborado com base nos resultados obtidos no monitoramento executado pela Vale no contexto das obras emergenciais de Reparação, que ocorrem na região em decorrência do rompimento das barragens B1, B4 e B4-A em 25 de janeiro de 2019. Os dados de monitoramento das estações Parque da Cachoeira, Córrego do Feijão e Escola Municipal Pe. Vicente Assunção, foram obtidos junto a Vale e ao site da Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM.

A proximidade das estações de monitoramento da qualidade do ar em relação à área da Barragem Menezes I (Tabela 1-8), objeto do presente EIA, permite que seus resultados possam ser utilizados de maneira representativa, para caracterizar a qualidade do ar atual. A Tabela 1-8 e a Figura 1-14 apresentam a relação das estações de monitoramento cujos resultados foram utilizados no diagnóstico da qualidade do ar.

Tabela 1-8 - Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar

Nome da Estação	Coordenadas		Distância em relação a ADA (m)	Poluentes avaliados	Periodicidade	Fonte dos dados
	UTM E (m)	UTM N (m)				
Parque da Cachoeira	588008.20	7772325.74	3.285	MP_{10}, $MP_{2,5}$ e PTS	Horário	FEAM
Córrego do Feijão	593124.15	7773230.61	3.559	MP_{10}, $MP_{2,5}$ e PTS	Horário	FEAM
Escola Municipal Pe. Vicente Assunção	583624.00	7771950.00	7.017	MP_{10}, $MP_{2,5}$ e PTS	Horário	FEAM
PS 26 - Comunidade de Córrego do Feijão	591733.68	7773182.66	3.676	PTS	Semanal	Vale
PS 28 - Fazenda Wilson	596621.71	7777194.02	6.845	PTS	Semanal	Vale

Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

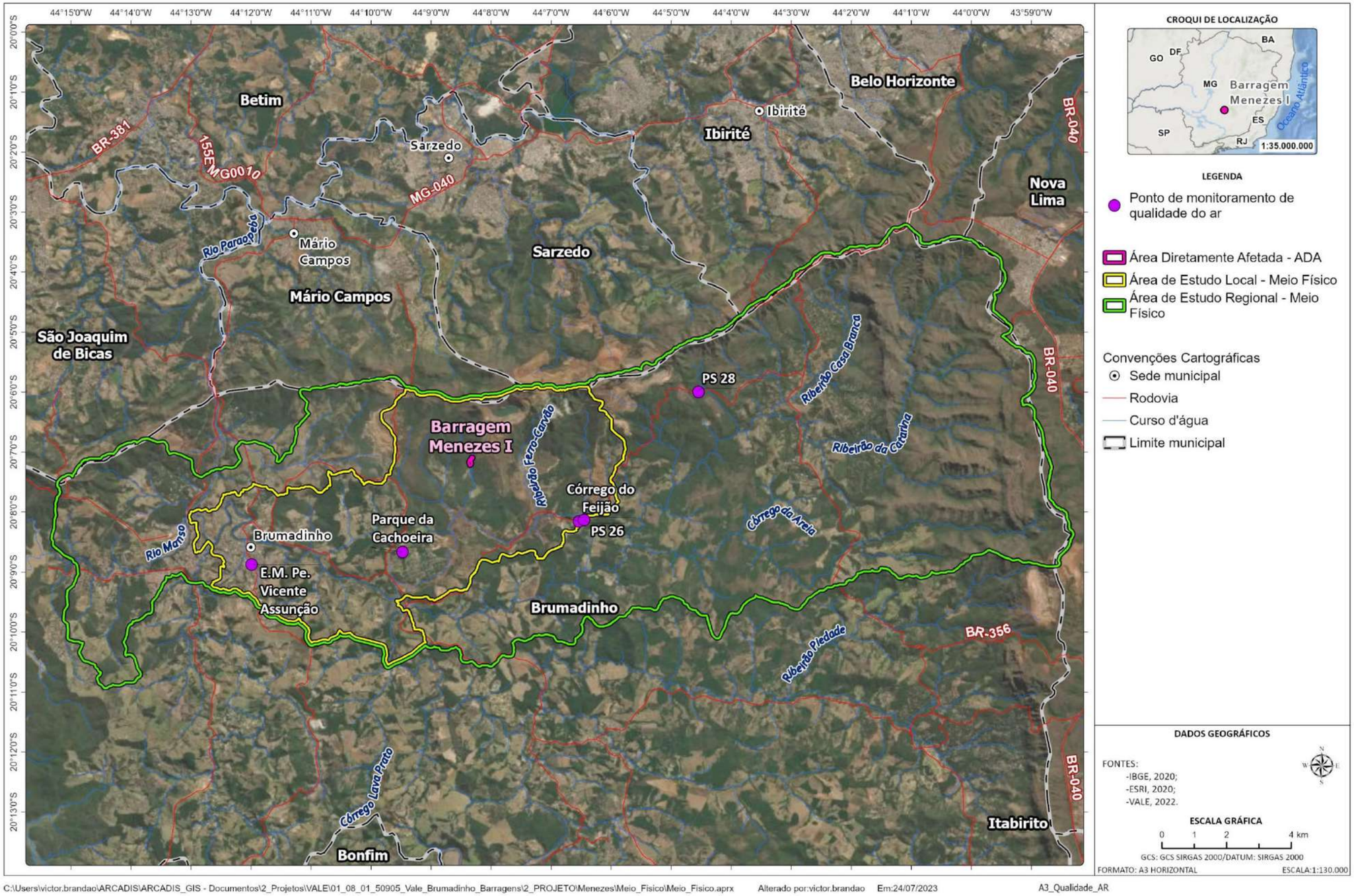


Figura 1-14 - Localização Espacial das Estações de Monitoramento de Qualidade do Ar

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A,2023

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Os dados referentes às estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira e Córrego do Feijão, PS 26 e PS 28 foram obtidos junto a Vale e ao site da Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM e validados conforme metodologia estabelecida pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA. É importante ressaltar que o ponto PS 28 é representativo da área de estudos regional.

O monitoramento realizado nas estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira, Córrego do Feijão é feito de forma contínua com os analisadores MP101M e BAM1020, cujo princípio de medição é atenuação da radiação beta para registro da concentração de PTS, PM_{10} e $PM_{2,5}$ na faixa de 0-10.000 µg/m³. Nas estações PS 26 e PS 28, por sua vez, o monitoramento é feito de forma descontínua (6 em 6 dias) através de amostradores de grandes volumes (AGV).

Para este diagnóstico serão avaliados os resultados do período de janeiro/2021 a dezembro/2022 para as estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira, Córrego do Feijão, PS 26 e PS 28. Destaca-se que em algumas situações a série de dados apresentada possui falhas devido a impossibilidade de medição dos parâmetros causadas por intensas chuvas, problemas técnicos nas estações, pela intermitência de energia elétrica e/ou manutenção na estação de monitoramento.

As concentrações são registradas na forma de médias horárias, compiladas e consolidadas de forma a comparar com os padrões legais vigentes estabelecidos na Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018 para médias de 24 horas, cujos valores são apresentados na Tabela 1-9.

Essa Resolução estabelece os padrões intermediários (padrões estabelecidos como valores temporários (a serem cumpridos em etapas) e padrão final (valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005) para partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis (PM_{10}), dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de nitrogênio (NO_2), monóxido de carbono (CO) e ozônio (O_3) indicado na tabela abaixo. Neste estudo foi adotado o padrão Intermediário 1 (PI-1), considerando que este consiste na primeira etapa dos valores estabelecidos na CONAMA nº 491/2018 a serem cumpridos.

Tabela 1-9 - Limites Estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018.

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF
		µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
Material particulado MP_{10}	24 horas	120	100	75	50
	Anual[1]	40	35	30	20
Material particulado $MP_{2.5}$	24 horas	60	50	37	25
	Anual[1]	20	17	15	10
Dióxido de Enxofre - SO_2	24 horas	120	50	30	20
	Anual[1]	40	30	20	-
Dióxido de Nitrogênio - NO_2	1 hora[2]	260	240	220	200
	Anual[1]	60	50	45	40
Ozônio - O_3	8 horas[3]	140	130	120	100
Fumaça	24 horas	120	100	75	50
	Anual[1]	40	35	30	20
Monóxido de Carbono - CO	8 horas[3]	10.000	10.000	10.000	10.000

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF
		µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
Partículas Totais e Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240
	Anual[4]	-	-	-	80
Chumbo - Pb[5]	Anual[1]	-	-	-	0,5

[1] Média aritmética anual; [2] Média horária; [3] Máxima média móvel obtida no dia; [4] Média geométrica anual; [5] Medido nas partículas totais em suspensão

Elaborado por Arcadis, 2023.

Partículas Totais e Suspensão (PTS) e Fumaça (FMC) são parâmetros auxiliares, a serem usados em situações específicas, a critério do órgão ambiental competente. Define-se como condições de referência 25°C de temperatura e 760 mmHg de pressão atmosférica (CONAMA Nº491/18). A Resolução CONAMA n° 491/2018, prevê ainda, níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações, vide tabela a seguir (Tabela 1-10).

Tabela 1-10 - Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018.

Nível	SO_2 (ug/m³)	MP_{10} (ug/m³)	$MP_{2,5}$ (ug/m³)	CO (ppm)	O_3 (ug/m³)	NO_2 (ug/m³)
Atenção	800	250	125	15	200	1.130
Alerta	1.600	420	210	30	400	2.260
Emergência	2.100	500	250	40	600	3.000

Elaborado por Arcadis, 2023.

Nota: Média de 24h para SO_2, MP_{10} e $MP_{2,5}$; Média móvel de 8h para CO e O_3; Média de 1h para NO_2.

1.1.2.1.1 Índice de Qualidade do Ar - IQAr

O índice de qualidade do ar é uma ferramenta matemática utilizada para transformar as concentrações medidas dos diversos poluentes em um único valor adimensional que possibilita a comparação com os limites legais de concentração para os diversos poluentes, podendo associar-se aos efeitos da poluição do ar sobre a saúde humana.

O Anexo IV da Resolução CONAMA 491/2018 define que o Índice de Qualidade do Ar será quantificado para os parâmetros: MP_{10}, $MP_{2.5}$, O_3, CO, NO_2 e SO_2. Os critérios e correlações são definidos no "Guia Técnico para o Monitoramento da Qualidade do Ar" publicado pelo Ministério de Meio Ambiente. Neste guia, no Capítulo 9, apresenta-se a estrutura completa, e as respectivas concentrações para a devida classificação da qualidade do ar. A Tabela 1-11 descreve esta estrutura.

Tabela 1-11 - Estrutura do Índice de Qualidade do Ar

Qualidade do Ar	índice	MP10 (µg/m³) 24h	MP2,5 (µg/m³) 24h	O3 (µg/m³) 8h	CO (µg/m³) 8h	NO2 (µg/m³) 1h	SO2 (µg/m³) 1h
N1 - Boa	0-40	0-50	0-25	0-100	0-9	0-200	0-20
N2 - Moderada	41-80	>50-100	>25-50	>100-130	>9-11	>200-240	>20-40
N3 - Ruim	81-120	>100-150	>50-75	>130-160	>11-13	>240-320	>40-365

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Qualidade do Ar	índice	MP10 (µg/m³) 24h	MP2,5 (µg/m³) 24h	O3 (µg/m³) 8h	CO (µg/m³) 8h	NO2 (µg/m³) 1h	SO2 (µg/m³) 1h
N4 - Muito Ruim	121-200	>150-250	>75-125	>160-200	>13-15	>320-1130	>365-800
N5 - Péssima	201-400	>250-600	>125-300	>200-800	>15-50	>1130-3750	>800-2620

Fonte: Guia Monitoramento Qualidade do Ar, MMA, 2020.

O Guia de Monitoramento da Qualidade do Ar (2020) define ainda os critérios de representatividade temporal dos dados. O monitoramento contínuo pode apresentar falhas, seja no funcionamento dos monitores, no armazenamento de dados, comunicação, energia, entre outros. Como o monitoramento deve representar a qualidade do ar de uma região, fez-se necessária a adoção de critérios de representatividade temporal dos dados, de forma a garantir uma média representativa. A Tabela 1-12 indica os tempos mínimos de amostragem para que os dados sejam considerados representativos.

Tabela 1-12 - Critério de Validação de dados

Tipo de Média	Critério de Validação
Média Horária	3/4 das medidas válidas na hora
Média Diária	2/3 das médias horárias válidas no dia
Média Mensal	2/3 das médias diárias válidas no mês
Média Anual	1/2 das médias diárias válidas obtidas em cada quadrimestre (jan-abr; mai-ago; e set-dez)

Fonte: Guia Monitoramento Qualidade do Ar, MMA, 2020.

1.1.2.2 Contextualização da Área de Estudo Regional e Local

1.1.2.2.1 Resultados

A seguir são apresentados os resultados e discussões para o diagnóstico de qualidade do ar das Áreas de Estudo Regional e Local definidas para o projeto, realizado a partir de dados de monitoramento de Totais Suspensas (PTS), Partículas Inaláveis (<10µm e <2,5 µm), Partículas e do Índice de Qualidade do Ar (IQAr).

A. Partículas Totais Suspensas (PTS)

Os gráficos a seguir apresentam os resultados de monitoramento médio diário da qualidade do ar para o poluente PTS para as estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira e Córrego do Feijão, PS 26 e PS 28.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

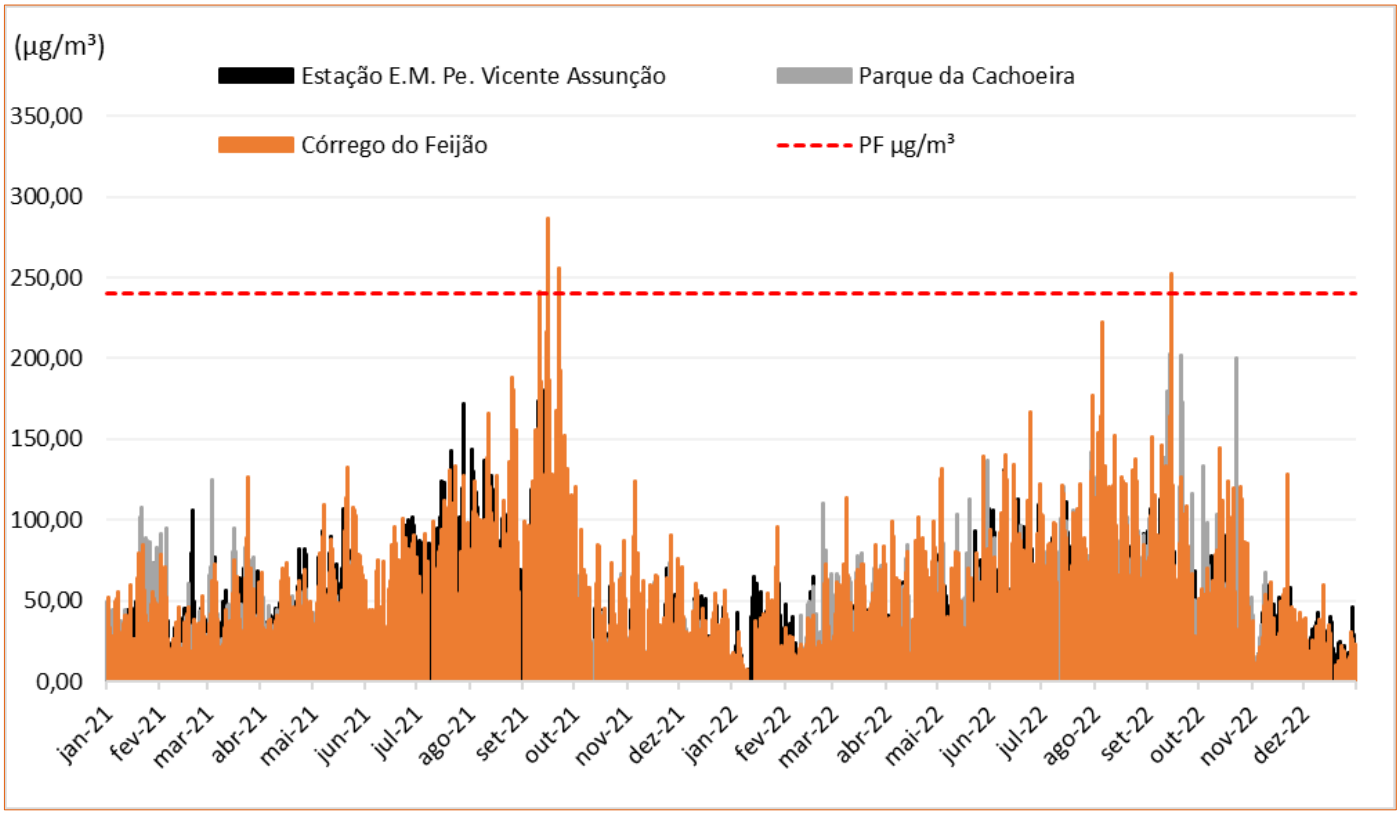


Figura 1-15 - Resultados de PTS para as Estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira e Córrego do Feijão (2021 e 2022).

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: FEAM, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

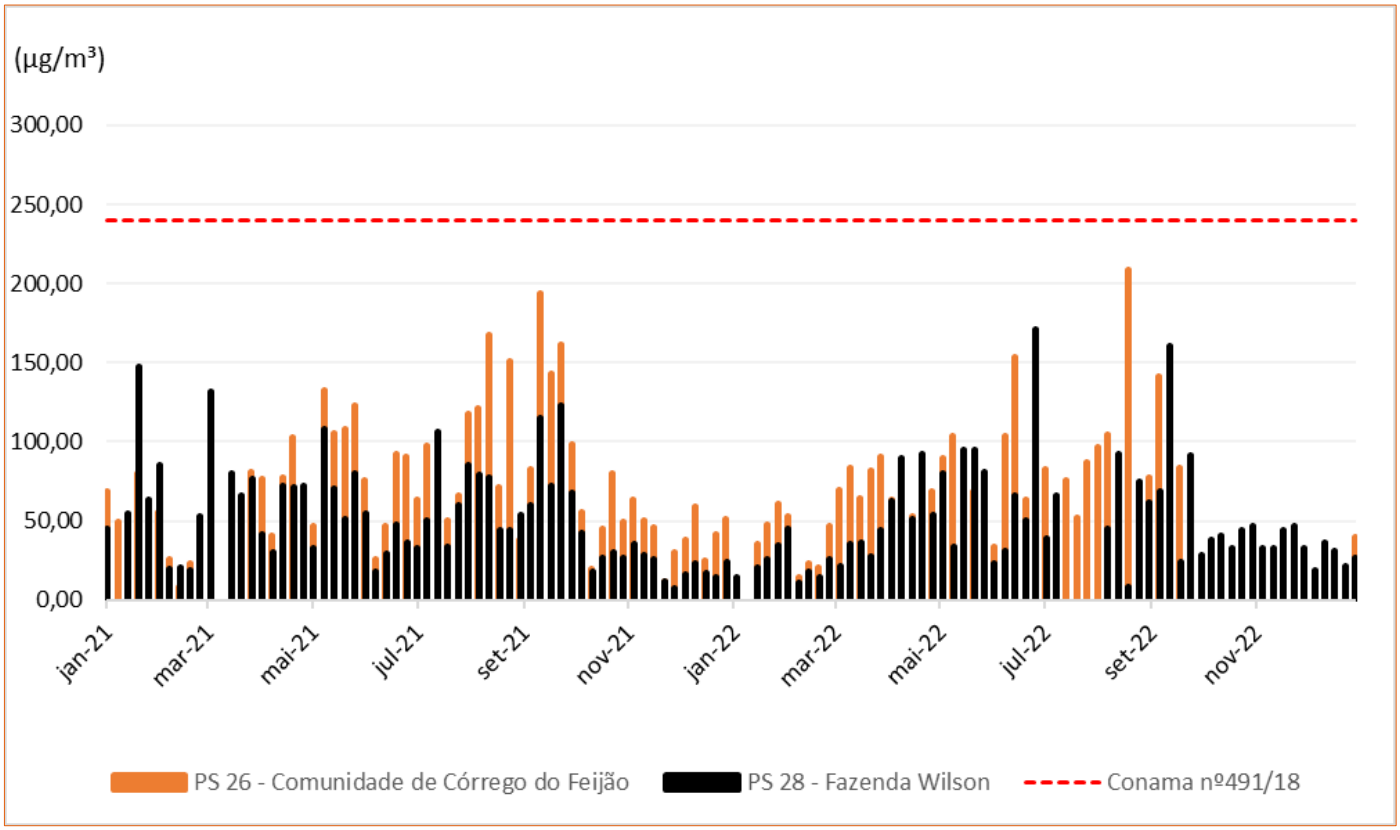


Figura 1-16 - Resultados de PTS para o ponto PS 26 e PS 28 (2021 e 2022).

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023

Observa-se que ao longo do ano de 2021, três médias de 24h estiveram acima do limite definido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 (PF) para PTS, com valores registrados na estação Córrego do Feijão de 241,74 µg/m^3, 287,04 µg/m^3 e 256,36 µg/m^3 nos dias 10, 15 e 21 de setembro de 2021, respectivamente.

Em 2022 apenas uma média diária foi registrada acima do permitido pela legislação no dia 14 de setembro de 2022 na estação Córrego do Feijão, contabilizando um valor de 252,5 µg/m^3. Com relação ao monitoramento descontínuo, realizado por meio das estações AVG (PS 26 e PS 28), nenhuma média diária aferida no período supracitado esteve acima dos limites da Resolução CONAMA nº 491/2018.

Nota-se que os dados ultrapassados ocorreram em setembro, mês com características meteorológicas de tempo seco e estabilidade atmosférica, o que dificulta a dissipação de poluentes. Além disso, conforme relatado no relatório de monitoramento da qualidade do ar realizado pela EcoSoft e fornecido pela Vale, em setembro de 2021 foram registradas queimadas na região, o que em conjunto com a baixa umidade, contribui significativamente para a elevação das concentrações de material particulado registradas. Houve ainda obras civis na rua e residência onde localiza-se a estação Parque da Cachoeira, o que pode ter contribuído para os valores registrados de material particulado.

A Tabela 1-13 apresenta os resultados de monitoramento anual (exposição de longo prazo) da qualidade do ar para as Partículas Totais em Suspensão nas estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira e Córrego do Feijão.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Não houve neste período ultrapassagens para o padrão (PF) definido pelo CONAMA nº 491/18 para as concentrações anuais (médias geométricas) em 2021 e 2022 em nenhuma das estações de monitoramento.

Tabela 1-13 - Média anual e limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018 para o poluente PTS nas estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Córrego do Feijão e Parque da Cachoeira.

Estação	2021	2022
Córrego do Feijão	65,6	64,0
Estação E.M. Pe. Vicente Assunção	61,6	57,0
Parque da Cachoeira	45,4	68,4
PF µg/m³ (CONAMA n° 491/2018)	**80,0**	**80,0**

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023.

A. Partículas Inaláveis (< 10µm)

A Figura 1-3 apresenta o resultado de monitoramento médios diários da qualidade do ar para as partículas inaláveis (MP_{10}) nas estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira e Córrego do Feijão.

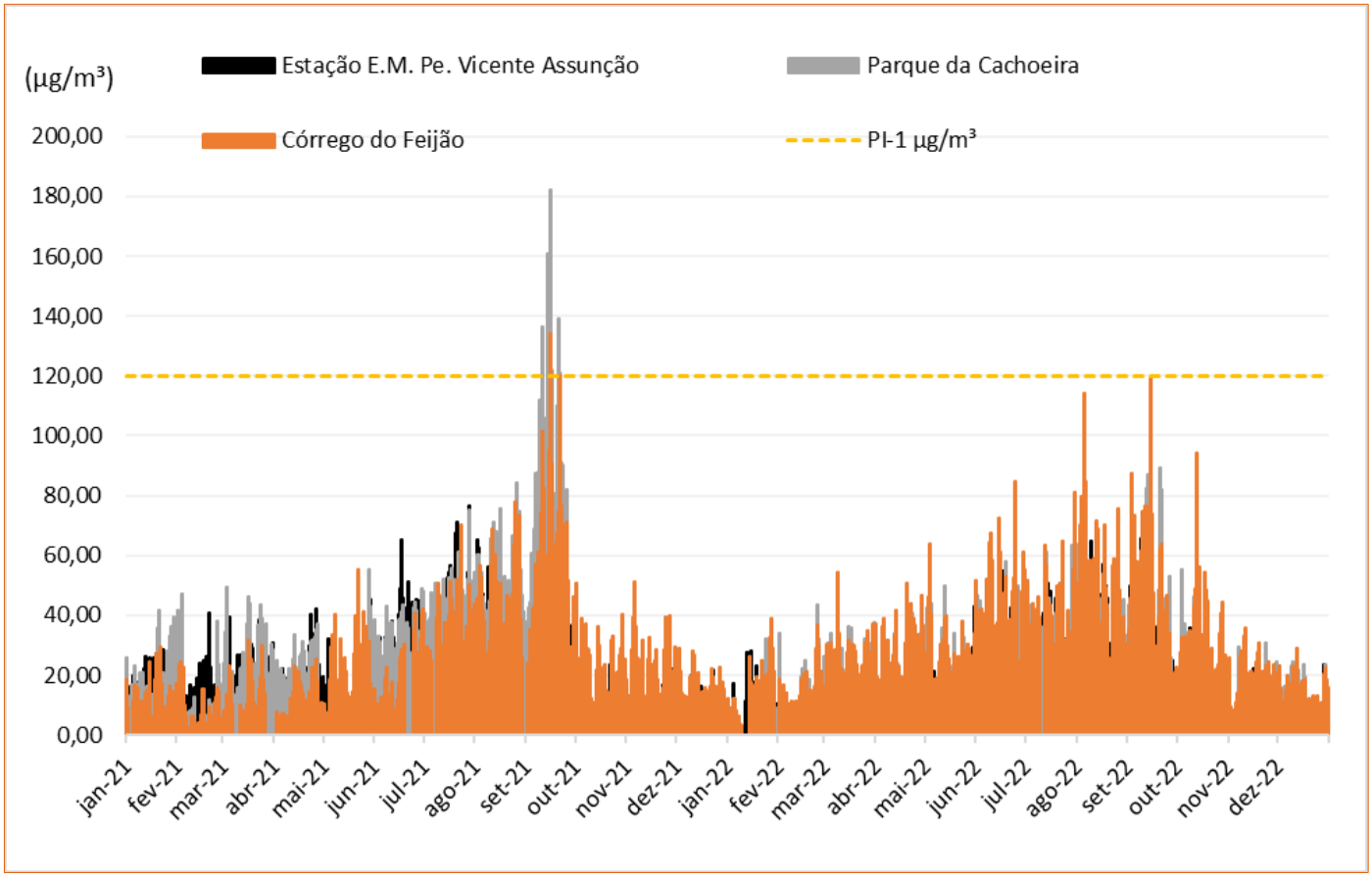


Figura 1-17 - Resultados de MP_{10} para as Estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira e Córrego do Feijão (2021 e 2022).

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Ao longo do ano de 2021 o limite legal estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 para MP_{10} foi ultrapassado em duas ocasiões na estação Córrego do Feijão e em seis ocasiões na estação Parque da Cachoeira (Tabela 1-14) no ano de 2021. Em 2022 não foram observados valores acima do limite estabelecido pela legislação (PI-1).

Tabela 1-14 - Medições (médias diárias) acima dos limites definidos na Resolução CONAMA nº 491/2018 para o poluente MP_{10} nas estações Córrego do Feijão e Parque da Cachoeira.

Data	Córrego do Feijão	Parque da Cachoeira
10-set-21	-	136,57 µg/m³
14-set-21	-	160,96 µg/m³
15-set-21	134,04 µg/m³	182,16 µg/m³
16-set-21	-	122,03 µg/m³
20-set-21	-	139,29 µg/m³
21-set-21	120,11 µg/m³	121,00 µg/m³

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023.

Nota-se que os dados ultrapassados ocorreram em setembro, mês com características meteorológicas de tempo seco e estabilidade atmosférica, o que dificulta a dissipação de poluentes, conforme relatado anteriormente. Além disso, conforme relatado no relatório de monitoramento da qualidade do ar fornecido pela Vale, neste mês foram registradas queimadas na região, o que em conjunto com a baixa umidade, contribui significativamente para a elevação das concentrações de material particulado registradas.

A Tabela 1-5 apresenta os resultados de monitoramento anual (exposição de longo prazo) da qualidade do ar para as partículas inaláveis (MP_{10}) nas estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira e Córrego do Feijão nos anos de 2021 e 2022.

Tabela 1-15 - Média anual e limites estabelecidos pela Resolução CONAMA no 491/2018 para o poluente MP_{10} nas estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Córrego do Feijão e Parque da Cachoeira.

Estação	2021	2022
Córrego do Feijão	26,3	32,3
Estação E.M. Pe. Vicente Assunção	29,2	24,8
Parque da Cachoeira	35,8	28,4
PI-1 µg/m³	**40,0**	**40,0**

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023.

Quanto às concentrações anuais (médias geométricas), não houve neste período ultrapassagens para o padrão (PI-1) definido pelo CONAMA 491/18, em nenhuma das estações de monitoramento para os anos de 2021 e 2022.

B. Partículas Inaláveis (< 2,5 µm)

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A Figura 1-18 apresenta os resultados médios diários de monitoramento da qualidade do ar para as partículas inaláveis ($MP_{2,5}$), nas estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira e Córrego do Feijão.

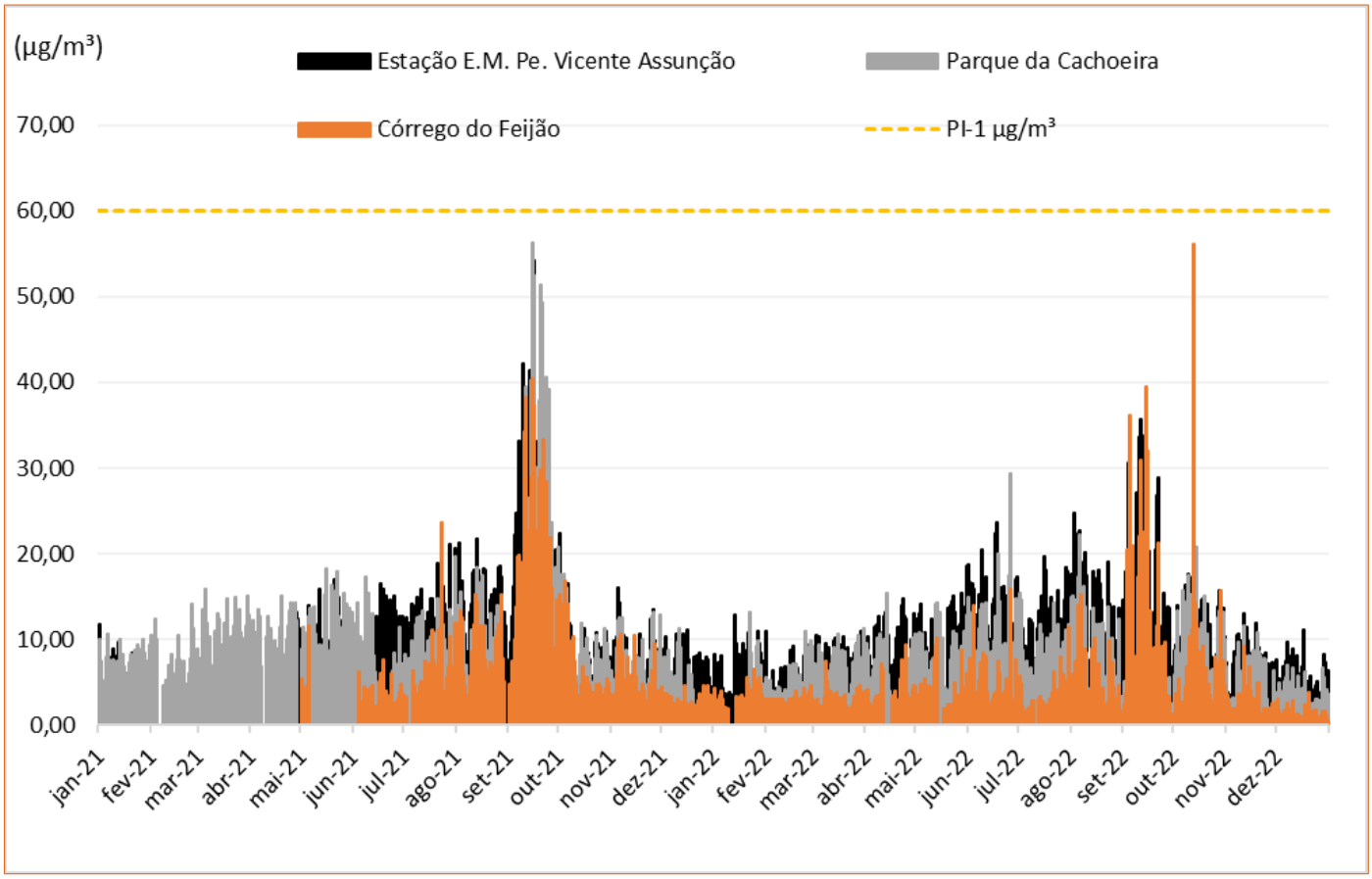


Figura 1-18 - Resultados de $MP_{2,5}$ para as estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira e Córrego do Feijão.

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: FEAM, 2023

Ao longo dos anos de 2021 e 2022 as médias diárias de $MP_{2,5}$ permaneceram abaixo do limite definido pela Resolução CONAMA nº 491/2018 para o PI-1, para as três estações analisadas.

A Tabela 1-16 apresenta os resultados de monitoramento anual (exposição de longo prazo) da qualidade do ar para as partículas inaláveis ($MP_{2,5}$) nas estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Parque da Cachoeira e Córrego do Feijão.

Tabela 1-16 - Média anual e limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491/2018 para o poluente $MP_{2,5}$ nas estações E. M. Pe. Vicente Assunção, Córrego do Feijão e Parque da Cachoeira.

Estação	2021	2022
Córrego do Feijão	7,9	5,0
Estação E.M. Pe. Vicente Assunção	13,4	11,1
Parque da Cachoeira	11,1	7,9
PI-1 µg/m³	**20,0**	**20,0**

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023.

Quanto às concentrações anuais (médias geométricas), não houve ultrapassagens para o padrão (PI-1) definido pelo CONAMA 491/18 em nenhuma das estações de monitoramento nos anos de 2021 e 2022.

C. Índice de Qualidade do Ar (IQAr)

Os gráficos de representação do IQAr (Figura 1-19 e Figura 1-20) mostram, majoritariamente, resultados classificados na faixa **BOA** para as três estações de monitoramento (Córrego do Feijão, E. M. Pe. Vicente Assunção e Parque da Cachoeira) ao longo dos anos de 2021e 2022 para os parâmetros MP10 e MP2,5. A classificação **MODERADA**, embora presente em menor quantidade, também está presente em todas as três estações em ambos os parâmetros (MP10 e MP2,5).Foram observados ainda dois dias de IQAr classificados como **RUIM** (MP10) na estação Parque da Cachoeira e três dias na estação Córrego do Feijão.

Importante sublinhar que o IQA é calculado com base nos resultados obtidos no monitoramento contínuo das três estações e quando há alguma falha de operação o Índice não pode ser definido, razão pela qual há diferentes quantitativos de “dias” expressos nos gráficos.

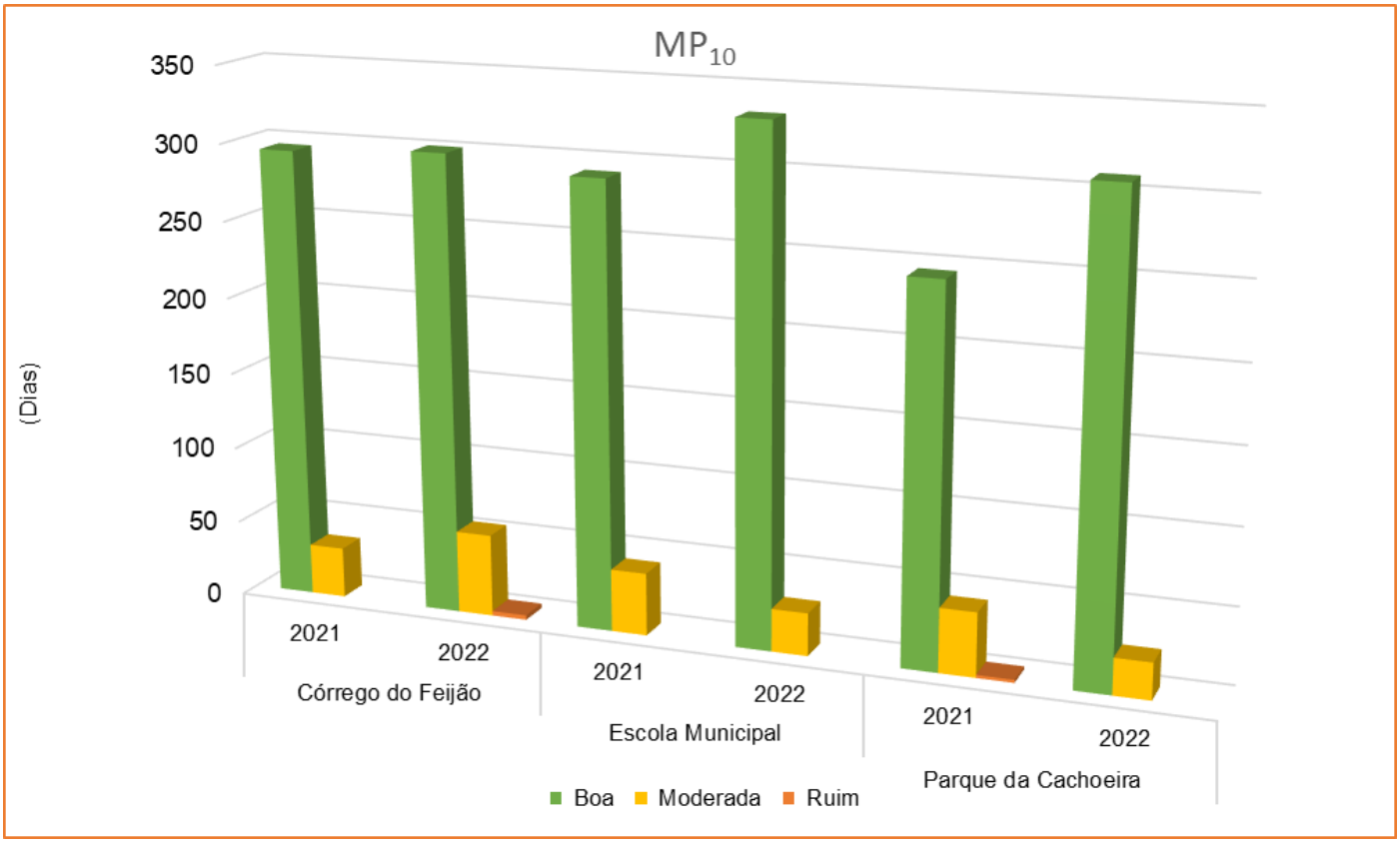


Figura 1-19 - Índice de Qualidade do Ar para o poluente MP_{10} nas estações de monitoramento contínuo para os anos de 2021 e 2022.

Elaborado por *Arcadis, 2023. Fonte: Vale,2023.*

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

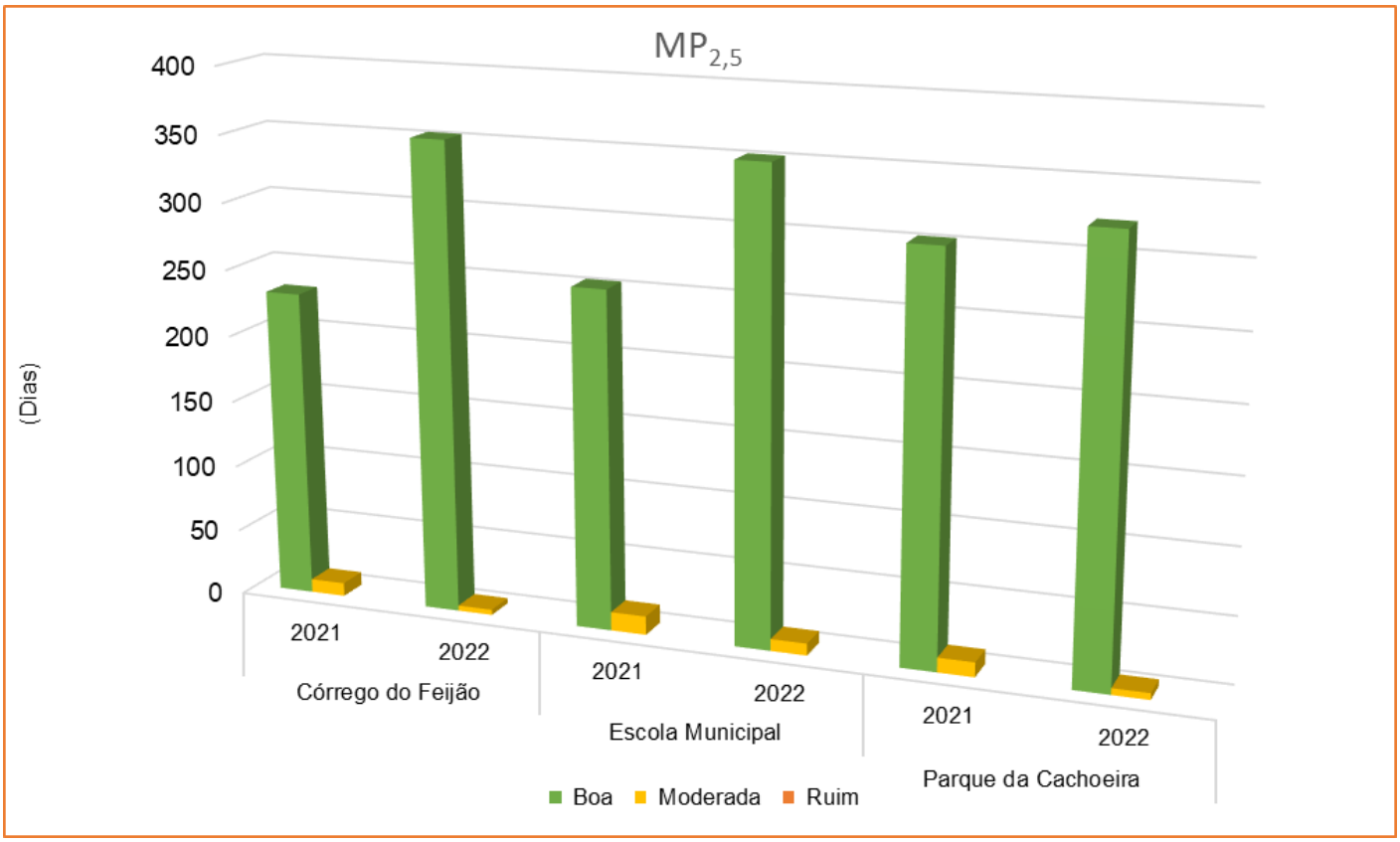


Figura 1-20 - Índice de Qualidade do Ar para o poluente $MP_{2,5}$ nas estações de monitoramento contínuo para os anos de 2021 e 2022.

Elaborado por *Arcadis, 2023. Fonte: Vale,2023.*

Destaca-se ainda que as estações PS 26 e PS 28 possuem apenas dados de PTS, portanto não há resultados de IQAr para estes pontos.

1.1.2.2.2 Síntese conclusiva

Para este estudo foram utilizadas 5 (cinco) estações que se localizam nos limites das Áreas de Estudo Regional e Local sendo 3 (três) de monitoramento contínuo e 2 (duas) de monitoramento semanal. As análises foram feitas a partir dos resultados dos poluentes nas frações totais em suspensão (PTS) e inaláveis (MP_{10}, de até 10 mm de diâmetro e $MP_{2,5}$ de até 2,5 10 mm de diâmetro).

As ultrapassagens dos limites legislativos ocorreram no mês de setembro nos anos de 2021 e 2022, período caracterizado pela baixa umidade relativa do ar e estabilidade atmosférica, o que dificulta a dissipação de poluentes e favorece o aumento da concentração destes no ar. Importante destacar que para a estação localizada na área de estudos regional (PS 28) não foram registradas ultrapassagens para as médias de 24 horas.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

De forma geral, dentro do período analisado (2021 e 2022), foram registrados resultados acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 491/2018 para os poluentes PTS (Estação Córrego do Feijão) e MP_{10} (Estações Córrego do Feijão e Parque da Cachoeira). O poluente $MP_{2,5}$ (Partículas Respiráveis), permaneceu abaixo dos limites de referência legal estabelecidos pela Resolução CONAMA. O Índice de qualidade do ar (IQAr) na região foi em sua maioria considerado BOM, com resultados ocasionais de classificações MODERADO e RUIM.

Com base na análise das condições atuais da rede de monitoramento, pode-se concluir que na região de implantação do Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I, já existem fontes de emissão que impactam a qualidade do ar, principalmente em períodos mais secos.

1.1.3 Ruído Ambiental e Vibração

1.1.3.1 Metodologia

1.1.3.1.1 Pontos de Amostragem

O diagnóstico dos níveis de ruído e vibração das Áreas de Estudo Regional e Local foi elaborado com base nos resultados obtidos no monitoramento executado pela VALE no contexto das obras emergenciais, que ocorrem na região em decorrência do rompimento das barragens B1, B4 e B4-A em 25 de janeiro de 2019.

Embora a localização das estações de monitoramento tenha sido definida com o propósito de verificar eventuais impactos decorrentes das obras emergenciais, a proximidade com a área Barragem Menezes I (Tabela 1-17), ambas na Mina Córrego do Feijão, objeto do presente EIA, permite que seus resultados possam ser utilizados, de maneira fidedigna e representativa, para fins de *background*. A Tabela 1-17 e Figura 1-1 apresentam a relação das estações de monitoramento cujos resultados foram utilizados no diagnóstico dos níveis de ruído e vibração.

Tabela 1-17 - Malha Amostral dos Pontos de Monitoramento de Ruído e Vibração Utilizada no Projeto

Ponto	Coordenadas		Localização	Distância da ADA (m)	Área de estudos	Parâmetro	Frequência de Monitoramento
	UTM E (m)	UTM N (m)					
RV1B	592723.00	7773128.00	Rua Dois, 220 - Córrego do Feijão	3.271	Local	Ruído e Vibração	Semanal
RV2	590874.00	7771576.00	Comunidade Cantagalo. Ref.: antes do “mata-burro” - Cantagalo	3.494	Regional	Ruído e Vibração	Semanal
RV3	586.417	7.771.364	Rua Beira Linha - Pires	.5046	Local	Ruído e Vibração	Semanal
RV4	586.590	7.771.374	Rua Dois, s/n - Pires	4.919	Local	Ruído e Vibração	Semanal

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Ponto	Coordenadas		Localização	Distância da ADA (m)	Área de estudos	Parâmetro	Frequência de Monitoramento
	UTM E (m)	UTM N (m)					
RV5	588058.00	7771498.00	Av. Dr. Iracil Pereira, s/n - Parque da Cachoeira	3.945	Local	Ruído e Vibração	Semanal
RV6B	589132.00	7771949.00	Cantinho do Sossego - Rua São Paulo, s/n - Parque da Cachoeira	3.116	Local	Ruído e Vibração	Semanal
RV7	587.824	7.772.521	Rua São Cristovão, 199 - Parque da Cachoeira	3.240	Local	Ruído e Vibração	Semanal
RV8	587726.00	7771417.00	Rodovia Alberto Flores, 88 - Alberto Flores	4.184	Local	Ruído e Vibração	Semanal
RV9	587811.00	7771314.00	Rodovia Alberto Flores - Alberto Flores	4.228	Local	Ruído e Vibração	Semanal
RV10	587765.00	7775011.00	Rua José Ribeiro, 36 - Tejuco	2.165	Local	Ruído e Vibração	Semanal
RV11	587914.00	7775151.00	Unidade Básica de Saúde - Rua João dos Santos, 43 - Tejuco	2.017	Local	Ruído e Vibração	Semanal
RV12B	587647	7774540	Rua Maria de Oliveira Caldas, 110 - Tejuco	2.343	Local	Ruído e Vibração	Semanal
RV13	586711	7771049	Estrada sem pavimentação (Ponto próximo à porteira de propriedade da Ferrous) - Pires	5.082	Local	Ruído e Vibração	Semanal
EA Pires	586650	7771199	Pires	5.008	Local	Ruído	Diária
EA Parque da Cachoeira 1	588463.00	7771343.00	Parque da Cachoeira	3.909	Local	Ruído	Diária
EA Parque da Cachoeira 2	592692	7773229	Parque da Cachoeira	3.128	Local	Ruído	Diária

Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

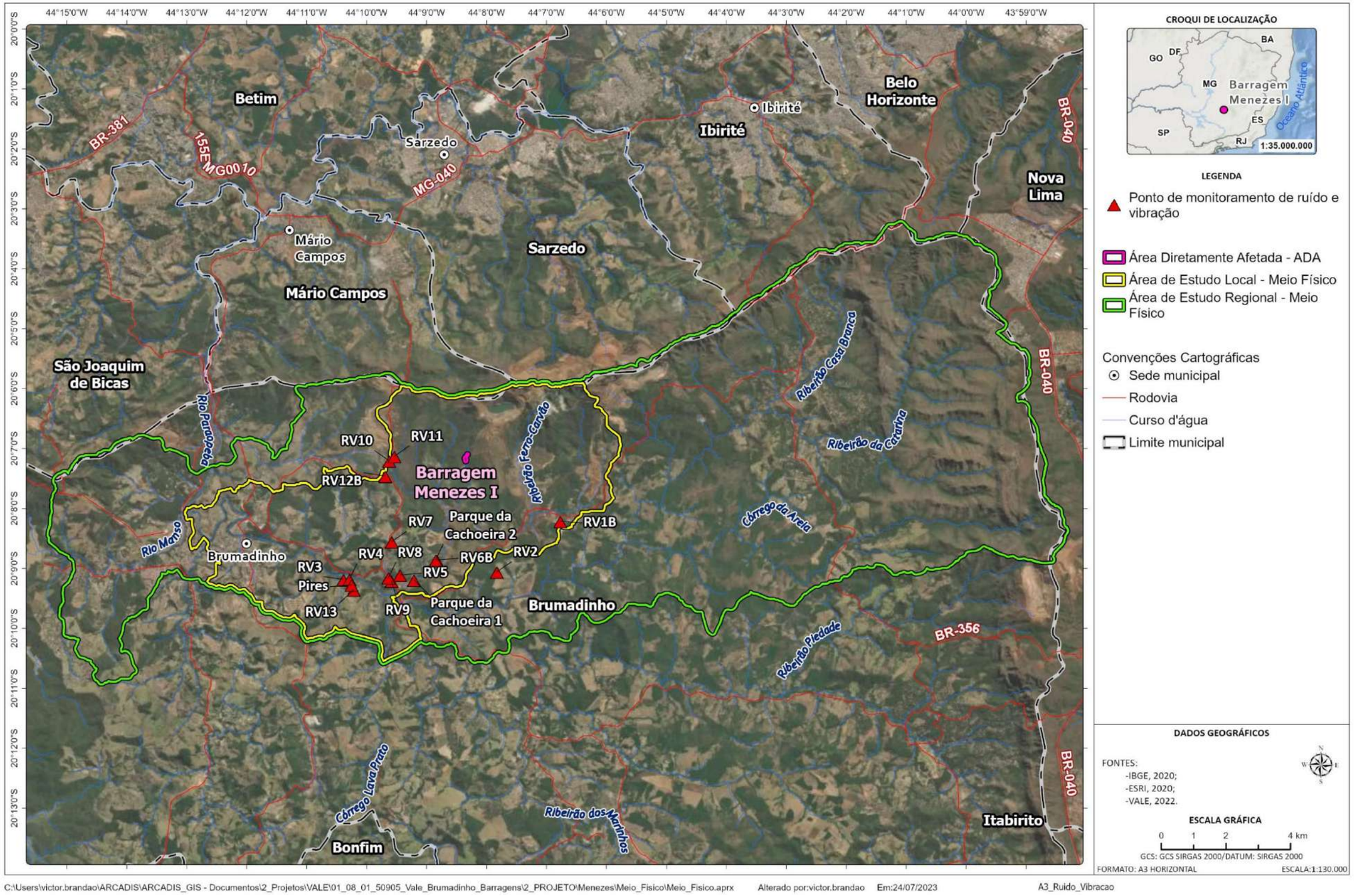


Figura 1-21 - Localização Espacial das Estações de Monitoramento de Ruído e Vibração

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A,2023

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.3.1.2 Periodicidade e equipamentos utilizados

As amostragens manuais de ruído e vibração foram realizadas de forma geral, em tomadas de 10 (dez) minutos, no período diurno (07h às 22h) e noturno (22h01 às 06h59), com periodicidade semanal, onde usualmente, manteve-se o critério de alternância de intervalos de seis dias da semana, alternando horários ao longo das medições. Os equipamentos utilizados no monitoramento manual encontram-se relacionados na Tabela 1-18. A Figura 1-22 apresenta alguns dos equipamentos utilizados e seus respectivos locais de medição.

Além do monitoramento manual supracitado, foram utilizados dados de três estações automáticas para o monitoramento de longa duração, ou seja, de 24 horas. Destaca-se que as estações estão localizadas em pontos estratégicos próximos a habitações e às principais vias de acesso nos bairros Pires e Parque Cachoeira.

No que tange ao período de análise dos dados, é importante destacar que embora o período utilizado para este relatório tenha sido dos anos de 2021 e 2022, alguns pontos e estações apresentam lacunas temporais que vão além da interrupção das medições em função da ocorrência de chuvas[4]. Nesse sentido cita-se o ponto RV8 que por motivos de segurança e solicitação de morador, o qual manifestou a sua posição contrária a continuidade do monitoramento defronte à sua residência, teve o monitoramento interrompido, apresentando dados somente a partir de 31/03/2022. Destaca-se ainda as estações Parque da Cachoeira 1, com medições somente para janeiro de 2021, a estação Parque da Cachoeira 2 com dados de 2021 até fevereiro de 2022 e a estação Pires com dados somente para o ano de 2021. De acordo com relatório de monitoramento, estas falhas são justificadas em função da interrupção no fornecimento de energia local.

Figura 1-22 - Monitoramento de ruído nas comunidades próximas ao projeto

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

[4] De acordo com a ABNT NBR 10151:2019, no item 7.3 - Requisitos ambientais, “As medições não podem ser realizadas durante precipitações pluviométricas, trovoadas ou sob condições ambientais de vento, temperatura e umidade relativa do ar em desacordo com as especificações das condições de operação dos instrumentos de medição estabelecidas pelos fabricantes”.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Tabela 1-18 - Relação dos equipamentos usados e seus respectivos certificados

Quantidade	Equipamento	Certificado de Calibração	Validade da Calibração
1	Sonômetro - Fusion da 01dB Classe 1 -Número de série: 11.567	RBC3-11735-621	17/02/24
1	Sonômetro - SVANTEK-971 - Classe 1 - Número de série: 107483 IECs atendidas (sonômetros e microfones): 61672, partes 1, 2 e 3	126.301	13/07/23
1	Sensor de Vibração (acelerômetro tri axial) - WLS Acoem Modelo CAC1008000 - Nº de série: 20.691	RBC5-11741-432	23/02/24
1	Sismógrafo de engenharia Vibracord Gaia Nº de série: VG0700	VG0700-26052022	26/05/24
1	Calibrador de campo - CAL5000 -Número de série: 17071101211564	RBC2-11712-564	25/01/24
1	Termo-higrômetro anemômetro digital Número de série: R.092801 ANE2801	109464/20	-
1	Câmera fotográfica - Número de série: 5.523.736	NA	-
1	Equipamento GPS - Número de série: 1WS.022.490	NA	-
1	Arial	NA	-

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

1.1.3.1.3 Limites de Referência

O monitoramento da pressão sonora foi realizado em conformidade com a Resolução CONAMA n° 01, de 08 de março de 1990, que determina que sejam atendidos os critérios estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, em sua norma técnica NBR 10.151. Frisa-se que para fins de comparação e avaliação dos níveis de ruído ambiental, considerou-se o nível contínuo equivalente (LAeq) o qual representa o nível médio contínuo da energia sonora equivalente ao sinal variável medido.

A NBR 10.151, de 31 de maio de 2019 - “Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral”, é aplicável para ruídos emitidos em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, sendo considerado recomendável padrões de ruído para conforto acústico.

Os limites do nível de pressão sonora (RLAeq) definidos pela ABNT 10.151/2019 são divididos por tipologias de áreas e em períodos do dia, diurno e noturno, de acordo com a Tabela 1-19. Destaca-se que todos os pontos utilizados para este estudo se enquadram na classificação: “Área mista, predominantemente residencial”, onde os limites de referência, segundo a ABNT, para o período Diurno são 55 dB e para o Noturno 50 dB, assim como os pontos das estações automáticas EA Parque da Cachoeira 1, Parque da Cachoeira 2 e Pires.

Tabela 1-19 - Limites Estabelecidos pela ABNT NBR 10.151/2019

Área	RL_{Aeq} (dB)	
	Diurno	Noturno
Área de sítios e fazendas	40	35

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Área	RL_{Aeq} (dB)	
	Diurno	Noturno
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: Adaptado de ABNT 10.151/2019

A Lei Estadual 10.100/1990 estabelece que são prejudiciais à saúde, à segurança ou ao sossego públicos os níveis de ruído que: (i) atinjam, no ambiente exterior do recinto em que têm origem, nível de som superior a 10 dB(A) acima do ruído de fundo existente no local, sem tráfego; (ii) independentemente do ruído de fundo, atinjam no ambiente exterior do recinto em que tem origem, nível sonoro superior a 70 dB(A) durante o dia, e 60dB(A) durante a noite, explicitado o horário noturno como aquele compreendido entre as 22 horas e as 6 horas, se outro não estiver estabelecido na legislação municipal pertinente.

A Lei municipal nº 2.412/2018 em seu Artigo 4º, informa que: “A emissão de ruídos, sons e vibrações provenientes de fontes fixas no Município obedecerá aos seguintes níveis máximos fixados para suas respectivas emissões, medidas nos locais do suposto incômodo:

- I. em período diurno: 70 dB(A) (setenta decibéis em curva de ponderação A);
- II. em período vespertino: 60 dB(A) (sessenta decibéis em curva de ponderação A);
- III. em período noturno: 50 dB(A) (cinquenta decibéis em curva de ponderação A), até às 23:59 h (vinte e três horas e cinquenta e nove minutos), e 45 dB(A) (quarenta e cinco decibéis em curva de ponderação A), a partir da 0:00 h (zero hora).

No que concerne à vibração, é utilizada a legislação municipal de Brumadinho, Lei nº 2.412/2018 que, entre outros, estabelece: "Art. 6º: As vibrações não serão admitidas quando perceptíveis no local do suposto incômodo, de forma contínua ou alternada, por períodos superiores a 5 min.".

De acordo com estudos de WHIFFIN & LEONARD (1971), as vibrações são perceptíveis quando a velocidade de vibração da partícula de pico (PPV) atinge o valor de 2,0 mm/s. Estas produzem incômodos à população quando são contínuas e atingem o valor de 2,5 mm/s e podem ser incomodativas quando alcançam o valor de 5,0 mm/s. Elas podem ser ainda desagradáveis quando estão entre 10 e 15,0 mm/s.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.3.2 Ruído

1.1.3.2.1 Contextualização das Áreas de Estudo Regional e Local

A. Resultados

a. Período Diurno

Os gráficos a seguir apresentam os resultados do monitoramento de ruído diurno nos anos de 2021 e 2022, para os pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6, RV7, RV8, RV9, RV10, RV11, RV12B, RV13 e estações Parque da Cachoeira 1, Parque da Cachoeira 2 e Pires.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

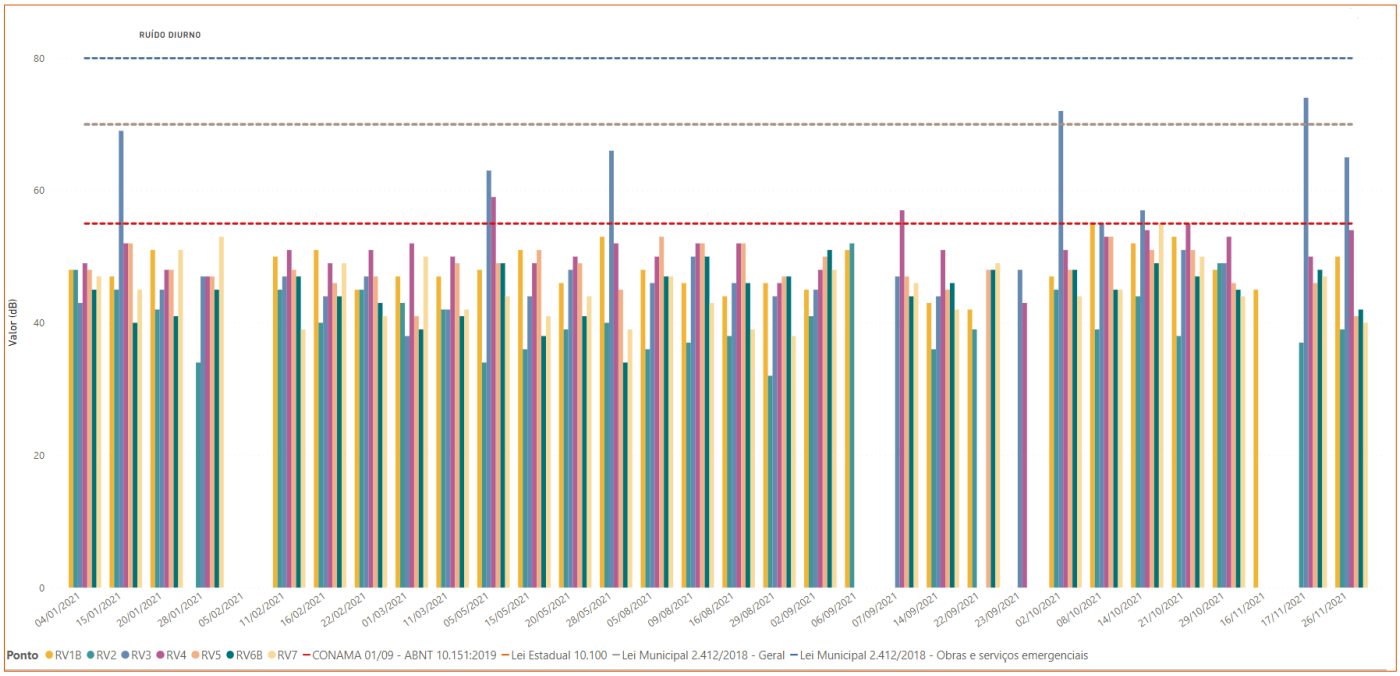


Figura 1-23 - Resultados de ruído diurno nos pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6B e RV7 (2021)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

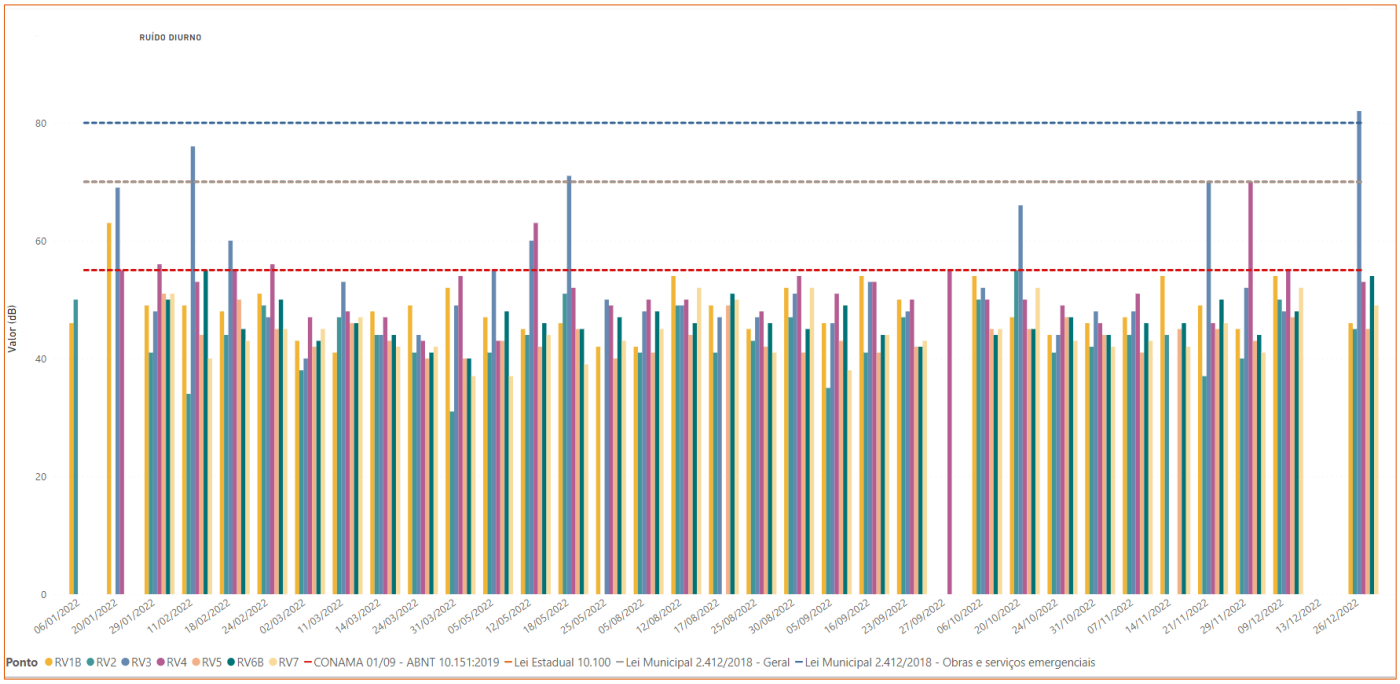


Figura 1-24 - Resultados de ruído diurno nos pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6B e RV7 (2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

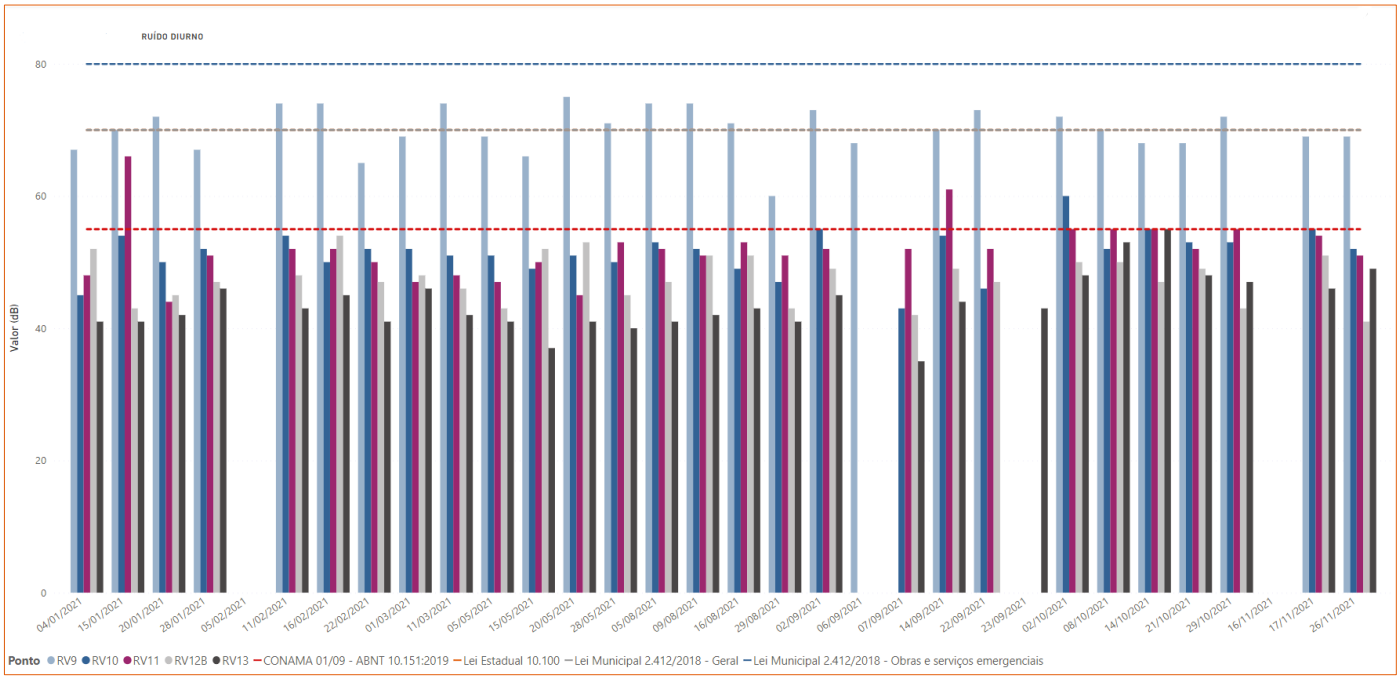


Figura 1-25 - Resultados de ruído diurno nos pontos RV9, RV10, RV11, RV12B e RV13 (2021)[5]

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

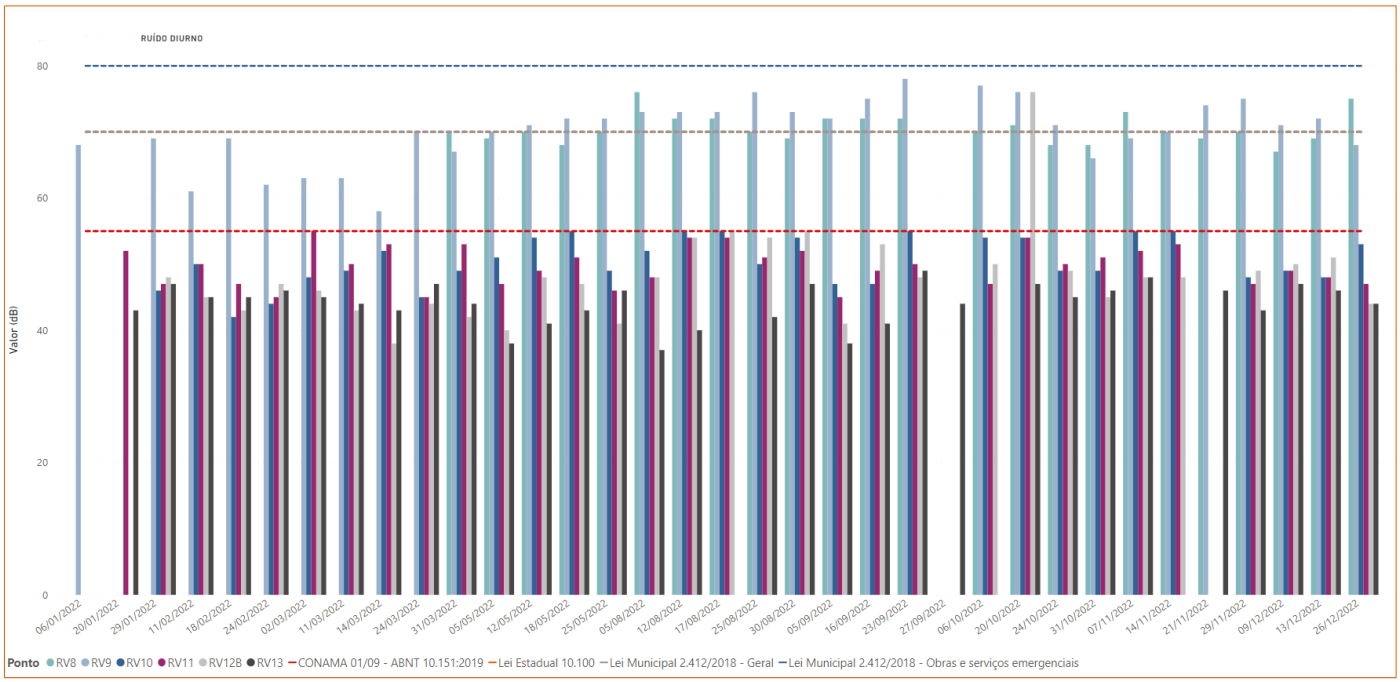


Figura 1-26 - Resultados de ruído diurno nos pontos RV8, RV9, RV10, RV11, RV12B e RV13 (2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

[5] Não houve medições no ponto RV8 para o ano de 2021 devido a solicitação de morador.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

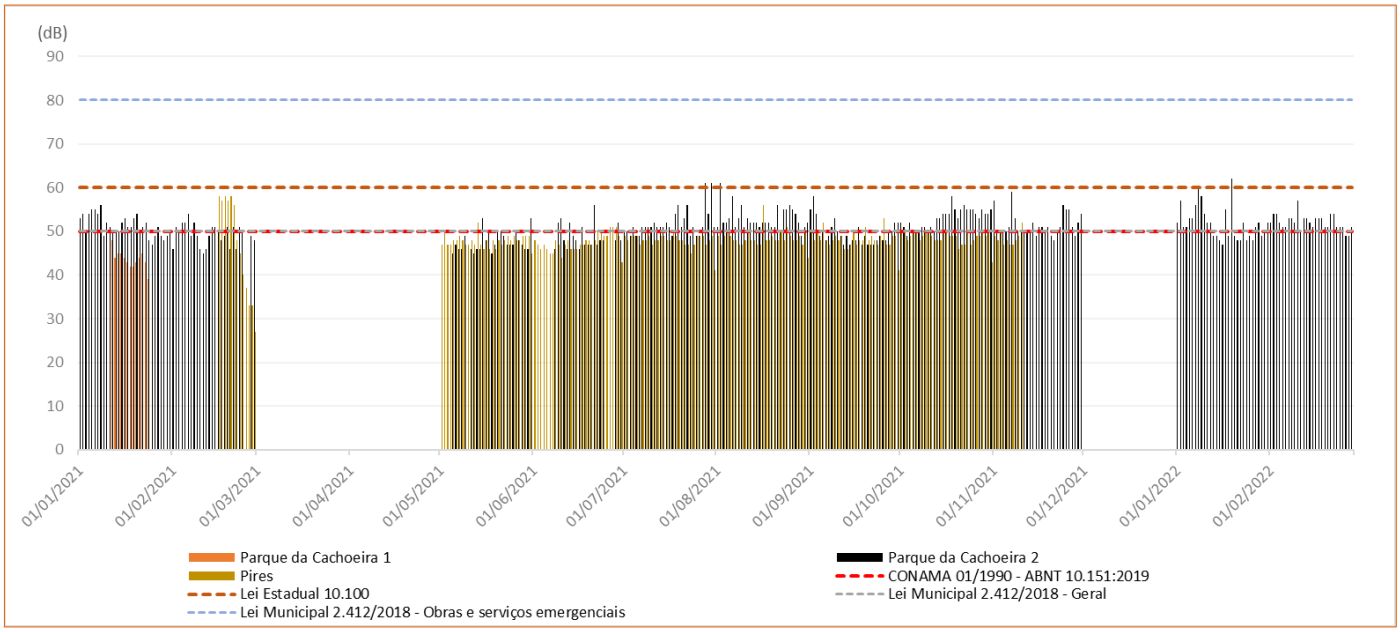


Figura 1-27 - Resultados de ruído diurno - Estações Pires, Cachoeira 1 e Cachoeira 2

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023

A Tabela 1-20 apresenta a síntese dos resultados obtidos nos anos de 2021 e 2022 para o monitoramento diurno, demonstrando a porcentagem de medições que ultrapassaram as legislações vigentes.

Tabela 1-20 - Porcentagem de ultrapassagens de ruído no período diurno (2021 e 2022)

Pontos	NBR 10151 (55dB)	Lei Estadual 10.100 (70 dB)	Lei 2.412/2018 Geral (70 dB)	Lei 2.412/2018* (80 dB)
RV1B	2,56	0	0	0
RV2	0	0	0	0
RV3	24,36	8,97	8,97	1,28
RV4	12,99	1,3	1,3	0
RV5	0	0	0	0
RV6B	0	0	0	0
RV7	0	0	0	0
RV8	68,57	54,29	54,29	2,86
RV9	93,59	51,28	51,28	0
RV10	5,13	0	0	0
RV11	7,79	0	0	0
RV12B	2,6	1,3	1,3	0
RV13	1,32	0	0	0
Estação Parque da Cachoeira 1	7,69	0	0	0
Estação Parque da Cachoeira 2	7,3	0	0	0
Estação Pires	0,48	0	0	0

Fonte: Vale S.A, 2023. Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Os pontos RV8 e RV9, ambos na área de estudo local, apresentam o maior número de medições em desacordo com os limites legais de referência. No ponto RV8 (2022) 68,57% das medições estão acima do limite da ABNT 10.151/2019 (55 dB), 54,29 % de medições acima do limite da Lei Estadual nº 10.100/1990 e da Lei Municipal nº 2.412/2018 (70 dB) e 2,86% de medições acima da Lei Municipal nº 2.412/2018 (obras emergenciais - 80 dB).

No ponto RV9 (2021 e 2022), 93,59% das medições estão acima do limite da ABNT 10.151/2019 (55 dB), 51,28% de medições acima do limite da Lei Estadual nº 10.100/1990 e da Lei Municipal nº 2.412/2018 (70 dB) e nenhuma medição acima do valor referenciado para obras emergenciais conforme Lei Municipal nº 2.412/2018 (80 dB).

Importante destacar que o ponto RV2, localizado na área de estudos regional, não apresentou nenhum resultado acima do limite estabelecido pelas normas vigentes para o período diurno.

De acordo com relatórios de monitoramento realizados pela Brandt Meio Ambiente e disponibilizados pela Vale, tais resultados estão associados ao contexto de uso e ocupação próximos a estas áreas de monitoramento, uma vez que as regiões representadas pelos pontos RV8 e RV9 estão sob influência de atividades antrópicas diversas, como intenso tráfego de veículos/máquinas às margens da rodovia Alberto Flores, incluindo aqueles destinados às obras emergenciais desenvolvidas na Mina Córrego Feijão.

Cabe citar também o ponto RV3, localizado na Rua Beira Linha e o Ponto RV4, localizado na rua Dois, ambos no bairro Pires e área de estudo local, que apresentaram 24,36 % e 12,99% de inconformidades de acordo com a ABNT 10.151/2019 (55 dB), respectivamente, 8,97 % (RV3) e 1,3% (RV4) de medições acima do limite da Lei Estadual nº 10.100/1990 e da Lei Municipal nº 2.412/2018 (70 dB) e 1,28% medições acima da Lei Municipal nº 2.412/2018 (obras emergenciais - 80 dB), esta última somente para o ponto RV3.

De acordo com relatório de monitoramento, os pontos RV3 e RV4 estão localizados próximos a ferrovia, o que influencia o nível de pressão sonora em tais locais, uma vez que é influenciado pela passagem constante de composições ferroviárias. Os demais pontos apresentam medições pouco frequentes acima dos limites estabelecidos pelas referências legais supracitadas.

b. Período Noturno

Os gráficos a seguir apresentam os resultados do monitoramento de ruído noturno nos anos de 2021 e 2022 para os pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6, RV7, RV8, RV9, RV10, RV11, RV12B, RV13 e estações Parque da Cachoeira 1, Parque da Cachoeira 2 e Pires.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

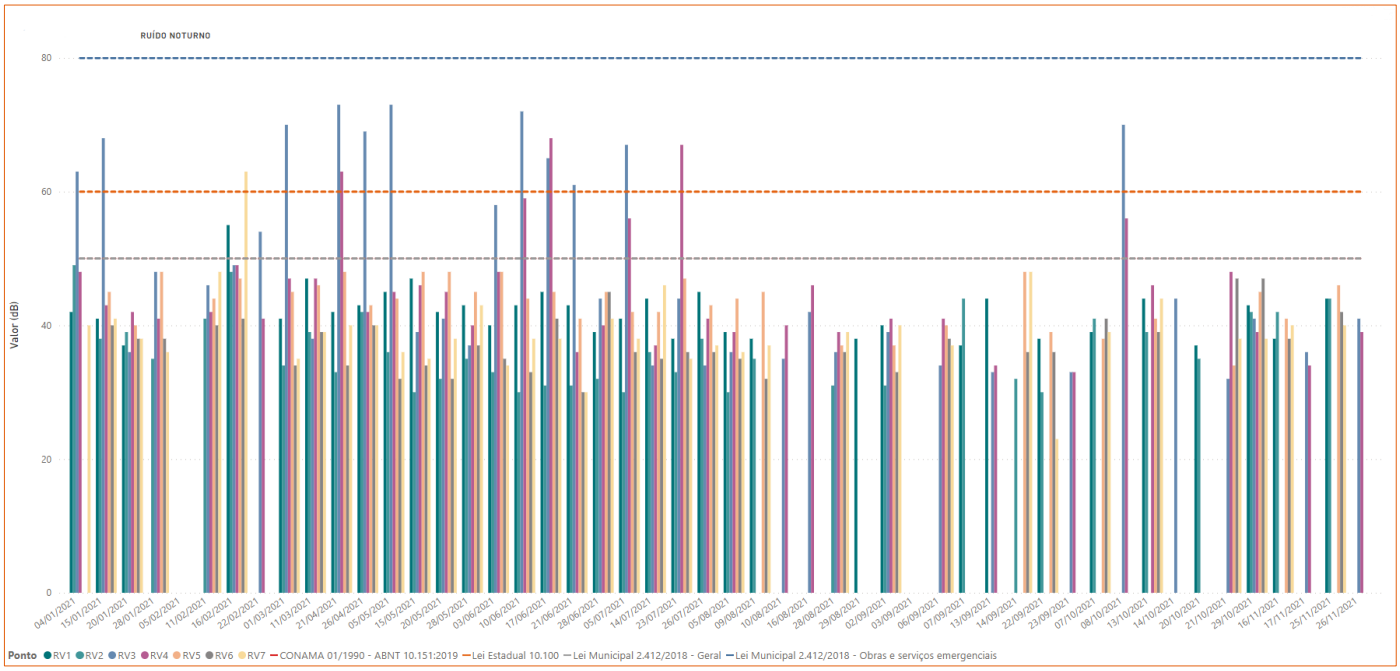


Figura 1-28 - Resultados de ruído noturno nos pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6B e RV7 (2021)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

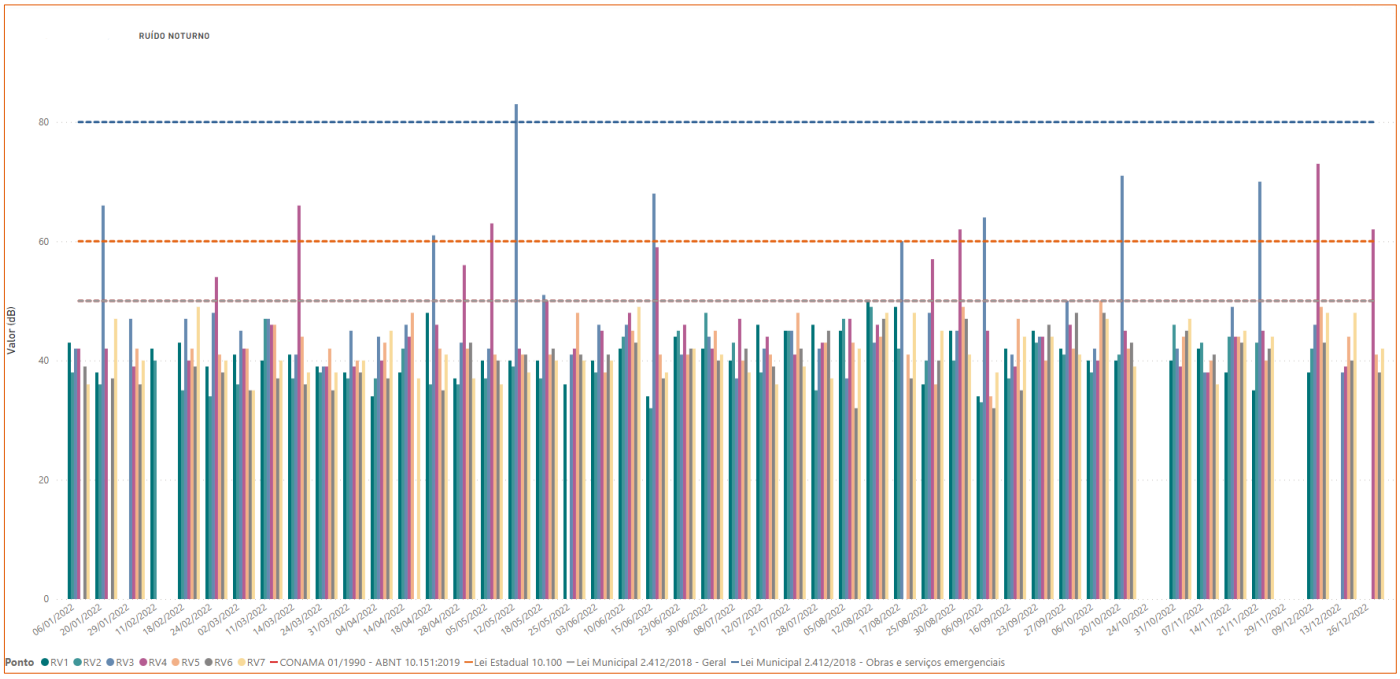


Figura 1-29 - Resultados de ruído noturno nos pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6B e RV7 (2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

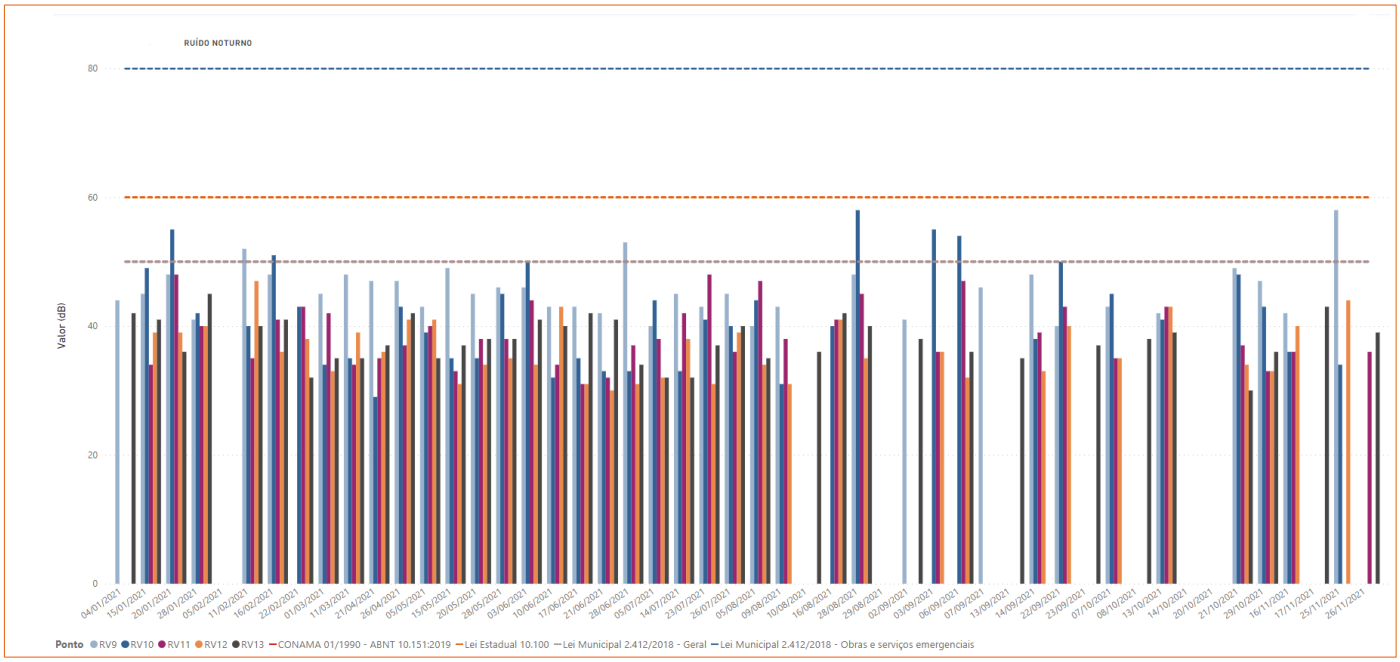


Figura 1-30 - Resultados de ruído noturno nos pontos RV9, RV10, RV11, RV12B e RV13 (2021)[6]

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

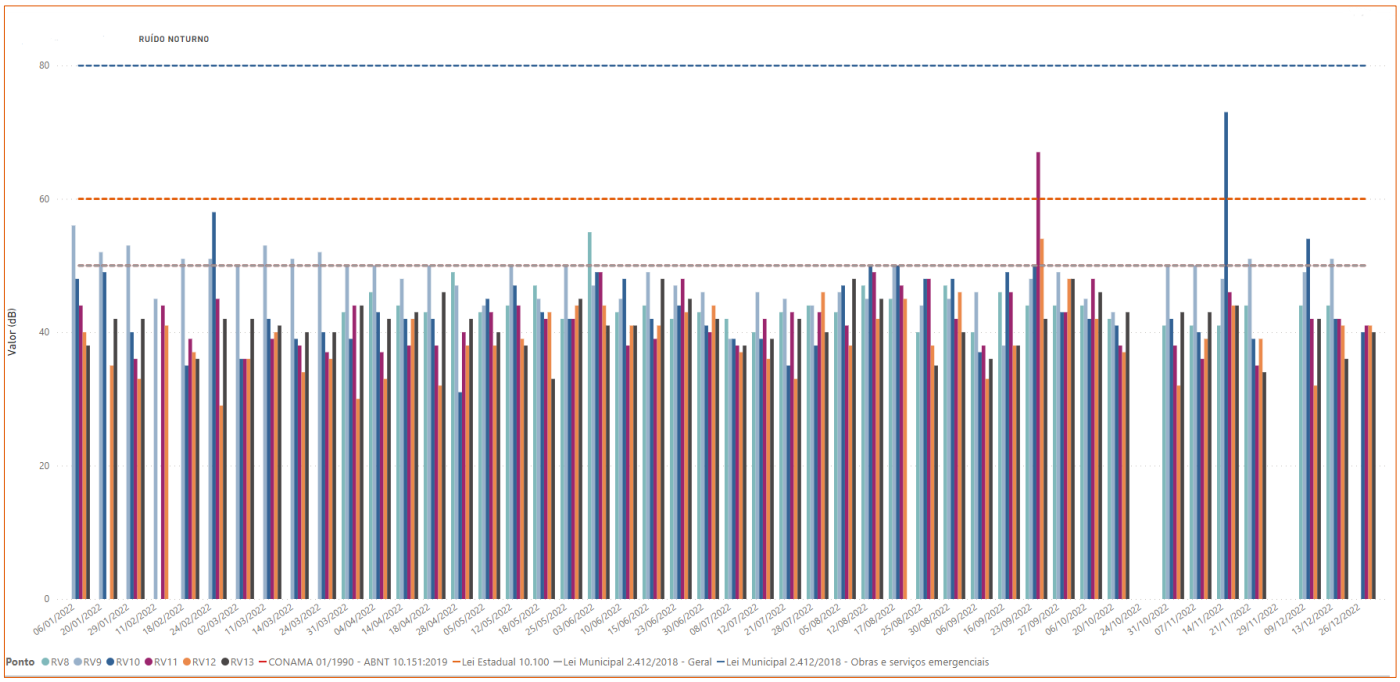


Figura 1-31 - Resultados de ruído noturno nos pontos RV8, RV9, RV10, RV11, RV12B e RV13 (2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

[6] Não houve medições no ponto RV8 para o ano de 2021 devido a solicitação de morador.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

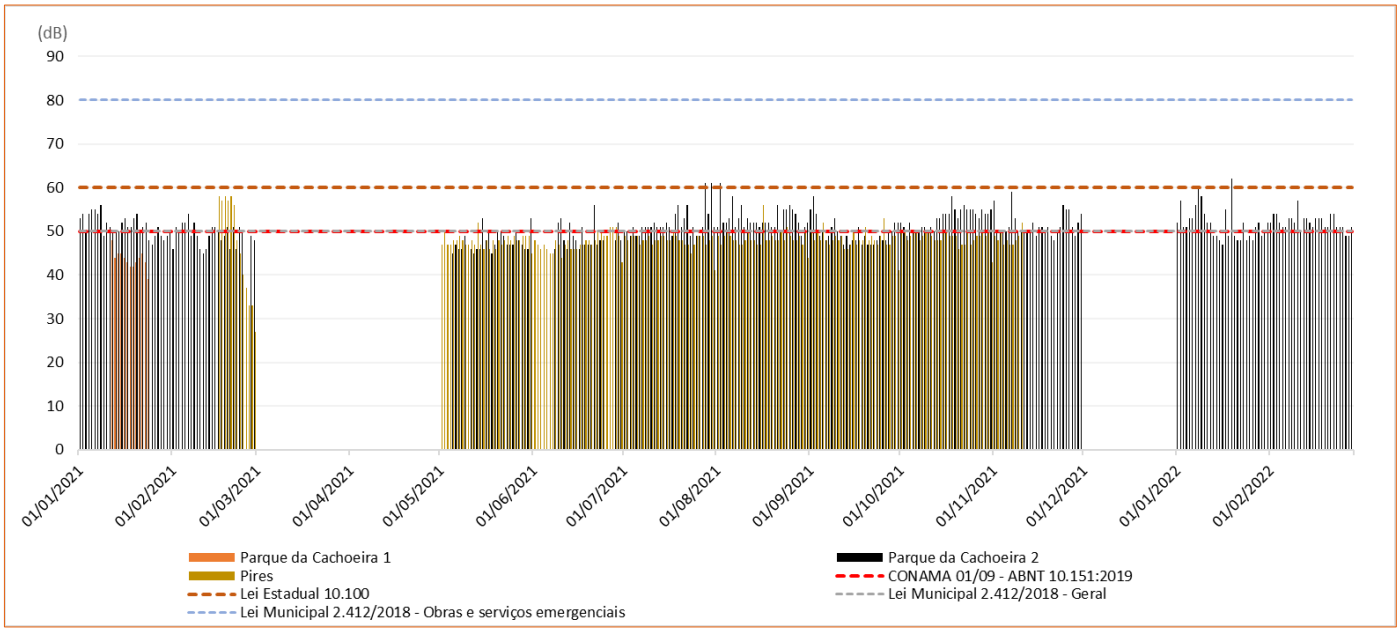


Figura 1-32 - Resultados de ruído noturno - Estações Pires, Cachoeira 1 e Cachoeira 2

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

A Tabela 1-21 apresenta a síntese dos resultados obtidos nos anos de 2021 e 2022 para o monitoramento noturno, demonstrando a porcentagem de medições que ultrapassaram as normas vigentes.

Tabela 1-21 - Porcentagem de ultrapassagens de ruído no período noturno (2021 e 2022) - Valores em porcentagem (%)

Pontos	NBR 10151 (50 dB)	Lei Estadual 10.100 (60 dB)	Lei 2.412/2018 Geral (50 dB)	Lei 2.412/2018* (80 dB)
RV1B	2,11	0	2,11	0
RV2	0	0	0	0
RV3	22.45	5,1	22.45	1,02
RV4	16,33	3,06	16,33	0
RV5	0	0	0	0
RV6B	0	0	0	0
RV7	1,02	0	1,02	0
RV8	2,08	0	2,08	0
RV9	17,35	0	17,35	0
RV10	13,27	1,02	13,27	0
RV11	1,02	1,02	1,02	0
RV12B	1,02	0	1,02	0
RV13	0	0	0	0
Estação Parque da Cachoeira 1	0	0	0	0

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Pontos	NBR 10151 (50 dB)	Lei Estadual 10.100 (60 dB)	Lei 2.412/2018 Geral (50 dB)	Lei 2.412/2018* (80 dB)
Estação Parque da Cachoeira 2	55,73	1,27	55,73	0
Estação Pires	7,73	0	7,73	0

**Obras e serviços emergenciais*

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023.

No período noturno cabe destacar os pontos RV3, RV4, RV9, RV10 e a Estação Parque da Cachoeira 2 (todos localizados na área de estudo local), que apresentaram o maior número de medições em desacordo com os limites legais de referência. O ponto RV3 ultrapassou as legislações ABNT 10.151/2019 e Lei 2.412/2018 Geral (50 dB) em 22,45% das medições, 5,1% quando considerada a Lei Estadual 10.100 (60 dB) e 1,02% Lei 2.412/2018 (80 dB).

Destaca-se que o ponto RV2, localizado na área de estudos regional, não apresentou nenhum resultado acima do limite estabelecido pelas normas vigentes para o período noturno.

O ponto RV4 ultrapassou as legislações ABNT 10.151/2019 e Lei 2.412/2018 Geral (50 dB) em 16,33% das medições, 3,06% quando considerada a Lei Estadual 10.100 (60 dB), entretanto não apresentou nenhuma medição acima do valor referenciado para obras emergenciais conforme Lei Municipal nº 2.412/2018 (80 dB). O ponto RV9 apresentou 17,35% de medições inconformes às legislações ABNT 10.151/2019 e Lei 2.412/2018 Geral (50 dB) e nenhuma medição acima do valor máximo permite de acordo com a Lei Estadual 10.100 (60 dB) e a Lei 2.412/2018 (80 dB).

O ponto RV10 apresentou 13,27% de medições acima do permitido junto às legislações ABNT 10.151/2019 e Lei 2.412/2018 Geral (50 dB), 1,02% quando considerada a Lei Estadual 10.100 (60 dB) e nenhuma medição acima do valor máximo permite de acordo com a Lei 2.412/2018 (80 dB).

É importante destacar ainda a Estação Parque da Cachoeira 2 (área de estudo local) que apresentou o maior número de medições em desacordo com os limites legais de referência. Esta estação ultrapassou os limites estabelecidos pelas normas ABNT 10.151/2019 e Lei 2.412/2018 Geral (50 dB) 55,73% das medições e 1,27% quando considerada a Lei Estadual 10.100 (60 dB). Não houve ultrapassagem dos limites estabelecidos pela Lei Municipal nº 2.412/2018 (80 dB) a qual faz referência às obras emergenciais no município de Brumadinho.

De acordo com relatórios de monitoramento disponibilizados pela Vale, tais resultados estão associados ao contexto de uso e ocupação próximos a estas áreas de monitoramento, uma vez que o ponto RV9 recebe influência do intenso tráfego de veículos/máquinas às margens da rodovia Alberto Flores. Já os pontos RV3 e RV4 encontram-se próximos a ferrovia e recebem influência da constante passagens de trens.

Ainda segundo relatório de monitoramento de pressão sonora, as ultrapassagens aferidas na estação Parque da Cachoeira 2, possuem relação com as decorrentes manifestações da fauna (cigarras, grilos etc.), sobretudo no período chuvoso, época em que estes indivíduos são mais representativos no ambiente.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Os demais pontos apresentam medições pouco frequentes acima dos limites estabelecidos pelas referências legais supracitadas.

1.1.3.3 Vibração

De acordo com o DIN 4150-3:1999, que estabelece limites para a em edificações, a velocidade de vibração de partícula de pico (VPP) para a segurança estrutural deve ser entre 2,5 mm/s e 10 mm/s. Já a ABNT - NBR 9.653/ 2005, estabelece que a velocidade não pode passar de 15 a 50 mm/s, de acordo com a frequência.

A seguir, serão representados os resultados de vibração aferidos no período de 2021 e 2022, correlacionados com as percepções humanas e os efeitos sobre as construções.

1.1.3.3.1 Contextualização das Áreas de Estudo Regional e Local

A. Resultados

A Figura 1-33 e Tabela 1-22 apresenta os resultados do monitoramento de vibração nos anos de 2021 e 2022 para os pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6, RV7, RV8, RV9, RV10, RV11, RV12B e RV13.

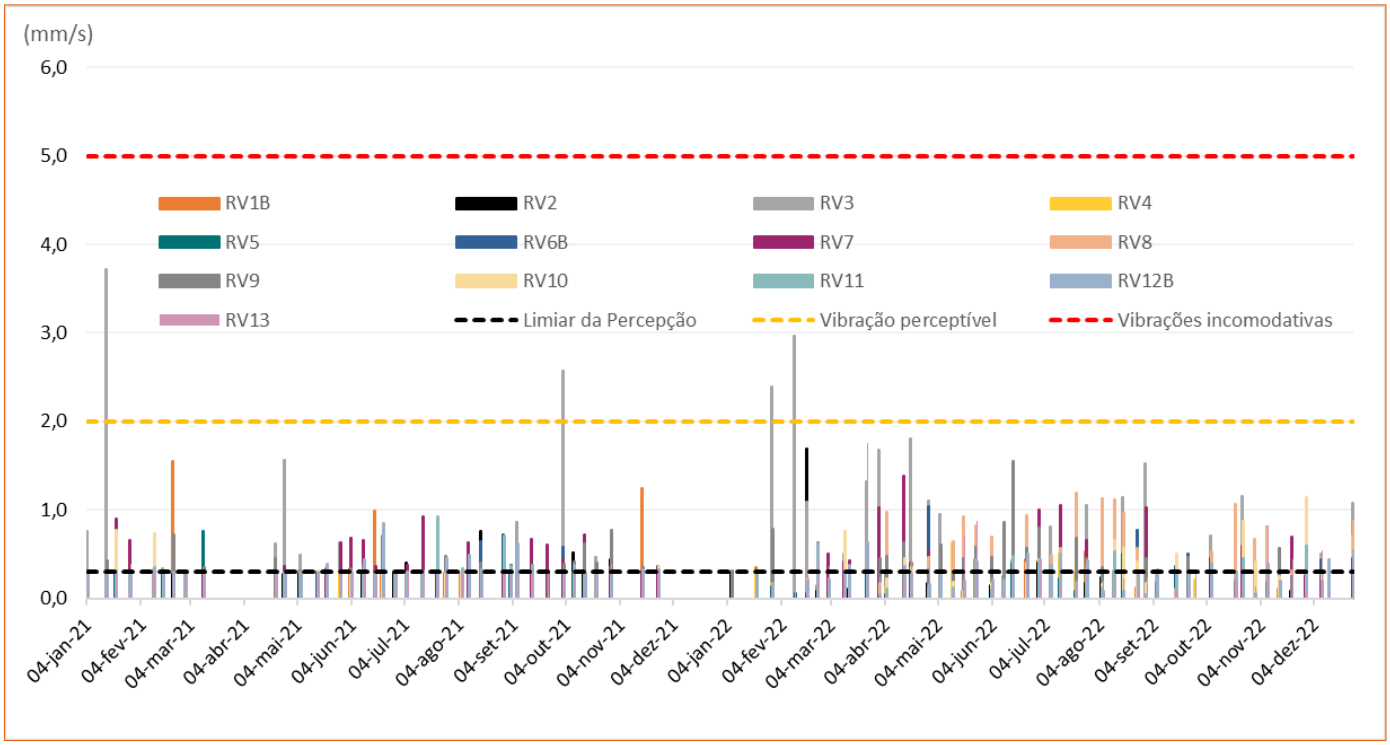


Figura 1-33 - Resultados de vibração dos pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6, RV7, RV8, RV9, RV10, RV11, RV12B, RV13

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Tabela 1-22 - Síntese de resultados de vibração para os pontos RV1B, RV2, RV3, RV4, RV5, RV6, RV7, RV8, RV9, RV10, RV11, RV12B e RV13.

Velocidade de partícula de pico (m/s)	Ocorrências por intervalo	Ocorrências por intervalo (%)	Reação Humana	Efeitos sobre as construções
0 a 0,15	166	18%	Imperceptível pela população, não incomoda	Não causam danos de nenhum tipo
0,15 a 0,3	423	45%	Limiar de percepção	Não causam danos de nenhum tipo
0,3 a 2	427	46%	Vibração perceptível	Vibrações máximas recomendadas para ruínas e monumentos antigos
2 a 2,5	1	0%	Vibrações contínuas produzem incômodo na população	Virtualmente não causa dano arquitetônico a construções normais
2,5 a 5	3	0%	Vibrações incomodativas	Limiar, no qual existe risco de dano às construções
10 a 15	0	0%	Vibrações desagradáveis	Podem gerar danos arquitetônicos

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023.

De acordo com Figura 1-33 e Tabela 1-22, observa-se que a maior parte das medições foram classificadas dentro do limiar de percepção e perceptível a reação humana, representando 90,7% do total das medições. É possível destacar ainda que 17,7% das medições foram imperceptíveis à população, 0,1% dos registros foram de vibrações contínuas e 0,3% de vibrações incomodativas/no limiar no qual existe riscos e danos a construções.

Destaca-se ainda, que de acordo com o gráfico da Figura 1-33, o ponto RV3 apresentou algumas ocorrências acima do limiar de percepção (2 mm/s) que pode produzir incômodo a população, o que pode guardar influência ao nível de pressão vibracional associada a passagem constante de composições ferroviárias próximo a este local.

1.1.3.4 Síntese conclusiva

De acordo com os dados de monitoramento de ruído já estabelecidos pela Vale, os pontos RV1B, RV3, RV4, RV8, RV9, RV10, RV11, RV12B, RV13, Estações Parque da Cachoeira 1, Parque da Cachoeira 2 e Pires (todos inseridos na área de estudo local), apresentaram valores em desacordo com os limites legais de referência para alguns períodos de medição. Dentre estes, o RV8 e RV9 (período diurno) e RV3 e Estação Parque da Cachoeira 2 (noturno), foram os que apresentaram maiores desvios em relação aos valores máximos permitidos. No que tange os níveis de vibração, os resultados demonstram, em sua maioria, intervalos de limiar de percepção e vibração perceptível a população.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Quando considerado todos os pontos de forma conjunta para os anos de 2021 e 2022, no período diurno 10,81% das medições encontram-se em desacordo com a CONAMA 01/1990 - ABNT 10.151/2019 (limite de 55 dB), 4,43% quando considerada a Lei Estadual 10.100 e Lei Municipal 2.412/2018 (limite 70 dB) e 0,13% considerando a Lei Municipal 2.412/2018 - Obras e serviços emergenciais (limite de 80 dB). No período noturno 1,02% das medições ultrapassaram os limites estabelecidos pela CONAMA 01/1990 - ABNT 10.151/2019, Lei Municipal Geral 2.412/2018 (50 dB) e Lei Estadual 10.100 (60 dB). Considerando os limites estabelecidos pela Lei Municipal 2.412/2018 - Obras e serviços emergenciais (limite de 80 dB), não houve nenhum desvio.

Tendo em vista tais resultados, nota-se que a região a qual compreende as áreas de estudos do meio físico já possui níveis de pressão sonora e vibracional, principalmente devido ao contexto de uso e ocupação próximo as áreas de monitoramento, uma vez que algumas das regiões representadas estão sob influência de atividades antrópicas diversas, das quais pode-se citar o intenso tráfego de veículos/máquina, atividades ferroviárias e aquelas destinados às obras emergenciais desenvolvidas na Mina Córrego Feijão.

1.1.4 Geologia

1.1.4.1 Metodologia

O diagnóstico dos aspectos geológicos foi elaborado com base em dados secundários, compilados e modificados a partir de publicações científicas diversas, dentre as quais destacam-se o trabalho de Alkmim e Marshak (1998), onde é apresentado o contexto geotectônico do Cráton São Franscisco e sua inserção no Quadrilátero Ferrífero. Com base na pesquisa bibliográfica relatada, foram descritas as principais unidades litoestratigráficas e o contexto litoestrutural e geotectônico das Áreas de Estudo Regional e Local.

Para a elaboração do mapa geológico que descreve as Áreas de Estudo Regional e Local, foi utilizada a base cartográfica da CPRM, com arquivos vetoriais (shp) da Carta Geológica da Folha Igarapé- SF-23-X-A-II na escala de1:100.000.

A caracterização geológico-geotécnica das rochas e solos abrangidos nas Áreas de Estudo Regional e Local do Meio Físico adotou os critérios de classificação em Unidades Geotécnicas, utilizado no Projeto APA Sul RMBH - Estudos do Meio Físico, Geotecnia (CPRM, 2005) e no diagnóstico realizado por Amplo (2019). A individualização e caracterização das unidades geotécnicas nesse estudo teve como base os produtos temáticos resultantes do Projeto APA Sul RMBH, entre eles, os mapas geológico, geomorfológico e pedológico, em escala 1:50.000, relacionados à Carta Brumadinho. Para a caracterização dos domínios geológico-geotécnicos da área de estudo também se consultou o Mapa de Geodiversidade do Estado de Minas Gerais (CPRM, 2010) e o Mapa Síntese da Geodiversidade do Quadrilátero Ferrífero e entorno como Subsídio ao Planejamento Territorial (CPRM, 2016).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.4.2 Contextualização Geotectônica

As áreas de estudo situam-se na borda oeste do Quadrilátero Ferrífero (QF), considerada a mais importante província mineral do sudeste do Brasil. O Quadrilátero Ferrífero localiza-se na porção centro-sudeste do Estado de Minas Gerais e ocupa uma área de aproximadamente 7.000 km². A denominação "Quadrilátero" se deu em função do arranjo geométrico de sua morfoestrutura e o adjetivo "Ferrífero" em função de suas formações geológicas que contêm tais recursos em quantidade relevante (MACHADO; AZEVEDO, 2012).

A região possui seus vértices delimitados pelos municípios de Congonhas, Mariana, Itabira e Itaúna e é internacionalmente reconhecida como um importante terreno pré-cambriano com significativos recursos minerais, em especial ouro e ferro, com ocorrências subordinadas de depósitos manganesíferos, calcário, bauxita, argila, caulim, dentre outros.

O Quadrilátero Ferrífero tem geometria definida por estruturas de megadobras sinformes e antiformes, truncadas por cinturões de falhas de empurrão, de direção norte-sul em sua porção oriental. As primeiras estruturas estabelecem seus limites norte, sul, oeste e leste, representados pela homoclinal da Serra do Curral e sinclinais Dom Bosco, Moeda e Santa Rita. A leste, além da Sinclinal Santa Rita, os sinclinais Gandarela, Ouro Fino e Conta História apresentam suas feições como amplo arco de direção norte-sul, segmentados pelos cinturões de falhas de empurrão atribuídas ao Ciclo Tectônico Brasiliano (considerado como sucessivos episódios colisionais relacionados à aglutinação de Gondwana ocidental ocorridos no final do Pré - Cambriano) (BALTAZAR *et al*., 2005).

A parte ocidental do Quadrilátero Ferrífero apresenta feições que evidenciam uma deformação transamazônica, representadas por cinturão de dobras e falhas de direção NE/SW e vergência para NW. Ainda na parte ocidental do Quadrilátero Ferrífero, dobras e falhas de empurrão, de direção NW/SE e vergência para SW são atribuídas a uma tectônica Arqueana (BALTAZAR *et al*., 2005).

Vários modelos tectônicos foram propostos para explicar o complexo padrão do Quadrilátero Ferrífero, dentre os quais destaca-se o trabalho de Alkmim e Marshak (1998), que sugerem que o Quadrilátero Ferrífero passou por quatro fases de deformação, baseados em resultados de estudos estruturais e em avalições de dados compilados. Os autores apresentam uma síntese da evolução tectônica da região, apresentada a seguir:

- Formação dos terrenos granito-*greenstone* arqueanos: o embasamento de rochas cristalinas mais antigas da região do Quadrilátero Ferrífero tem idade de 3200 Ma. Todos os fragmentos de crosta continental desta idade serviram como embasamento, e entre 2800-2700 Ma depositaram-se sucessões sedimentares e de rochas verdes (Supergrupo Rio das Velhas), provavelmente em uma margem convergente. O plutonismo granitóide criou um clássico cinturão arqueano granito-*greenstone*, com domos de granitos cercados por porções de *greenstone*;
- Formação da Bacia Minas: entre 2600-2400 Ma, a região do Quadrilátero Ferrífero passou de uma porção plataformal continental para uma bacia de margem passiva. O início desta bacia representa um evento extensional, como indicado pelas fácies e ambientes de deposição do Grupo Caraça (RENGER *et al*., 1993);

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

- Evento Transamazônico (D1): aproximadamente em 2100 Ma, a região do Quadrilátero Ferrífero é envolvida por um cinturão de dobramentos e cavalgamentos com vergência para noroeste, resultando no desenvolvimento de zonas de cisalhamento e dobras em escala regional, bem como, subordinadamente, em dobras parasíticas. O desenvolvimento de um cinturão de dobramentos e cavalgamentos transamazônico ocorreu logo após a deposição do Grupo Sabará, em 2125 Ma;
- Colapso Orogênico Transamazônico (DC): entre 2095 e 2051 Ma, estabeleceu-se, regionalmente, um regime extensional com o desenvolvimento de terrenos em domos e quilhas;
- Rifte Espinhaço (DE): a formação da Bacia Espinhaço se reflete no Quadrilátero Ferrífero com a intrusão de diques de diabásio em torno de 1750 Ma. Entre 1000-900 Ma ocorre desenvolvimento extensional propiciando a formação de uma bacia oceânica (PEDROSA *et al.*, 1992);
- Brasiliano (D2): o segundo evento contracional ocorreu entre 700-430 Ma e criou um cinturão de dobramentos e cavalgamentos com vergência para oeste que reativou antigas estruturas do Quadrilátero Ferrífero. Este evento representa um dos últimos orógenos colisionais que formaram o supercontinente Gondwana resultando, também, na reativação de zonas de cisalhamento e falhas que bordejam os domos com *trends* para oeste.

A Figura 1-34 sintetiza de forma esquemática a evolução geológica da região do Quadrilátero Ferrífero.

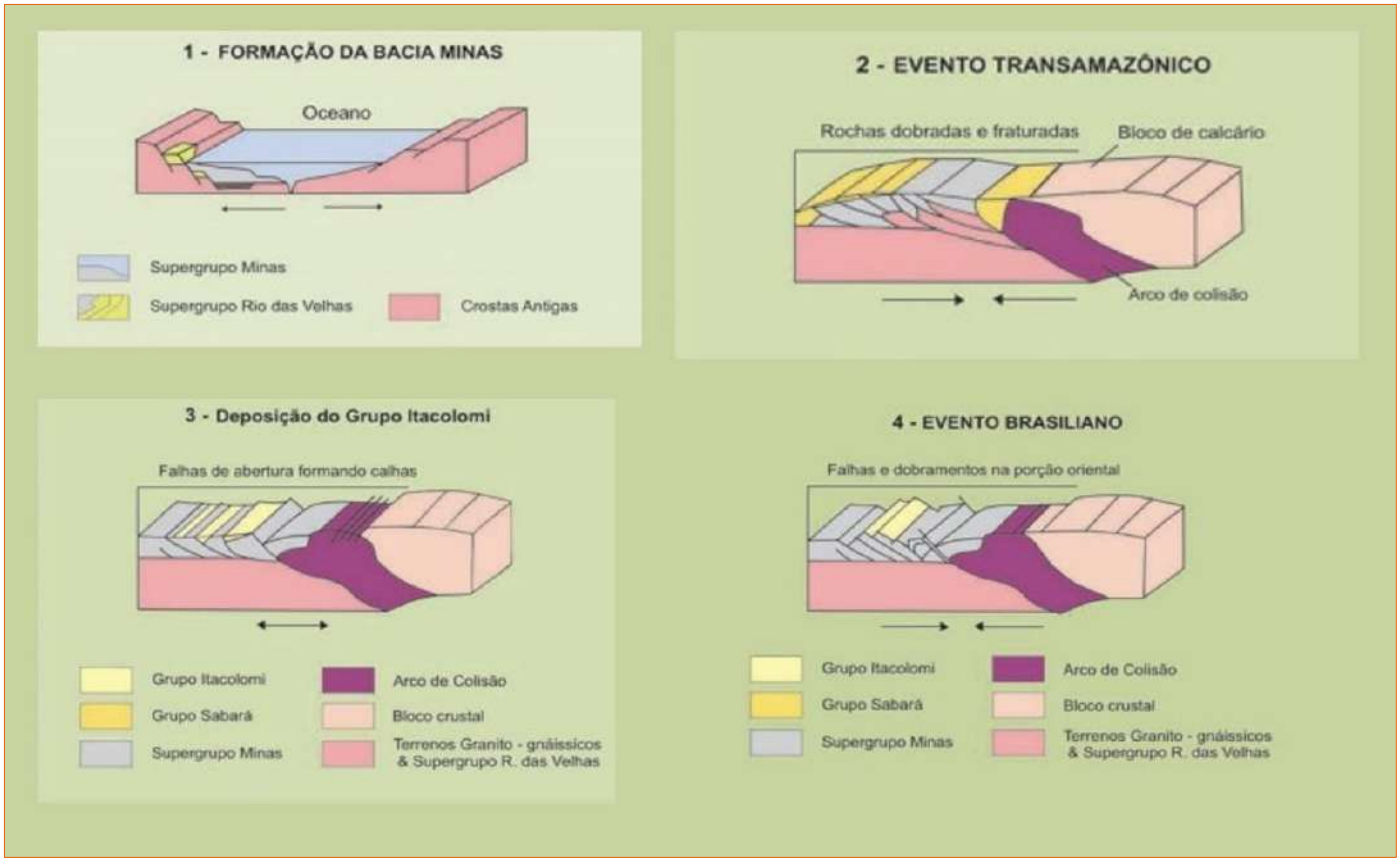


Figura 1-34 - Síntese esquemática para a Evolução Geológica do Quadrilátero Ferrífero

Fonte: Adaptado de Azevedo et al., (2012).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A geologia do Quadrilátero Ferrífero é caracterizada por um complexo metamórfico basal, uma sequência do tipo *greenstone belt*, representada pelo Supergrupo Rio das Velhas, e sequências metassedimentares paleo e mesoproterozoicas representadas pelo Supergrupo Minas, Grupo Sabará, Grupo Itacolomi e Supergrupo Espinhaço, representados na Figura 1-35 (AZEVEDO *et al*., 2012).

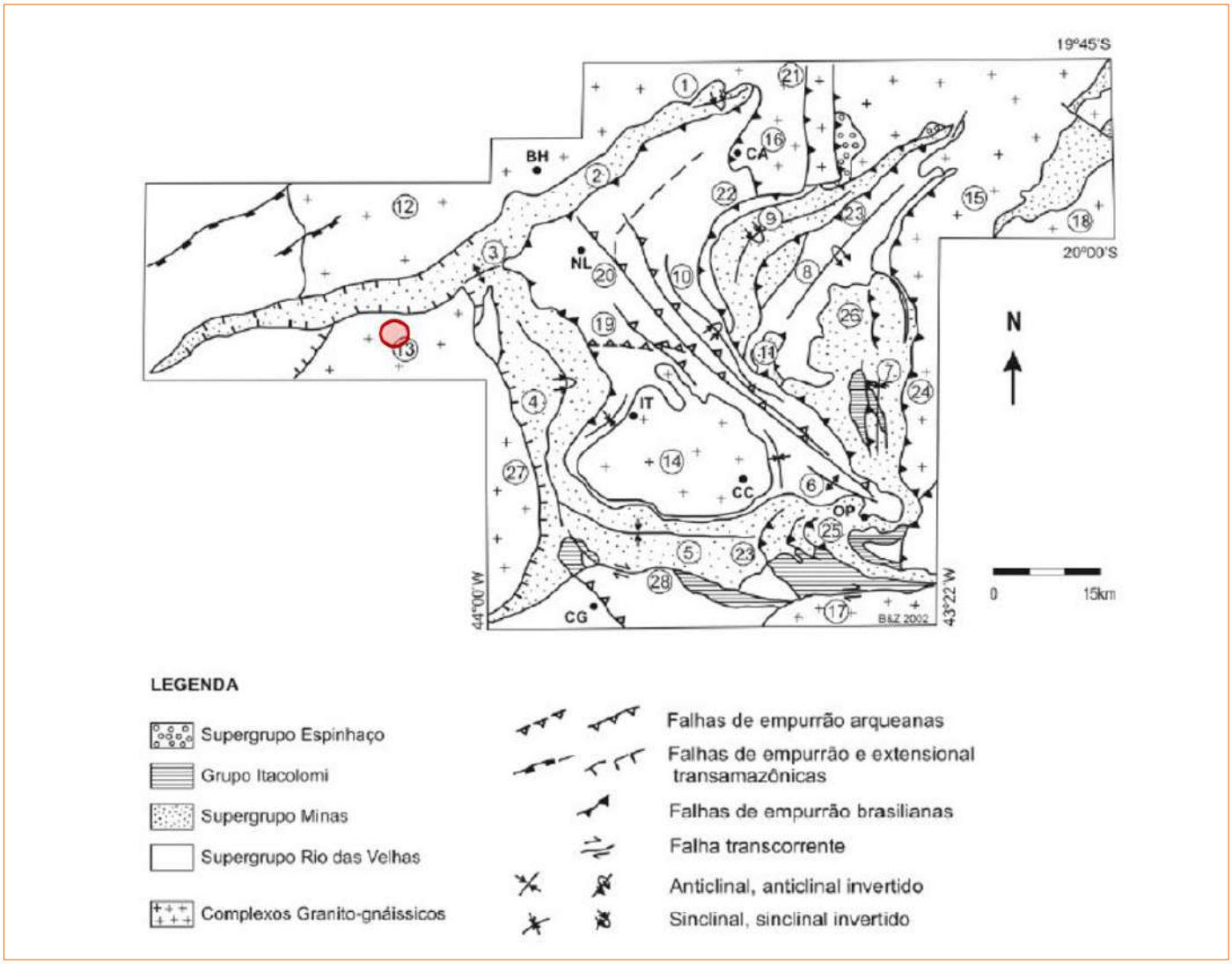


Figura 1-35 - Unidades Litoestratigráficas e principais feições estruturais do Quadrilátero Ferrífero com localização da área de estudo, em vermelho. Dobras: 1) Sinclinal Piedade; 2) Homoclinal Serra do Curral; 3) Anticlinal Serra do Curral; 4) Sinclinal Moeda; 5) S Sinclinal Dom Bosco; 6) Anticlinal de Mariana; 7) Sinclinal Santa Rita; 8) Anticlinal Conceição; 9) Sinclinal Gandarela; 10) Sinclinal vargem do Lima; 11) Sinclinal Ouro Fino. Complexos granito-gnáissicos: 12) Belo Horizonte; 13) Bonfim; 14) Bação; 15) Santa Bárbara; 16) Caeté; 17) Santo Antônio do Pirapetininga; 18) Mantiqueira. Falhas: 19) Bem-Te-Vi; 20) São Vicente; 21) Sistema de Empurrões Córrego do Garimpo; 22) Falha das Cambotas; 23) Fundão; 24) Água Quente; 25) Sistemas de empurrões do Sinclinal Dom Bosco; 26) Sistema de empurrões da serra do Caraça; 27) Zona de Cisalhamento extensional Moeda-Bonfim; 28) Falha Transcorrente do Engenho. Sedes municipais: BH - Belo Horizonte; CC - Cachoeira do Campo; IT - Itabirito; NL - Nova Lima; CA - Caeté; CG - Congonhas; OP - Ouro Preto.

Fonte: Baltazar e Zuccheti (2005) e Baltazar et al.,(2005) in Calux (2013)

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.4.3 Sucessão Litoestratigráfica

A estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero (Figura 1-36) pode ser dividida, em escala regional, em quatro conjuntos maiores, conforme descrição a seguir.

- Terrenos granito - gnáissicos de idade arqueana:

Os complexos metamórficos de rochas cristalinas arqueanas são formados por uma diversidade litológica que afloram nas adjacências e na porção central do Quadrilátero Ferrífero, no denominado Complexo Bação. Esses terrenos foram definidos como embasamento por Alkimin e Marshak (1989) e possuem idades que variam de 3,28 e 2,61 Ga. O embasamento é composto por rochas gnáissicos-migmatíticas polideformadas de composição tonalítica granítica e, subordinadamente têm-se a ocorrência de granitos, granodioritos, anfibolitos e rochas ultramáficas.

- Sequências vulcanossedimentares arqueanas:

O Supergrupo Rio das Velhas é composto por uma sucessão *greenstone belt*, que inclui metavulcânicas (komatiitos, basaltos, vulcanoclásticas) e metassedimentos, incluindo formações ferríferas, carbonatos e terrígenos. Segundo Dorr (1969), as rochas dessas unidades são compostas pelos grupos Nova Lima, Maquiné e Quebra Osso.

O Grupo Nova Lima é a unidade basal do Supergrupo Rio das Velhas sendo constituído por filitos, filitos grafitosos, clorita-xistos, sericita-xistos, metagrauvacas, rochas máficas e ultramáficas, formações ferríferas do tipo Álgoma, metacherts e metadolomitos. formado pelas associações de litofácies, da base para o topo: (1) associação metavulcânica-plutônica máfica-ultramáfica; (2) metavulcano-sedimentar química; (3) metassedimentar química-pelítica; (4) metavulcanossedimentar clástica; (5) metassedimentar clástica marinha (ressedimentada).

O Grupo Quebra Osso foi definido por Schorscher (1978) como uma associação de rochas sotopostas ao Grupo Nova Lima. O Grupo Quebra Osso, unidade basal do *greenstone belt* Rio das Velhas, é considerado um dos principais segmentos do magmatismo ultrabásico no Quadrilátero Ferrífero. Esse grupo indiviso compreende metakomatiítos e, subordinadamente, metatufos ultramáficos e rochas metassedimentares (formações ferríferas bandadas, metachert, filitos carbonosos e fuchsita-quartzo xistos).

O Grupo Maquiné é a unidade de topo do Supergrupo Rio das Velhas e tem ocorrência restrita à porção centro-leste do Quadrilátero Ferrífero. Segundo Dorr (1969), este grupo é composto pelas formações, da base para o topo: Palmital, constituída por quartzitos sericíticos, filitos quartzosos e filitos; e Casa Forte, originalmente definida por Gair (1962), constituída por quartzitos sericíticos, cloríticos a xistosos e filitos (Dorr, 1969).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

- Sequências de coberturas sedimentares e vulcanossedimentares proterozóicas:

O Supergrupo Minas é composto por quatro Grupos: Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará (DORR, 1969). Esta unidade sobrepõe-se geralmente às rochas dos complexos metamórficos e Supergrupo Rio das Velhas em contato tectônico. Esse supergrupo, com idade máxima de 2650 Ma, tem como camada-guia formações ferríferas do tipo Lago Superior. A base da unidade é o Grupo Caraça que apresenta as Formações Moeda, inferior, e Batatal, superior. A Formação Moeda é constituída por quartzitos com intercalações de filito e níveis conglomeráticos. Na Formação Batatal, predominam filitos sericíticos, por vezes carbonosos ou ferruginosos. A unidade intermediária é o Grupo Itabira constituído por uma sequência de metassedimentos químicos iniciada pela Formação Cauê seguida da Formação Gandarela. A Formação Cauê é composta por itabirito, itabirito dolomítico, dolomito ferruginoso e filito. A Formação Gandarela é formada por dolomitos, filito dolomítico e dolomito silicoso. A unidade de topo é o Grupo Piracicaba com as seguintes formações da base para o topo: Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro.

A Formação Cercadinho caracteriza-se pela alternância de quartzitos e filitos, freqüentemente ferruginosos. A Formação Fecho do Funil é constituída por filitos, filitos dolomíticos e lentes de dolomito. Os ortoquartzitos de granulometria fina da Formação Taboões e os filitos e filitos grafitosos da Formação Barreiro são de ocorrência restrita.

O Grupo Sabará, porção mais jovem do Supergrupo Minas, é separado das unidades basais por discordância, contém zircões detríticos de 2125 Ma (Rolim & Alkmim, 2004), é constituído por clorita xistos e filitos, metagrauvacas, metaconglomerados, quartzitos e raras formações ferríferas. Suas rochas afloram praticamente em todo o Quadrilátero Ferrífero. O Grupo Itacolomi é restrito às porções sudeste e sul do Quadrilátero Ferrífero e assenta discordantemente sobre todas as demais unidades. É constituído por quartzitos, quartzitos conglomeráticos e lentes de conglomerados com seixos de itabirito, filito, quartzito e quartzo de veio. Os grupos Sabará e Itacolomi são interpretados, respectivamente, como depósitos sin e pós tectônicos em relação ao Evento Transamazônico (ALKMIM; MARSHAK, 1998). O Supergrupo Espinhaço ocorre na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero, representado pelo pacote quartzítico da serra de Cambotas.

No contexto geológico regional do Quadrilátero Ferrífero, além da sequência estratigráfica descrita anteriormente, destaca-se também a presença de rochas básicas e metabásicas intrusivas que cortam as sequências supracrustais e os terrenos granito-gnáissicos especialmente a oeste de Belo Horizonte e na serra do Caraça.

- Coberturas sedimentares recentes.

O Fanerozoico encontra-se restrito a pequenas bacias intramontanas cenozoicas, como as bacias do Gandarela e do Fonseca, representado essencialmente por rochas pelíticas, linhitos da Formação Fonseca e conglomerados compostos por clastos de itabiritos da Formação Chapada de Canga (AZEVEDO *et al*., 2012). Segundo Baltazar *et al*. (2005), as coberturas sedimentares recentes são principalmente representadas por depósitos de argilas laterizadas (*mudstone*), depósitos elúvio-coluviais com capeamento limonítico (chapadas de canga), sedimentos lacustres e fluviolacustres e coberturas detrito-lateríticas.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

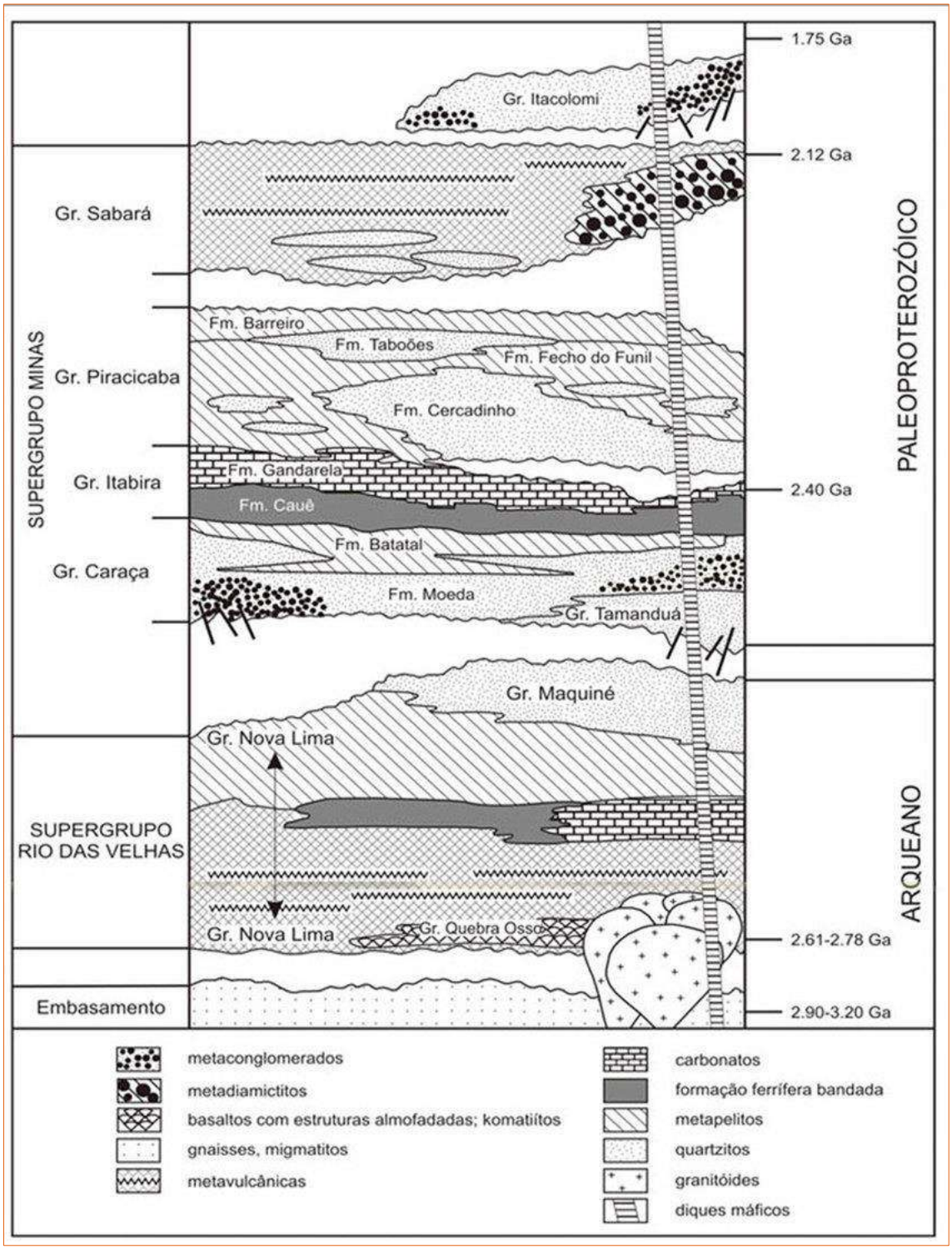


Figura 1-36 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.

Fonte: Alkmim e Marshak 1998

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.4.4 Contextualização da Área de Estudo Regional - AER

Conforme anteriormente apresentado, a Área de Estudo Regional se insere no contexto geotectônico do Quadrilátero Ferrífero, o qual é formado por sequências metavulcanossedimentares de rochas com idades arqueanas a fanerozóicas.

Assim, delimitando-se a abrangência da Área de Estudo Regional sobre a cartografia geológica do Quadrilátero Ferrífero, afloram na região:

(i) Rochas arqueanas, as quais compõem o embasamento cristalino correlato ao Cráton São Francisco (Gnaisse Alberto Flores e Gnaisse Souza Noschese), e rochas do Supergrupo Rio das Velhas representadas pelo Grupo Nova Lima e Grupo Quebra-Osso;

(ii) Rochas proterozóicas, representadas pelo Grupo Caraça (Formações Moeda e Batatal) e pelo Grupo Itabira, e pontualmente do Grupo Piracicaba, sequencias típicas dos dobramentos do Quadrilátero Ferrífero;

(iii) Rochas fanerozóicas, período mais recente, representado pelas coberturas superficiais do tipo Cangas ou Depósitos Coluviais.

O mapa geológico com a delimitação das Áreas de Estudo e das supracitadas unidades geológicas existentes no contexto do Quadrilátero Ferrífero, é apresentado na Figura 1-37 a seguir, sendo a versão do mapa na integra com apresentação de Perfil Geológico Esquemático apresentado no Anexo I - Meio Físico.

.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

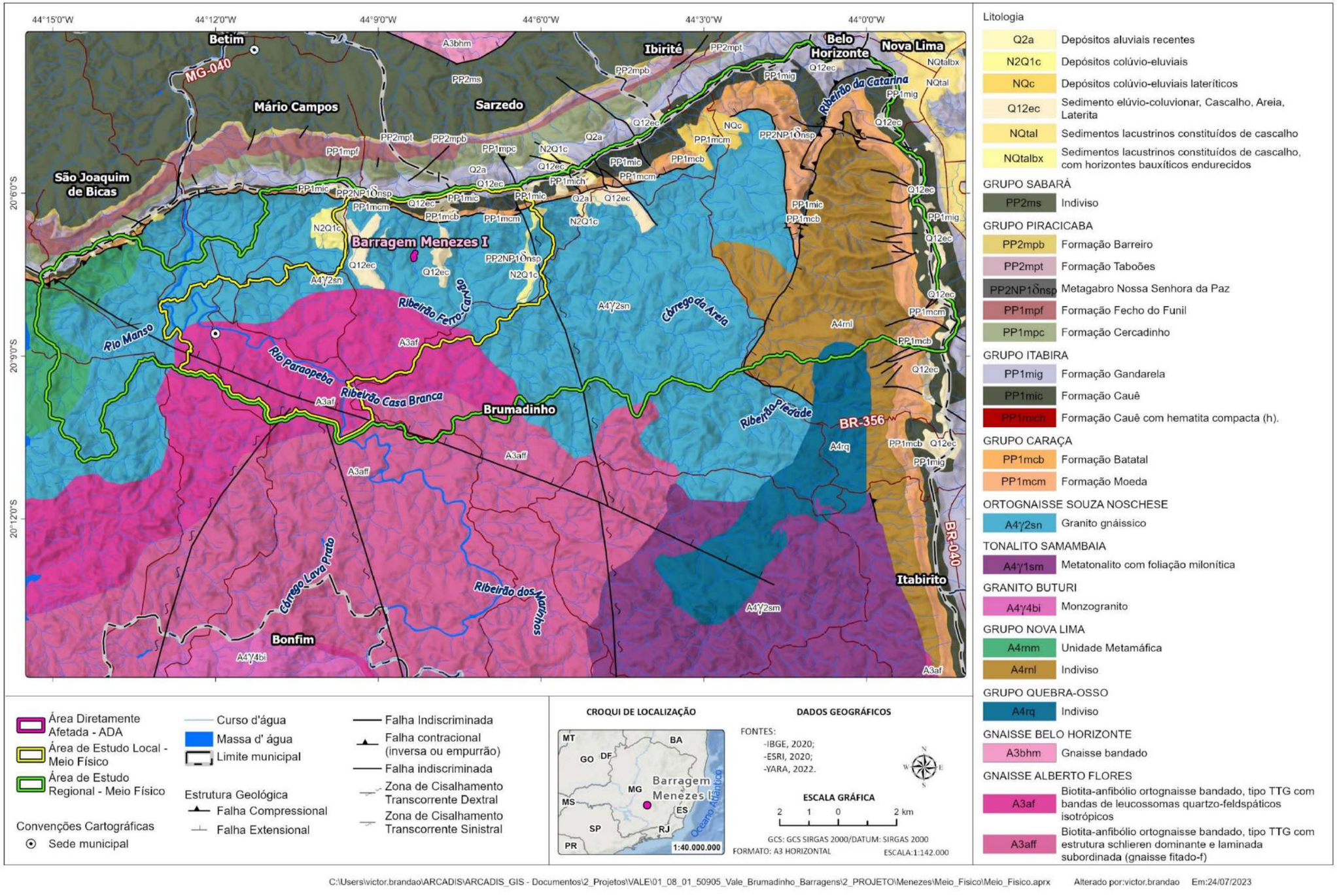


Figura 1-37 - Mapa Geológico da Área de Estudo Regional e Local

Fonte: Elaborador por Arcadis, 2023

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A seguir serão apresentadas as informações contextuais de cada unidade geológica interceptada pela Área de Estudo Regional, correlacionado as formações geológicas aos supergrupos e/ou grupos metassedimentares e apresentando os corpos intrusivos no contexto de embasamento cristalino.

1.1.4.4.1 Sucessões Aflorantes da Área de Estudo Regional

A. Embasamento Cristalino

- Complexo Bonfim

O Complexo está situado na porção oeste da Área de Estudo Regional, em contato com as rochas Gnaisse Sousa Noschese (considerada suíte deste complexo, (CARNEIRO *et al.*, 1997)) a leste e situado a sul do contato com as sequencias paleoproterozóicas distribuídas no contexto da Serra Três Irmãos.

Ocorrem na unidade gnaisse granítico claro, equigranular, granulação média a ortoclásio, plagioclásio e quartzo, com clorita, muscovita e biotita como acessórios. Também ocorrem intrusões de metagabro, de granulação média, equigranulares, com epídoto e plagioclásio. A idade mínima do Complexo Bonfim está situada no intervalo de 2920-2970 Ma de acordo com Noce (1995). De acordo com Carneiro (1992) o domo de Bonfim é constituído por um anel externo de rochas gnáissicas com foliação pouco desenvolvida e um núcleo interno de gnaisse bandados e foliados. Antes da confluência com o ribeirão Ferro-Carvão o rio Paraopeba percorre por rochas desta unidade, carreando material arenoso proveniente do intemperismo das rochas granitognáissicas e dos veios de quartzo distribuídos ao longo deste embasamento. Adicionalmente, convém ponderar que os afluentes da margem direita do Paraopeba drenam os Supergrupos Rio das Velhas e Minas na região da Serra da Moeda, trazendo também contribuições dessas sequências ricas em metais.

- Gnaisse Sousa Noschese

Esta suíte do Complexo Bonfim ocorre com predominância na Área de Estudo Regional, correspondendo a um gnaisse granulítico claro, equigranular, granulação média a ortoclásio, plagioclásio e quartzo, com clorita, muscovita e biotita como acessórios. Neste contexto ocorrem intrusões de metagabro (mgb) de idade incerta, apresentando granulação média, equigranulares, com epídoto e plagioclásio. Na porção sul da AER a suíte estabelece contato com o Complexo Bonfim, e, a norte, com as sequencias metassedimentares paleoproterozóicas do Supergrupo Minas (Grupos Caraça e Itabira). O contato com o Grupo Caraça é tectônico com intensa milonitização contendo alto ângulo, direção E-W e a atitude média da xistosidade é de N40W/60NE, zonas de cisalhamento dúctil-frágil subverticais de direção sub-meridiana secionam o gnaisse e de forma discreta as rochas supracrustais (MDGEO, 2009). A área da Barragem Menezes I assenta-se diretamente sobre as rochas desta suíte.

B. Supergrupo Rio das Velhas

O Supergrupo Rio das Velhas é composto por rochas metavulcânicas e metassedimentares e foi caracterizado por Almeida (1976) e Schorscher (1976) como uma sequência arqueana do tipo *greenstone belt*. As unidades relativas ao Supergrupo Rio das Velhas afloram à leste da área de estudo regional.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

- Grupo Nova Lima

O Grupo Nova Lima é representado por duas unidades, uma indivisa de xistos e filitos saprolitizados, e outra de unidade metamórfica com domínio de metabasaltos alterados.

A unidade indivisa de xistos e filitos é de coloração avermelhada, marrom e cinzenta, classificados como quartzo-sericita-xisto. Recobre grande parte leste da área de estudo regional, em contato com as rochas do gnaisse Souza Noschese e contato tectônico com as unidades proterozóicas do Supergrupo Minas.

A unidade metamórfica de domínio de basaltos alterados representados por clorita xisto e eventuais intercalações de sericitaclorita xisto e BIF's e metapelitos subordinados aflora na porção oeste da área de estudo regional, em contato com o ortognaisse Souza Noschese.

- Grupo Quebra Osso

Unidade pouco expressiva na área de estudo, aflorando apenas em sua porção sudeste. Representada por rocha metamórfica e metaultramáfica saprolitizada, que ocorrem como xistos cloríticos, com intercalações de xisto sericítico, formação ferrífera e *metachert*.

C. Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas, de idade meso a paleoproterozóica (<2,6-2,1 Ga) (BABINSKI *et al*., 1991 e MACHADO *et al*., 1996) é caracterizado por uma sucessão de rochas metassedimentares de origem fluvial a marinha plataformal subdividida, da base para o topo nos grupos Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará, proposta por Dorr *et al*. (1957) e Dorr (1969), com algumas modificações. Na Área de Estudo Regional ocorrem, na porção serrana a norte, rochas do Grupo Caraça e do Grupo Itabira.

- Grupo Caraça

A **Formação Moeda** ocorre em uma estreita faixa de direção aproximada leste-oeste, a norte da AER e em direção norte-sul, a leste da área. Estabelece contato a sul com o embasamento cristalino e a norte com a Formação Cauê. Foi definida por Wallace (1958), sendo seu contato com a Formação Batatal concordante e gradacional. Datações de zircões detríticos indicam o início da sedimentação da Formação Moeda por volta 2.600 Ma. Sua composição é marcada pela presença de quartzito cinza-claro, fino a médio e, subordinadamente, de filito síltico cinzento verde-acinzentado e pardo e de filito síltico-pardo-avermelhado. Localmente podem ocorrer conglomerados. Na área sua espessura varia entre 2 e 30 metros (MDGEO, 2009).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A **Formação Batatal** foi definida por Maxwell (1958) e ocorre, na Área de Estudo Regional, em uma estreita faixa de direção aproximada leste-oeste, sendo constituída predominantemente filito cinza a marrom; filito vermelho-escuro, às vezes carbonoso. A formação ocorre em uma estreita faixa de direção aproximada leste-oeste, a sul a formação estabelece contato como os quartzitos da Formação Moeda e a norte com a Formação Cauê, sendo os contatos apresentados gradacionais. Sua espessura na região é constante na ordem de 100 metros. Normalmente seu contato superior com o contato com a Fm. Cauê é abrupto, porém na área da Mina Córrego do Feijão este encontra-se gradacional com aumento do mineral hematita na composição da rocha (MDGEO, 2009).

- Grupo Itabira

A **Formação Cauê** é uma clássica formação ferrífera bandada (BIF) depositada em plataforma continental. Na Área de Estudo Regional encontra-se localizada em uma faixa distribuída aproximadamente na direção leste-oeste na porção norte que flexiona para direção norte-sul na porção oeste, acompanhando o alinhamento serrano da Serra do Curral (setor Três Irmãos). De acordo com Mourão *et. al*. (2006) na região do homoclinal invertido da Serra do Curral e ao longo de seus prolongamentos apresentam direção uniforme NE-SW e mergulhos variáveis entre 30º e 85º para SE.

A Formação Cauê em sua fácie de hematita compacta, ocorre pontualmente na área de estudo, na porção centro-norte, em contato com as coberturas cenozoicas. A Formação Cauê ocorre como itabirito silicoso. Subordinadamente ocorrem itabiritos dolomíticos e anfibolíticos com pequenas lentes de filito e marga e horizontes manganesíferos. Por espessura aparente na área estudada a formação atinge em torno de 1.000 m. As partes mais intemperizadas da unidade são friáveis e liberam os constituintes mineralógicos com relativa facilidade, contrastando com a rocha fresca, extremamente dura e compacta (DORR, 1969; SILVA *et al*., 2005).

Na Área de Estudo Regional em grande parte, as rochas da Formação Cauê estão associadas às minerações na Serra do Curral, estão cobertas por lateritas do tipo Canga ou dão origem a material coluvionar distribuído ao longo das vertentes serranas.

O itabirito dolomítico localiza-se na base da formação em contato com a Fm. Batatal e possui espessura de 10 a 270 metros, gradando de mais dolomítico na base a mais silicoso no topo, aumentando também sua concentração de ferro. A alteração desta unidade gera frequentemente um material ocre gerando dificuldades para a percolação da água subterrânea. O itabirito silicoso é constituído por laminações intercaladas de hematita e quartzo granular e representa a maior porção dentro da área modelada. O topo da sequência é representado pelos itabiritos anfibolíticos composto por camadas milimétricas a centimétricas de dolomito impuro, magnetita, quartzo-anfibólio-magnetita, hematita-magnetita, anfibólio-magnetita e hematita. Na Mina Córrego do Feijão sua espessura varia entre 750 m até 1750 m (MDGEO, 2009).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A **Formação Gandarela** (DORR, 1958) é composta de dolomitos, mármores, filitos e itabiritos dolomíticos com intercalações de hematita e zonas manganesíferas. Essa formação ocorre de maneira bastante restrita na porção nordeste da Área de Estudo Regional, acompanhando a distribuição espacial da Formação Cauê, em contato normal gradacional (MDGEO, 2009). Os dolomitos são de granulometria fina a média, geralmente de cor vermelha, branca ou cinza, muito característica pela estrutura laminada; podem apresentar estruturas indicativas de fluxo sedimentar e estruturas brechóides. Seu contato inferior com a Formação Cauê é do tipo gradacional.

D. Coberturas sedimentares recentes

Na Área de Estudo Regional as ocorrências de sedimentos cenozoicos formados pelo intemperismo das unidades geológicas presentes incluem depósito aluvionares, colúvio-eluviais e sedimentos elúvio-coluvionar.

Os depósitos coluviais correspondem a fragmentos rolados, constituídos de matacões, calhaus e seixos de hematita, cascalhos argila e areia compacta distribuídos em dois setores da Área de Estudo Regional, recobrindo as vertentes que se sucedem as porções de cimeira da Serra Três Irmãos.

Os depósitos aluviais correspondem a sedimentos de granulometria predominante areia e cascalho, associados secundariamente a silte e argila, que ocorrem nas calhas dos cursos de água. Ocorrem no leito dos cursos de água da Área de Estudo Regional, considerando-se mais expressivos os depósitos do rio Paraopeba, do ribeirão Ferro-Carvão, bem como de pequenos afluentes destes cursos hídricos. As espessuras dos depósitos podem ser métricas. No leito do rio Paraopeba é comum o acúmulo de material areno-argiloso em barras laterais e em barras de canal.

1.1.4.4.2 Classificação Geológico-Geotécnica da Área de Estudo Regional

Conforme mencionado na metodologia, a fim de caracterizar os domínios geológico-geotécnicos da área de estudo fez-se consulta ao Projeto APA Sul RMBH - Estudos do Meio Físico, Geotecnia (CPRM, 2005); bem como a dados de mapeamentos mais recentes realizados pela CPRM, a exemplo: Mapa de Geodiversidade do Estado de Minas Gerais (CPRM, 2010) e Mapa Síntese da Geodiversidade do Quadrilátero Ferrífero e entorno como Subsídio ao Planejamento Territorial (CPRM, 2016).

Será apresentado primeiramente os dados referentes ao Projeto APA Sul - Estudos do Meio Físico, Geotecnia (CPRM, 2005), uma das bibliografias de referência para a contextualização geotécnica da Área de Estudo, tanto regional quanto local, a qual vincula unidades geotécnicas às rochas do Embasamento Cristalino, do Supergrupo Minas e das Coberturas Sedimentares. Assim, apresenta-se a seguir a caracterização geotécnica para cada unidade mapeada.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A. Unidade Canga

A unidade consiste em cangas, níveis de hematita compacta e friável, ocorrências de bauxita e solos lateríticos com concreções. Esses materiais sustentam as cristas homoclinais dos platôs lateríticos e serras. Os tipos de solos são representados pelos Latossolos, Cambissolos e solos Litólicos, todos férricos. Os materiais apresentam capacidade de suporte, em geral, elevada a muito elevada, principalmente nos locais de ocorrências de carapaças e solos litólicos. A escavabilidade é dependente da intensidade de atuação dos agentes intempéricos, podendo variar de moderada a extremamente difícil (CPRM, 2005). Ocorrem na região oeste da Área de Estudo.

B. Unidade Coluvionar

A unidade é constituída por materiais detríticos de granulometria e composição mineral heterogêneas, que incluem coluvios, alúvios e depósitos de tálus. A unidade é composta por blocos, matacões, calhaus, seixos de hematita e outros minerais e rochas, em matrtiz alúvio-coluvial. Ocorre capeando vertentes ao longo de serras, esporões, cristas homoclinais e entulhando áreas aplainadas. Ocorre também capeando anfiteatros representados pelas concavidades estruturais. Os solos consistem em Cambissolos lépticos e Cambissolos típicos. A capacidade de suporte dos materiais é variável de baixa a moderada, condicionada pela variação granulométrica e pela distribuição errática de blocos e matacões. A escavabilidade dos materiais é variável de fácil a moderada, dificultada pela eventual ocorrência de blocos e matacões (CPRM, 2005). Ocorrem capeando vertentes formando depósitos de rampas, ao longo da vertente da serra e entulhando áreas aplainadas.

C. Unidade Dolomitos e Calcários

Consiste em dolomitos, calcários dolomíticos, mármores, com níveis Itabiríticos e de filitos, incluídos no Supergrupo Minas/Grupo Itabira/Formação Gandarela. Ocorre ao longo da Serra do Curral, Sinclinal da Moeda, em relevo de serras, patamares, cristas homoclinais, colinas e morros de cristas aguçadas. Os solos principais consistem dos Cambissolos férricos, Cambissolos lépticos e solos Litólicos.

A capacidade de suporte é variável, de baixa a muito elevada, dependente da intensidade de atuação dos agentes intempéricos. A escavabilidade é variável de fácil a muito difícil, condicionada pela intensidade do intemperismo (CPRM, 2005).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

D. Unidade Filitos

A unidade ocorre associada à Formação Batatal - Grupo Caraça e ocorre em relevo de colinas, em serras e cristas homoclinais associadas com os quartzitos, itabiritos e dolomitos. Os tipos pedológicos consistem nos Cambissolos típicos, Cambissolos lépticos e dos solos Litólicos. As propriedades geotécnicas são fortemente influenciadas pelas características litológicas, sendo dependentes das relações estruturais, das atitudes das descontinuidades e da foliação metamórfica frente os esforços solicitados. A capacidade de suporte varia de baixa, quando paralela à foliação, a alta, quando perpendicular. A escavabilidade é fácil a moderada, quando paralela a foliação e moderada a difícil, quando perpendicular a foliação, sendo condicionada também pelo grau de intemperismo dos materiais (CPRM, 2005).

E. Unidade Gnaisses e Migmatitos

A unidade está relacionada com a ocorrência das rochas do embasamento cristalino. Essas litologias ocorrem bastante intemperizadas e muito estruturadas, com exposições em ravinas e voçorocas de faixas milonitizadas, planos de falhas e zonas hidrotermalizadas. Em alguns locais ocorrem afloramentos sob a forma de lageados e blocos *in* situ (CPRM 2005). Ocorre principalmente em áreas de relevo de colinas. Os tipos de solos são os Latossolos e Argissolos principalmente. A capacidade de suporte é em geral elevada. A escavabilidade é fácil nos locais de ocorrência de solos mais profundos, podendo ser difícil a muito difícil nos locais onde o topo rochoso se apresenta mais elevado.

F. Unidade Itabiritos

A Unidade Itabiritos está relacionada às rochas do Supergrupo Minas, Grupo Itabira - Formação Cauê. Ocorre em relevos de cristas homoclinais, serras, platôs lateríticos e escarpas, e desempenham importante papel na manutenção da morfologia da região. Os tipos de solos predominantes consistem dos solos Litólicos férricos e Litólicos, Cambissolos férricos e Cambissolos lépticos. A capacidade de suporte é em geral muito elevada, sendo dependente da intensidade de atuação dos agentes intempéricos e das condições de confinamento do terreno. A escavabilidade, em geral, é muito difícil, podendo variar de moderada a fácil em locais de ocorrências de dolomitos e filitos e onde os processos intempéricos desenvolveram perfis de solos mais profundos.

G. Classificação geológico-geotécnica recente

O Mapa Síntese da Geodiversidade do Quadrilátero Ferrífero e entorno como Subsídio ao Planejamento Territorial (CPRM, 2016) apresenta revisão bibliográfica mais recente das divisões em domínios geológico-geotécnicos, correlacionando a análise litoestratigráfica de rochas de diferentes formações e/ou grupos a comportamentos geotécnicos semelhantes. Assim, as unidades mapeadas pelo Projeto APA SUL RMBH (CPRM, 2005) são reagrupadas em domínios geológico-geotécnicos de acordo com o compilado de dados de ambos os mapeamentos da CPRM (2010 e 2016), conforme apresentado no mapa da Figura 1-38 e elencados a seguir.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Ao longo da porção norte da Área de Estudo Regional afloram rochas do **Domínio 4 - Sequências metassedimentares proterozóicas dobradas,** de baixo grau metamórfico, relacionadas ao Supergrupo Minas (Grupos Caraça, Itabira, Piracicaba), as quais englobam as rochas das formações Moeda, Batatal, Ganderala e Cauê.

Para as rochas das formações Moeda e Batatal, há alta incidência de litótipos à base de quartzo, bastante duros, abrasivos, de alta resistência ao intemperismo físico-químico, de baixa resistência ao cisalhamento; diferentemente fraturados e estratificados, o que favorece o desprendimento de placas em taludes de corte; alta incidência de descontinuidades geomecânicas e hidráulicas, formadas pela variação litológica e pelos efeitos deformacionais diferenciados. As rochas frescas com moderado a elevado grau de coerência textural tem boa capacidade de suporte e resistentes aos agentes intempéricos.

Já quanto as rochas representativas das formações Gandarela e Cauê somam-se as implicações geotécnicas negativas decorrentes do alto potencial para a existência de pequenas e grandes cavidades subterrâneas, formadas pela dissolução das rochas carbonáticas e sujeitas a desmoronamentos, que podem colapsar bruscamente a superfície, fato comprovado pela existência de dolinas; da diferença entre o grau de intemperismo avançado das rochas carbonáticas e o intemperismo menos avançado do itabirito, que pode ser maciço e bastante duro e intensamente deformado em um local e pode ser pouco deformado, finamente estratificado, friável, erosivo e bastante poroso, permeável e instável, por desplacamento, em outros.

Outro domínio geológico-geotécnica de relevância se refere ao **Domínio 9 - Complexo granítico-gnaisses-migmatíticos** representada pelas rochas da Suíte Souza Noschese, características de heterogeneidade local, principalmente, das diferenciações de arranjo de uma mineralogia essencial, pouco variável, à base de feldspatos, quartzo e biotita. Em afloramentos de rochas duras apresentam alto grau de coerência textural, alta resistência à compressão, boa capacidade de suporte e praticamente são desprovidas de porosidade e permeabilidade primárias. Por outro lado, alteram-se de forma bastante diferenciada, podendo sobrar lajeados e blocos e matacões de rochas frescas em meio ao solo.

Por fim, no contexto geotécnico, cabe apresentar as rochas do Grupo Nova Lima relacionadas ao **Domínio 6 - Das rochas metaultrabásicas e metaultramáficas**, relacionadas ao *Greenstone Belt* Rio das Velhas. Nestes terrenos a variação local das características geotécnicas decorre da diferenciação textural e do grau de intemperismo extremante diferenciado de litotipos cuja mineralogia essencial é mais ou menos homogênea e à base de serpentina, clorita, talco e tremolita e, por vezes olivina (minerais de baixa resistência ao intemperismo físico-químico, que conferem às rochas plasticidade, cerosidade e fissilidade bastante elevadas). Por isso, principalmente quanto alteradas por desplacamento, se desestabilizam com muita facilidade em taludes de corte.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

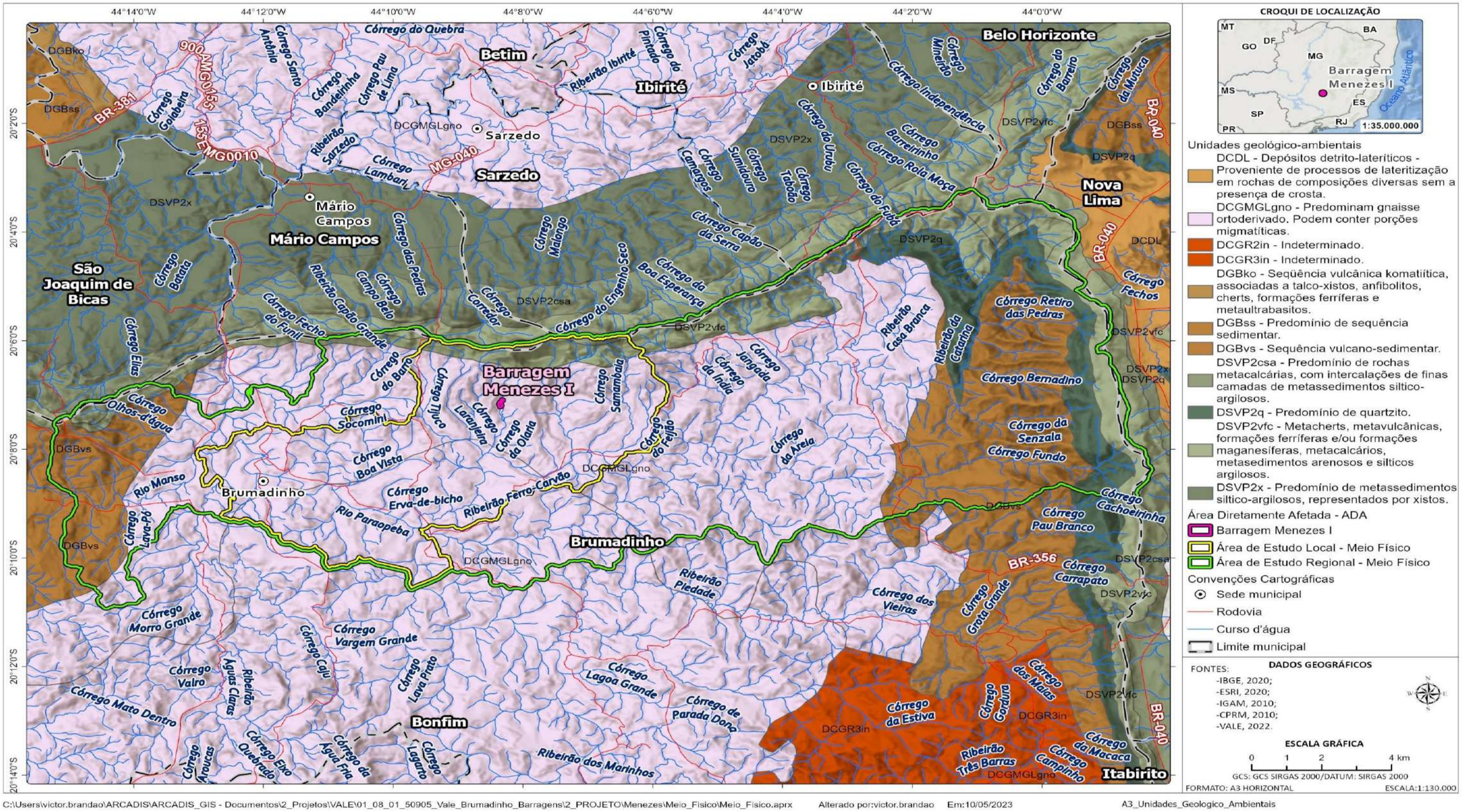


Figura 1-38 - Mapa dos domínios geológico-geotécnicos do Quadrilátero Ferrífero

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.4.5 Contextualização da Área de Estudo Local - AEL

Como a Área de Estudo Local se refere a um refinamento poligonal a partir da delimitação da Área de Estudo Regional, observa-se que, a partir da análise do mapa geológico apresentado na Figura 1-37, bem como no Anexo I - Meio Físico, todas as unidades geológicas descritas no contexto da geologia regional - com exceção apenas para as rochas do Grupo Quebra-Osso e Grupo Nova Lima (unidades indivisa e metamórfica) do Supergrupo Rio das Velhas - são interceptadas no recorte espacial da área local.

Assim, considerando a abrangência da Área de Estudo Local, assume-se a mesma contextualização litoestratigráfica e geotectônica que foi abordada na caracterização geológica regional para o Embasamento Cristalino (Complexo Bonfim e Suíte Gnaisse Sousa Noschese), Supergrupo Minas (Grupo Itabira e Grupo Caraça); bem como os depósitos aluviais e coluviais quaternários.

Cabe mencionar que a área do Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I se insere sobre os migmatitos e gnaisses da Suíte Sousa Noschese, sendo que no contexto local das obras afloram blocos e matacões de rochas nas áreas escavadas do relevo, seja por ação antrópica ou ação natural da dinâmica superficial. No caso de intervenção antrópica, observa-se por exemplo afloramento de rocha nas proximidades dos taludes da barragem, conforme ilustrado na Figura 1-39. Pela ação da dinâmica superficial erosiva afloram, por exemplo, blocos de rocha expostos pelo intemperismo físico das águas fluviais, entalhando o canal de drenagem local pertencente ao curso d'água do Córrego Olaria (Figura 1-40).

Figura 1-39 - Afloramento de rocha no talude de corte pertencente à estrutura da Barragem Menezes I

Fonte:Arcadis, 2023

Figura 1-40 - Afloramento de blocos e matacões de rocha em nível de drenagem local

Fonte:Arcadis, 2023

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.4.5.1 Classificação Geológico-Geotécnico da Área de Estudo Local

Considerando como literatura de referência o Mapa Síntese da Geodiversidade do Quadrilátero Ferrífero e entorno como Subsídio ao Planejamento Territorial (CPRM, 2016), ao avaliar as unidades geológico-geotécnicas aflorantes na Área de Estudo Local - conforme apresentado Figura 1-38 - observa-se que a unidade geológico geotécnica que abrange maior proporção territorial da Área de Estudo Local é do Domínio 9 representada pelas rochas gnáissicas da Suíte Souza Noschese; e no limite extremo norte da área afloram rochas do Domínio 4 representadas por metacherts, BIF´s metamorfizados e metacalcários. Ambos os domínios são equivalentes respectivamente às Unidades Gnaisses/Migmatitos e Itabiritos classificadas por CPRM (2005).

Á área do Projeto de descaracterização da Barragem Menezes I, inserida na Área de Estudo Local, também se situa sob o contexto geológico-geotécnico do Domínio 9 representada pelas rochas gnáissicas da Suíte Souza Noschese. Em afloramentos de rochas duras apresentam alto grau de coerência textural, alta resistência à compressão, boa capacidade de suporte e praticamente são desprovidas de porosidade e permeabilidade primárias. Por outro lado, alteram-se de forma bastante diferenciada, podendo sobrar lajeados e blocos e matacões de rochas frescas em meio ao solo.

1.1.4.6 Síntese Conclusiva

A geologia do Quadrilátero Ferrífero é caracterizada por um complexo metamórfico basal de idade arqueana, uma sequência do tipo *greenstone belt*, representada pelo Supergrupo Rio das Velhas, e sequências metassedimentares paleo e mesoproterozoicas representadas pelo Supergrupo Minas, Grupo Sabará, Grupo Itacolomi e Supergrupo Espinhaço. Na Área de Estudo Regional afloram rochas do embasamento cristalino (arqueano), do Supergrupo Rio das Velhas e Supergrupo Minas, sendo a porção espacial mais significativa de rocha aflorante representada pelos ortognaisses arqueanos da Suíte Souza Norchese. Na Área de Estudo Local está unidade geológica também é a mais representativa, a qual abrange cerca de 50% da AEL.

Desse modo, na Suíte Souza Norchese predomina corpo gnaissico granulítico claro, equigranular, de granulação média, composta de ortoclásio, plagioclásio e quartzo; sendo clorita, muscovita e biotita os minerais acessórios. Neste contexto ocorrem intrusões de metagabro (mgb) de idade incerta, apresentando granulação média, equigranulares, com epídoto e plagioclásio. A área da Barragem Menezes I assenta-se diretamente sobre as rochas desta suíte.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

No contexto geológico-geotécnico, cabe mencionar que diversas são as unidades de competências geotécnicas diferentes que se inserem na Área de Estudo Regional, sendo elas: unidade de canga, coluvionar, de dolomitos e calcários, de filitos, de gnaisses e migmatitos, e de itabiritos. Dado que na Área de Estudo Local afloram em maior proporção espacial as rochas da Suíte Souza Norchese, as mesmas representam a unidade de gnaisses e migmatitos (CPRM, 2005). Esta unidade foi posteriormente reagrupada como **Domínio 9 - Complexo granítico-gnaisses-migmatíticos** (CPRM, 2010, 2016) representada pelos gnaisses com características de heterogeneidade local, com alto grau de coerência textural, alta resistência à compressão, boa capacidade de suporte e praticamente desprovidas de porosidade e permeabilidade primárias. Por outro lado, alteram-se de forma bastante diferenciada, podendo sobrar lajeados e blocos e matacões de rochas frescas em meio ao solo.

1.1.5 Geomorfologia

1.1.5.1 Metodologia

Este item foi desenvolvido a partir de dados secundários disponíveis na literatura que trata dos aspectos físicos do Quadrilátero Ferrífero. Para análise do contexto geomorfológico regional usou-se como referência de maior relevância o documento Projeto APA Sul RMBH - Estudos do Meio Físico: Geomorfologia (MEDINA *et al.*, 2005); bem como consulta ao mapeamento geomorfológico nacional e as suas respectivas bases de dados de unidades geomorfológicas, compartimentos, padrões de relevo, modelos digitais de elevação e mapeamentos hipsométricos conforme constam disponíveis no portal BDIA- Banco de Dados de Informações Ambientais, elaborados a partir do Mapa de Unidades do Relevo do Brasil do IBGE (1993 e 2006).

Visando uma análise geomorfológica em maior nível de detalhe, o diagnóstico da Área de Estudo Local se baseou em estudos pretéritos realizados pela Vale S/A e consultorias, principalmente no Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba - Volume I, Capítulo I e Volume II, Capítulo II (ARCADIS, 2022a e ARCADIS, 2022b) e no Estudo de Impacto Ambiental - EIA elaborado para o Licenciamento Ambiental Corretivo das Obras Emergenciais decorrentes da ruptura da Barragem da Mina Córrego do Feijão e Recuperação Ambiental de sua Área de Influência - Volume II (AMPLO, 2019).

Para a avaliação a processos de dinâmica superficial, como erosão (laminar e/ou linear), movimentação de massa, deslizamentos, rastejamentos, tombamentos, bem como processos de inundação e alagamentos, fez-se consulta à Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Brumadinho/MG (CPRM, 2023); a qual apresenta em escala 1:70.000, mapeamento recente para áreas de risco do município.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Cabe mencionar que em fevereiro de 2023 ocorreu visita técnica de campo por equipe especializada do Meio Biótico visando caracterização da flora terrestre. Dentre as atividades de campo para coleta de dados, foram feitos diversos registro fotográficos para auxiliar na caracterização ambiental da área do empreendimento. Dentre as diversas fotografias, algumas foram selecionadas para serem apresentadas na caracterização geomorfológica da área de estudo. Desse modo, para a caracterização dos padrões de relevo da área de estudo e avaliação dos processos de dinâmica superficial, além da consulta a base de dados secundários das bibliografias de apoio, são apresentados registros fotográficos afim de melhor descrever as análises geomorfológicas para a área de interesse.

1.1.5.2 Contextualização Geomorfológica

Neste item apresenta-se a contextualização geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero necessária para o entendimento dos processos de formação dos domínios morfoestruturais, morfoesculturais bem como dos padrões de relevo para a Área de Estudo Regional e Local.

O Quadrilátero Ferrífero corresponde a um dos mega compartimentos geomorfológicos mais singulares de Minas Gerais. Sua área é aproximadamente 7.000 Km², com altitudes médias de 800-1000 metros, que são frequentemente dominadas por linhas de cristas que ultrapassam a altitude 2000 metros na Serra do Caraça (AMPLO, 2019). Varajão (1988) resumiu a região da seguinte maneira: "o Quadrilátero Ferrífero constitui um mosaico formado por províncias geomorfológicas ligadas diretamente às condições estruturais, nas quais variações na declividade das vertentes e, sobretudo, variações altimétricas se relacionam a variações litológicas". Há também uma discussão em torno do papel da atividade tectônica cenozóica na dissecação dos remanescentes de antigas superfícies de aplainamento (ex.: SAADI, 1991; MAGALHÃES; SAADI, 1994a, 1994b; MARQUES *et al*.,1994).

A Área de Estudo Regional se insere no setor da Serra do Curral denominado localmente como Serra Três Irmãos, na porção oeste do Quadrilátero Ferrífero. Trata-se de um relevo moldado numa complexa estrutura de cadeia, várias vezes redobrada, onde pacotes de quartzitos e itabiritos desenham um sistema quadriculado de cristas em posição topográfica dominante com relação às depressões periféricas escavadas nos granitos, gnaisses e outros metamorfitos, ao longo de dezenas de milhões de anos.

Em um contexto local, a Área de Estudo se insere na bacia hidrográfica do rio Paraopeba que integra o conjunto de unidades hidrográficas que contribuem com a bacia do rio São Francisco. Em termos geológicos e geomorfológicos, a bacia do Paraopeba está inserida na porção meridional do Cráton do São Francisco. Neste sentido, o rio São Francisco atua como nível de base regional. O fato de a bacia do Paraopeba estar mais elevada do que as bacias circundantes (bacia hidrográfica do rio das Velhas e bacia hidrográfica do rio Pará) indica que ele não foi tão competente para rebaixar o relevo no nível de base regional representado pelo rio São Francisco (ARCADIS, 2022a).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Isso pode estar associado a litologia presente na bacia do rio Paraopeba, como diques básicos (gerados nos ciclos Transamazônico e Brasiliano) e quartzitos, como observado nas serras dos Três Irmãos e da Moeda, de elevada resistência ao intemperismo. Assim, nas bacias vizinhas, onde a litologia predominante é distinta, o rebaixamento do modelado ao nível de base regional resulta na evolução das cabeceiras em direção à bacia do Paraopeba, resultando também na captura fluvial de pequenos cursos d'água e, consequentemente, no aumento das áreas dessas bacias (LAVARINI *et al*., 2016).

A bacia do rio Paraopeba apresenta grandes dimensões, com perímetro de aproximadamente 924,4 km e área de 12.019 km², e a geologia é bastante variada, com unidades litológicas distintas e diversos lineamentos estruturais, que condicionam a rede de drenagem e os principais domínios geomorfológicos (ARCADIS, 2022a).

A configuração da geologia imprime características únicas na bacia hidrográfica do Paraopeba, em relação aos domínios geomorfológicos, à distribuição das altimetrias e declividades, e ao padrão da rede de drenagem. As altimetrias variam entre 1.610 m, na porção de montante da bacia, junto aos divisores hidrográficos situados na serra Três Irmãos, e 553 m, na porção de jusante, junto à foz no reservatório Três Marias. A amplitude topográfica, portanto, é alta, variando 1.057 m ao longo dos 537 km percorridos pelo rio Paraopeba. A declividade, portanto, também varia, atingindo até 77° nos trechos de paredões e de afloramentos rochosos ao longo das serras, até abaixo de 2° nas áreas da planície fluvial (ARCADIS, 2022a).

Os domínios geomorfológicos refletem a disposição das unidades litológicas, altimetrias e declividades, resultando em um conjunto variado de domínios, que em alguns trechos de serra são de escarpas serranas e relevo montanhoso; morros e serras baixas predominantemente no setor de montante, e colinas dissecadas e morros baixos, ou colinas amplas e suaves, nos trechos intermediário e de jusante. No baixo Paraopeba ocorrem, ainda, setores de tabuleiros, em conjunto com colinas suaves e superfícies de aplainamento degradadas (ARCADIS, 2022a).

1.1.5.3 Contextualização da Área de Estudo Regional

Na Área de Estudo Regional duas grandes mesounidades geomorfológicas assumem destaque, as Serras do Quadrilátero Ferrífero e o Planalto de Oliveira (Figura 1-41). As Serras do Quadrilátero Ferrífero estão relacionadas às superfícies de dissecação estrutural com topo convexo e o segundo está relacionado às superfícies de dissecação homogênea ou diferencial com topo tabular, que se desenvolveram em altitudes que variam entre 700m e 1500 m, aproximadamente.

De acordo com o levantamento realizado por CPRM (2010), os padrões de relevo que ocorrem na Área de Estudo Regional são: **Domínio de Morros e de Serras baixas**, com altitudes entre 700 m e 1000 m, relacionados às unidades arqueanas do embasamento. São locais que apresentam relevo fortemente ondulado a ondulado, com declividades entre 8% a 45% e com amplitudes topográficas que não passam de 200 m. Esse domínio ocupa a maior porção da Área de Estudo Regional (Figura 1-42).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Na porção leste da Área, relacionados à expressão das rochas do Supergrupo Rio das Velhas, majoritariamente do Grupo Nova Lima, o relevo caracteriza-se pela presença de **Escarpas Serranas,** terrenos com elevações entre 1200 m e 1400 m, amplitude topográfica elevada, relevo montanhoso a escarpado, com declives acentuados que variam entre 45% a mais de 75% (Figura 1-42).

No extremo leste da área, em contato com a unidade supracitada, observa-se a ocorrência no sentido norte-sul de **Chapadas e Platôs** relacionadas às rochas do Supergrupo Minas - principalmente aos itabiritos do Grupo Itabira (Figura 1-42). São terrenos com topos planos, suavemente ondulados a ondulados com declividades entre 0 e 20% e as maiores altitudes da Área de Estudo Regional, variáveis entre 1400 m e 1500 m. A litologia característica do Supergrupo Minas envolve materiais de elevada resistência ao intemperismo físico, como os quartzitos ferruginosos e cataclásticos. Assim, as elevadas altimetrias apresentadas por esse grupo são resultado dessa resistência, cujo processo denudacional não foi capaz de rebaixar ao nível de base regional, de maneira distinta ao ocorrido nos materiais de litologia menos resistentes.

Na porção norte e nordeste da Área de Estudo Regional ocorre a expressão do **Domínio Montanhoso** (Figura 1-42). Essa unidade está relacionada às rochas paleoproterozoicas do Grupo Caraça, Grupo Itabira - principalmente à Formação Cauê e subordinadamente à Formação Gandarela. O relevo é fortemente ondulado e principalmente montanhoso, com declives que variam entre 20% e 75% e altitudes entre 1200 m a 1400m. Os topos possuem as cristas alinhadas, em linha de cumeada e há predomínio de corpos de tálus e colúvio nas bases das vertentes.

Nos mapas apresentados a seguir (Figura 1-41, Figura 1-42, Figura 1-43, Figura 1-44) é possível observar os aspectos geomorfológicos associados à Área de Estudo Regional citados acima.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

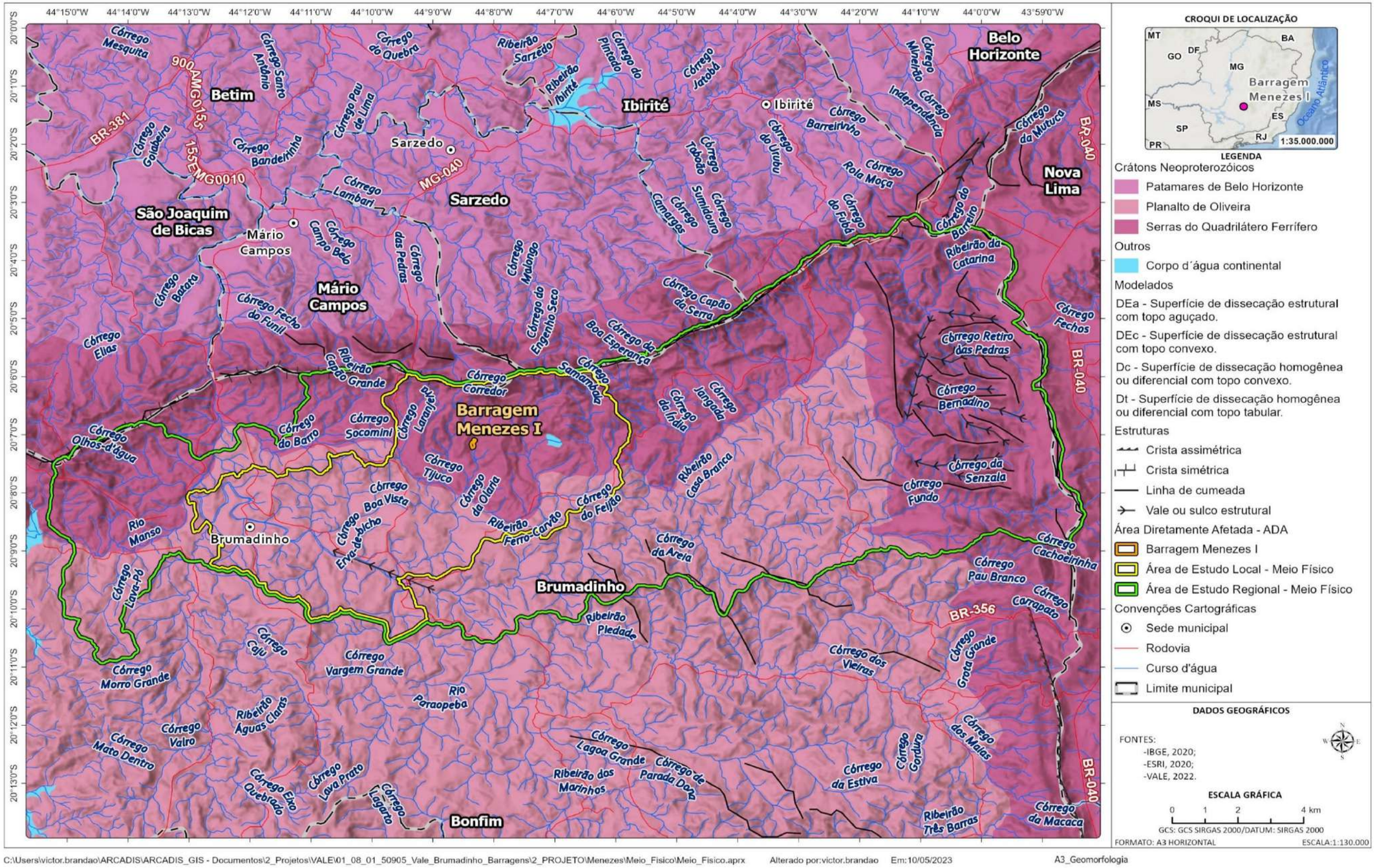


Figura 1-41 - Mapa Geomorfológico da Área de Estudo.

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

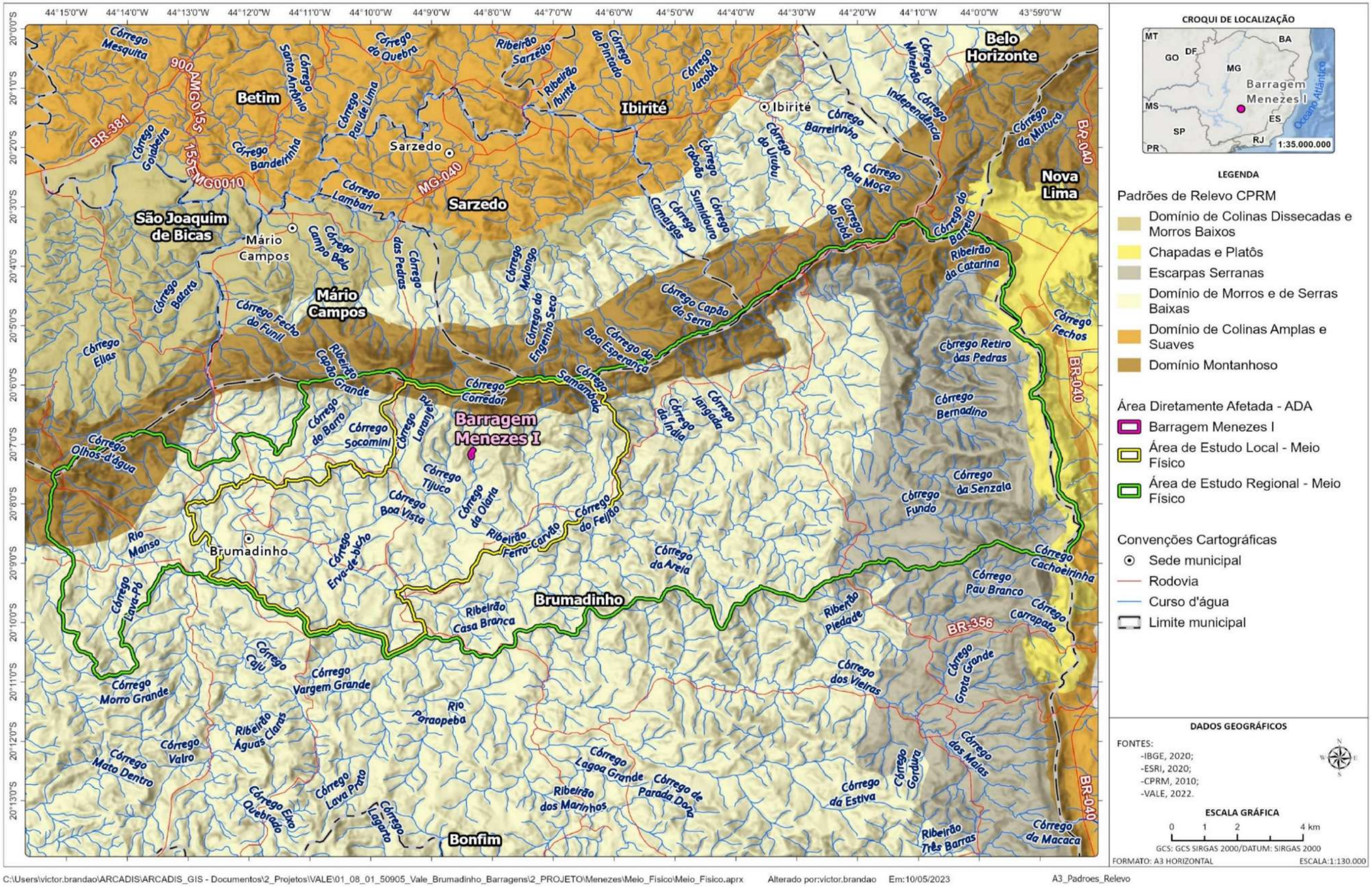


Figura 1-42 - Padrões de Relevo

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

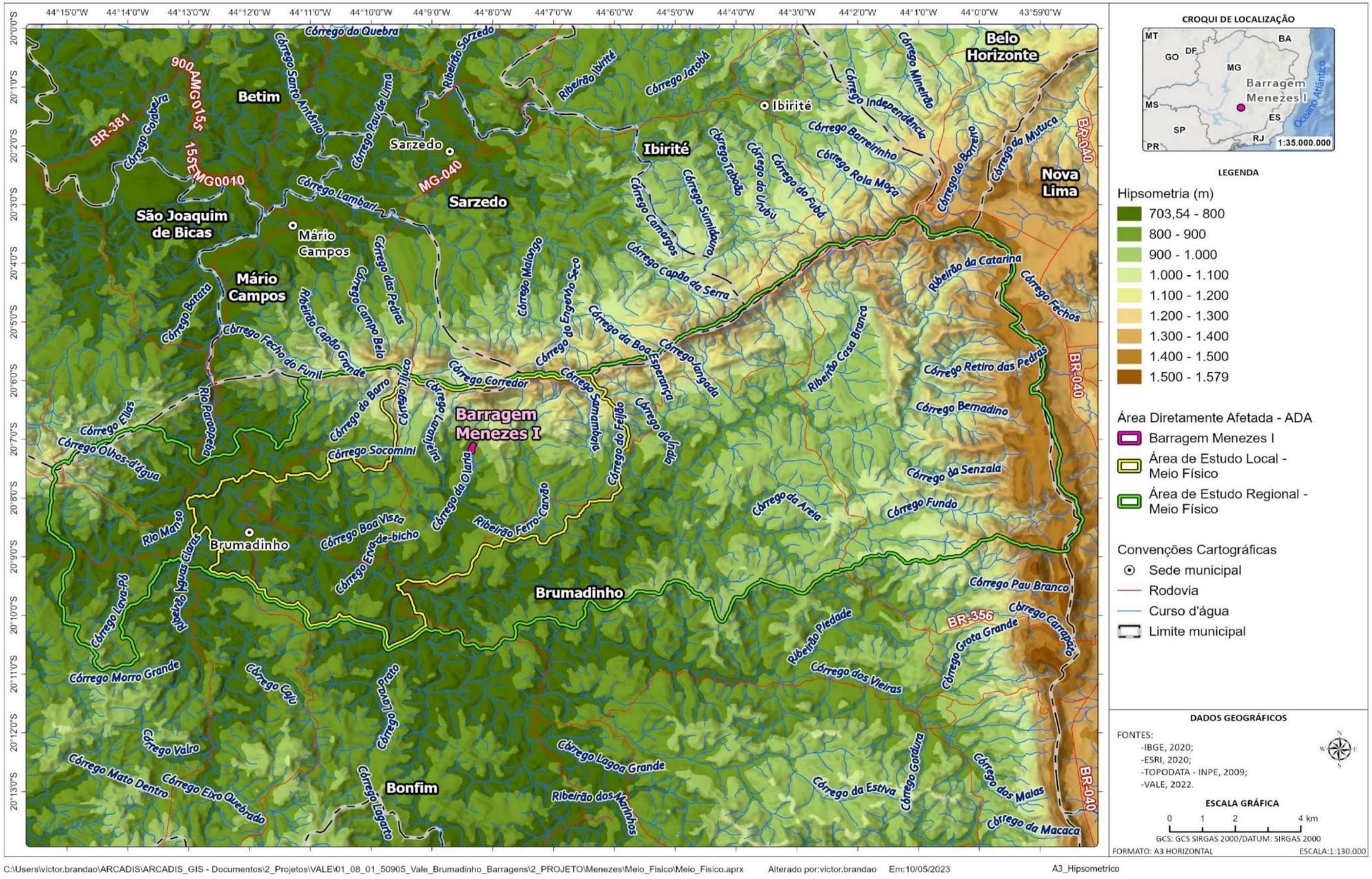


Figura 1-43 - Mapa Hipsométrico

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

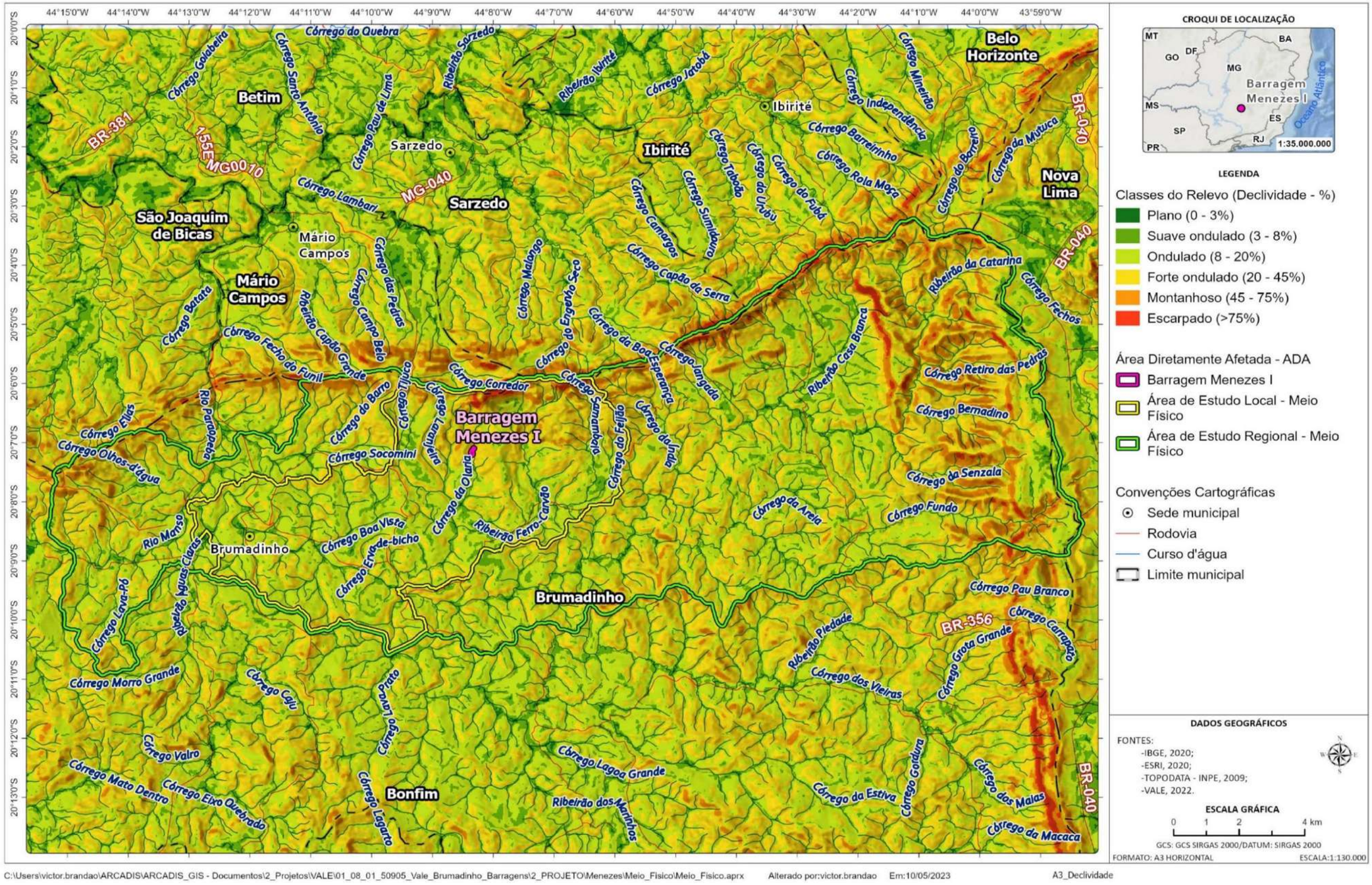


Figura 1-44 - Mapa de Declividade.

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.5.3.1 Avaliação da Susceptibilidade a Processos Erosivos na Área de Estudo Regional

Visando enfoque em pontos de atenção para áreas de suscetibilidade a processos de dinâmica superficial, fez-se consulta aos estudos de suscetibilidade a processos erosivos apresentados no Projeto APA Sul RMBH - Estudos do Meio Físico, Geotecnia (CPRM, 2005).

Em paralelo, fez-se consulta a Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Brumadinho - MG (CPRM, 2023), a qual representa literatura de referência mais recente publicada que trata do mapeamento e integração de dados geológicos, geomorfológicos, pedológicos e hidrográficos para caracterizar as áreas de maior suscetibilidade a movimentos de massa (erosões laminares, lineares, escorregamentos, deslizamentos) e inundação.

De acordo com o Projeto APA Sul RMBH, na Área de Estudo Regional relacionada ao presente projeto, ocorrem as seguintes unidades de vulnerabilidade a processos de movimentação de massa e de erosão:

- **Unidade Canga:** Apresenta elevada suscetibilidade a movimentos de massa, principalmente em cristas e áreas de alta declividade, onde os processos morfo-esculturais ainda estão em desenvolvimento. As rupturas são condicionadas por estruturas geológicas, como fraturas e falhas, e suas relações espaciais. Apresentam baixa suscetibilidade frente aos processos erosivos.
- **Unidade Coluvionar:** A suscetibilidade a movimentos de massa é elevada nos depósitos em vertentes de alta declividade, sendo condicionada também pela heterogeneidade textural, pela ausência de estrutura interna e baixa coesão dos materiais. A suscetibilidade a erosão é elevada, condicionada pelos mesmos fatores associados aos processos de ruptura.
- **Unidade Dolomitos e Calcários:** Apresenta baixa suscetibilidade a movimentos de massa, sendo dependente das relações estruturais de fraturas e falhas. A suscetibilidade a erosão é baixa.
- **Unidade Filitos:** A suscetibilidade a movimentos de massa é alta, sendo controlada pelas relações estruturais entre a foliação e descontinuidades e a face do talude; pelo grau de fraturamento, grau de alteração e pelas superfícies, geralmente lisas, dos planos da foliação e descontinuidades. A suscetibilidade aos processos erosivos é muito alta, condicionada pelas relações espaciais entre os planos da foliação e os planos das interseções das fraturas e falhas que cortam esses terrenos. É condicionada também pelo escoamento das águas superficiais e pelo nível do lençol freático, o qual, uma vez alcançado pelo ravinamento, evolui rapidamente para feições do tipo voçorocas. A alta friabilidade e textura siltosa dos produtos de intemperismo das rochas dessa unidade, favorecem o desenvolvimento de processos erosivos.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

- **Unidade Gnaisses e Migmatitos:** A suscetibilidade a movimentos de massa é baixa, função dos baixos gradientes topográficos e das características geotécnicas dos materiais de cobertura. Rupturas de talude ocorrem relacionadas aos processos de evolução das feições erosivas. A suscetibilidade a erosão é alta a moderada, sendo que horizonte B dos Latossolos confere expressiva proteção frente aos agentes erosivos. Esse material, uma vez removido, possibilita a exposição dos solos saprolíticos, que apresentam textura predominantemente siltosa, cortados por diversas estruturas geológicas. Os saprolitos apresentam alta erodibilidade, tanto pela ação das águas de escoamento superficial, quanto pelas águas freáticas.
- **Unidade Itabiritos:** A suscetibilidade a movimentos de massa é variável de baixa a elevada, sendo dependente da atitude da foliação, das falhas e das fraturas, e sua relação espacial com a face do talude. A suscetibilidade à erosão é baixa a muito baixa.

Por fim, a Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Brumadinho/MG (CPRM, 2023), em escala 1:70.000, apresenta em maior nível de detalhamento o mapeamento realizado no município, permitindo uma caracterização local das áreas de risco geológico no entorno da área de estudo (regional e local).

Para a Área de Estudo Regional, conforme observado no mapa da Figura 1-45, as áreas que apresentam muito alta susceptibilidade à erosão e movimentação de massa estão relacionadas à dois padrões de relevo: escarpas serranas (terrenos de forte declividade) e áreas montanhosas/serranas (fortemente onduladas).

Segundo o relatório técnico da carta (CPRM, 2023), as situações de risco alto e muito alto são exclusivamente de movimento de massa referentes às áreas das escarpas das serras, que limitam o município de Brumadinho a leste onde afloram rochas do Grupo Nova Lima (indiviso); bem como nas áreas de domínio montanhoso / serrano na borda norte e nordeste do município cujo relevo é marcado pelas rochas das formações Cauê, Moeda e Batatal.

De acordo com o mapeamento da CPRM (2023), tais áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa são marcados por processos de deslizamento, queda e rolamento de blocos em relevo de morros altos das escarpas degradadas e do domínio serrano, com formas de encostas côncavas a retilíneas, em declividades de 20º a 45º representativos de paredões subverticais, cujas amplitudes variam de 80 a 800 metros. Estas áreas se equivalem às unidades itabiritos e filitos mapeadas no estudo do Projeto APA Sul RMBH (CPRM, 2005).

Observando o mapa apresentado, cerca de 80% da Área de Estudo Regional é classificada como área de baixa suscetibilidade a processos de movimentação de massa, marcada por relevo de morros baixos, planícies fluviais, colinas, terraços fluviais e rampas de alúvio-colúvio, com formas convexas suavizadas das encostas e topos planos. Tais colinas e morros apresentam médias a baixas amplitudes altimétricas (<50 m), com declividade das encostas inferiores a 15º. De acordo com o mapeamento da CPRM (2023), nestas áreas de baixa classe de suscetibilidade, os processos mais recorrentes são relacionados a erosões laminares (escoamento difuso) e lineares (escoamento concentrado) como rastejos, ravinamentos e voçorocas. Estas áreas se equivalem às unidades gnaisses/migmatitos e dolomitos/calcários mapeadas no estudo do Projeto APA Sul RMBH (CPRM, 2005).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Quanto a suscetibilidade a processos de inundação, as áreas de alta suscetibilidade a inundação se referem a planícies aluviais com baixas declividades e amplitudes, marcada por solos hidromórficos das planícies aluviais. Os processos mais recorrentes são solapamento de margens, inundações e enchentes que podem chegar a até 5 metros de altura em relação à borda da calha do leito regular dos cursos d'água (CPRM, 2023). Comparando o mapa de suscetibilidade com os canais de drenagem da bacia hidrográfica, observa-se que a alta classe para inundação se sobrepõe à planície de inundação ao longo do rio Paraopeba e demais tributários principais.

Já as drenagens de primeira e segunda ordem distribuídos ao longo de toda bacia apresentam baixo potencial de inundação por estarem encravados em modelados de relevo de rampas de alúvio-colúvio, com baixas declividades e amplitudes das vertentes (<5º), em áreas de solos hidromórficos e transicional para não hidromórficos (CPRM, 2023). Por serem áreas próximas a corpos d'água, o nível d'água subterrâneo é pouco profundo, caracterizando-se por áreas de alta concentração de nascentes e grande densidade de drenagens.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

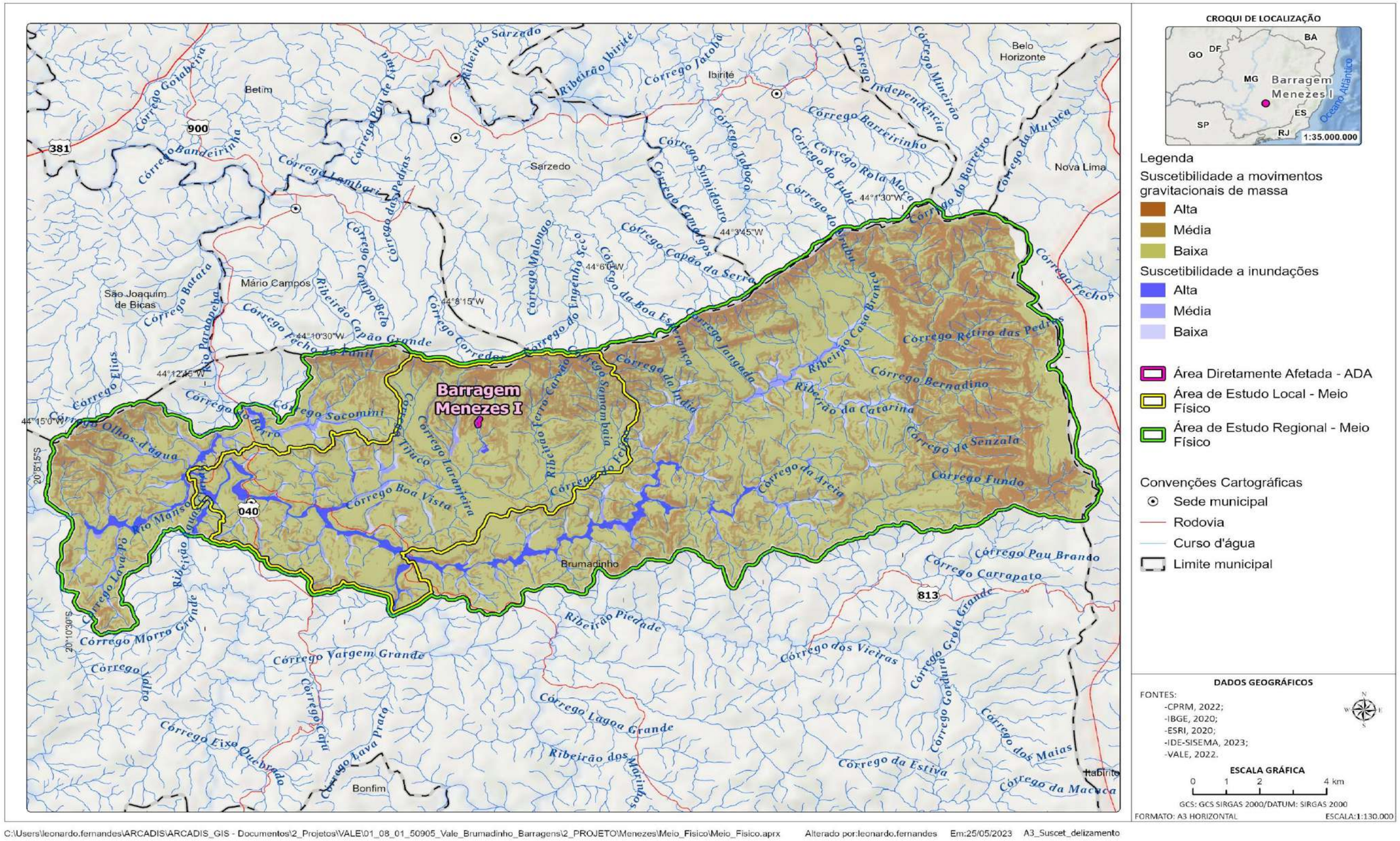


Figura 1-45 - Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa e inundação da Área de Estudo

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.5.4 Contextualização da Área de Estudo Local

Considerando que a Área de Estudo Local se refere a um refinamento poligonal a partir da delimitação da Área de Estudo Regional, observa-se que as unidades geomorfológicas Planalto de Oliveira e Serras do Quadrilátero Ferrífero - descritas no contexto regional - também são interceptadas no recorte espacial da AEL, conforme apresentado na Figura 1-41. No entanto, ao avaliar os padrões de relevo (Figura 1-42), observa-se que para a Área de Estudo Local ocorre em maior predominância o domínio dos morros e serras baixas, seguido de uma delgada porção no limite norte da área que é delimitada pelo domínio montanhoso. Desse modo, observa-se que entre os padrões de relevo apresentados na Área de Estudo Regional, exclui-se da delimitação abrangida pelo contexto geomorfológico local os padrões de relevo: escarpas serradas; planaltos e platôs.

Com relação à hipsometria, conforme apresentado na Figura 1-43, as porções mais baixas da área de Estudo Local são marcadas por altitudes de 730 a 800 m, seguida na porção central por terremos relativamente mais elevados entre cotas de 900 a 1.000 m; e as áreas mais altas no limite do extremo norte da área de estudo local, marcadas pelas serras do domínio montanhoso, com altitudes que variam de 1.000 a 1.300 m. Quanto às classes de relevo, observa-se que predomina na área de estudo local relevo ondulado com declividade de 8% até 20%, e modelado de relevo fortemente ondulado, com até 45% de declive.

Conforme mencionado, a metodologia adotada além de apresentar a caracterização geomorfológica a partir do descritivo referencial da literatura nacional, visa contemplar a análise em maior escala de detalhe para a Área de Estudo Local. Para tal, fez-se consulta ao Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba, Volume I e II (ARCADIS, 2022a, b); o qual apresenta extenso diagnóstico geomorfológico para o contexto do Quadrilátero Ferrífero, abordando em detalhe a sub-bacia hidrográfica do Ferro Carvão, inserida na Área de Estudo Local.

Para tanto, apresenta-se a seguir a caracterização geomorfológica para a Área de Estudo Local, abordando a bacia do Rio Paraopeba e em especial a sub-bacia hidrográfica do Ferro Carvão.

A bacia do rio Paraopeba apresenta uma área total de 33 km² e perímetro de 27,7 km. Ela é composta pelas sub-bacias dos córregos Laranjeira, da Olaria e ribeirão Ferro-Carvão, este último recebendo as contribuições dos córregos Samambaia e do Feijão. As áreas e perímetro das sub-bacias são:

- Córrego Laranjeira (inclui sub-bacia do córrego Tijuco), somando área de 7,74 km² e perímetro de 22,93 km;
- Córrego da Olaria, com área de 4,45 km² e perímetro de 12,25 km;
- ribeirão Ferro-Carvão, antes da confluência com o córrego Samambaia, com área de 5,6 km² e perímetro de 12,32 km;
- Córrego Samambaia (inclui a sub-bacia do córrego do Feijão), com área total de 6,23 km² e perímetro de 21,85 km.

O desnível altimétrico na bacia hidrográfica atinge 700 m, com os topos mais elevados localizados na serra Três Irmãos, com altitudes entre 1.350 m e 1.430 m, concentrados ao longo dos divisores topográficos na porção norte da bacia; ao passo que a planície fluvial, já em sua foz com o rio Paraopeba, apresenta altitudes em torno dos 725 m.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

As declividades são igualmente elevadas, atingindo até 71° em paredões subverticais localizados na porção norte da bacia, junto aos divisores topográficos e às cabeceiras de drenagem da serra Três Irmãos. As declividades acima de 30° estão concentradas, sobretudo, nos anfiteatros de nascentes, distribuídas de modo homogêneo por toda a bacia. Ainda assim, em termos de área ocupada, a declividade predominante é de 20° a 30° e, em segundo lugar, de 10° a, a 15°. Cabe destacar, no entanto, a ocorrência de declividades elevadas associadas às estruturas de mineração, como as bermas dos taludes de acesso às cavas.

Na porção sul, ao longo de toda a margem esquerda do ribeirão Ferro-Carvão e, principalmente, mais a jusante, as vertentes estão orientadas predominantemente para noroeste e norte, ao passo que nas vertentes dos setores de montante e porção central da bacia, as orientações predominantes são oeste e sudoeste, na margem esquerda dos canais, e de leste e sudeste nas vertentes da margem direita.

A rede hidrográfica na sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão apresenta padrão de drenagem dendrítico, no qual o controle estrutural não é tão pronunciado, quando comparado a outros padrões, como as redes de drenagem em treliça (CHRISTOFOLETTI, 1974). Ainda assim, é possível observar a influência dos lineamentos na orientação da rede de drenagem, condicionando os cursos fluviais de maior ordem predominantemente no sentido NO-SE, sobretudo no setor de jusante.

Esse controle dos lineamentos pode ser observado, em especial, nas confluências dos principais cursos d'água, com destaque para a confluência do córrego Laranjeiras com o ribeirão Ferro-Carvão, no setor intermediário da bacia. Nesse trecho o condicionamento estrutural é, possivelmente, elevado, já que o ribeirão Ferro-Carvão, o córrego Tijuco e, posteriormente, o córrego Laranjeiras (após sua confluência com o córrego Tijuco), apresentam uma mudança significativa em sua orientação. Passado esse ponto, o ribeirão Ferro-Carvão realiza uma nova alteração de sentido, por meio de forte inflexão. Esse trecho coincide, ainda, com um estrangulamento da bacia hidrográfica e com uma mudança na orientação predominante das vertentes, que passam a estar mais voltadas para noroeste e norte.

O controle estrutural e a ação da neotectônica na configuração da bacia hidrográfica e da rede de drenagem pode ser observado por meio do fator de assimetria da bacia de drenagem, índice que avalia a ocorrência de basculamentos na bacia hidrográfica ao comparar as áreas de drenagem da margem direita do canal principal com a área total da bacia de drenagem, expresso em porcentagem. O valor obtido na sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão foi de 60,66%, indicando leve basculamento da bacia, já que o valor de uma bacia não basculada é de 50%, de acordo com a literatura (SALAMUNI, 1998).

A densidade de drenagem na bacia hidrográfica é elevada, aproximadamente de 3,62 km/km², superando a marca de 3,5 km/km², que é considerada na literatura como alta (VILELA; MATOS, 1975). Esse dado adquire especial importância pois está relacionado à erodibilidade da bacia hidrográfica, ou seja, a suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A sub-bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão apresenta forma mais circular, em especial no trecho de montante, sofrendo um estrangulamento após a confluência com o ribeirão Laranjeiras, possivelmente associado a um controle estrutural, tendo em vista a orientação da rede de drenagem, marcadamente sentido NO-SE, e a mudança na orientação das vertentes, que passam a estar voltadas predominantemente para noroeste e norte. A elevada circularidade reflete em um coeficiente de compacidade próximo ao valor 1,0, obtido para bacias hidrográficas com forma equivalente a uma circunferência perfeita. O valor obtido na sub-bacia do Ferro-Carvão foi de 1,35. Esse índice está associado ao modo de escoamento e de concentração das águas em uma bacia, dialogando com a vulnerabilidade em relação a cheias e inundações (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

O ribeirão Ferro-Carvão apresenta morfologia ligeiramente meândrica na maior parte de seu curso, ainda que os meandros apresentem pouca amplitude, alternando-se com trechos mais retilíneos. Tal configuração pode ser verificada por meio do índice de sinuosidade (Is) do ribeirão Ferro-Carvão, cujo resultado foi de 1,68. Na literatura costuma-se denominar de canal meândrico valores de Is>1,5 (CHRISTOFOLETTI, 1974). A Tabela 1-23 apresenta os índices morfométricos obtidos para a sub-bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão na análise de detalhe.

Tabela 1-23 - Variáveis morfométricas obtidas para a sub-bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão.

Variável Morfométrica	Valor
Área (A)	33 km²
Perímetro (P)	27,7 km
Densidade de drenagem (Dd)	3,62 km/km²
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,35 (v.a.)
Fator de assimetria da bacia de drenagem (FABD)	60,66 (v.a.)
Índice de sinuosidade (Is)	1,68 (v.a.)
Gradiente médio	2,17°

Fonte: VALE (2016) e VALE (2019). Elaboração: Arcadis, 2019.

Cabe destacar que a configuração da rede hidrográfica apresenta modificações diante das alterações antrópicas promovidas pelas atividades minerárias e demais usos do solo, como a implantação de estradas, vias férreas e obras de drenagem superficial, influenciando nos resultados das variáveis morfométricas, em especial o Índice de Sinuosidade, a declividade dos canais fluviais e os perfis longitudinais destes cursos d'água, que passam a refletir as rupturas e desequilíbrios associados à nova configuração desses canais.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A porção de montante da sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão apresenta alta concentração de nascentes e, consequentemente, de cursos fluviais de primeira e segunda ordem. Estes estão situados sobre as elevadas altitudes e declividades das vertentes da serra Três Irmãos, com grande número de ruptura e mudanças de declividade, convexas e côncavas. O grande uso antrópico da área, sobretudo na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão, onde predominam as áreas de lavra e de infraestrutura de mineração, influencia na configuração do modelado, criando rupturas e características abruptas no relevo, dificultando a identificação de algumas morfologias originais do relevo. A rede de drenagem também apresenta intensas modificações nos locais com tais atividades, sendo redirecionadas por estruturas de drenagem superficial ou barradas por reservatórios e barragens de rejeito (ARCADIS, 2022a).

No setor de jusante, as declividades ficam mais baixas, assim como a quantidade de rupturas e mudanças de vertente, passando a predominar a área do vale fluvial de fundo plano e da planície fluvial, que adquire área total de 88,8 km² e perímetro de 30,8 km.

Na região da sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão, as alterações dos parâmetros morfométricos dos terrenos pós-rompimento das barragens foram delimitadas a partir de fotointerpretação de imagem do satélite Pleiades, de 29 de janeiro de 2019, no contexto do Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba - Capítulo 2, Volume 2 (ARCADIS, 2022b). É importante destacar que a descrição realizada no estudo citado difere daquela que atualmente se apresenta nos terrenos. A área da mancha de rejeitos apresenta agora uma configuração distinta em relação a aspectos como a morfologia do ribeirão Ferro-Carvão, porque é resultado da execução de obras emergenciais e do próprio ajuste do sistema geomorfológico na busca por uma nova condição de equilíbrio.

O estudo supracitado identificou três padrões distintos de interação entre a massa de rejeitos e a geomorfologia na sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão, definidos em três trechos.

O Trecho 1, de montante, estende-se pelos primeiros 5 km do ribeirão Ferro-Carvão. Nele são predominantes os processos de transporte do material proveniente das barragens B-I, B-IV e B-IVA, mobilizado com grande quantidade de energia resultante da liberação da massa de rejeito. A rede de drenagem que recebeu esse material era naturalmente encaixada no vale fluvial, e possuía pouca ou nenhuma área de planície fluvial. Assim, a propagação do material com alta energia resultou em um maior extravasamento lateral neste trecho, para além do talvegue e das margens plenas dos canais fluviais, atingindo o setor inferior das vertentes e subindo em um movimento remontante pelo talvegue dos afluentes do ribeirão Ferro-Carvão. São observadas nesse trecho, também, formas erosivas e poucas áreas com cursos d'água múltiplos (entrelaçados) (ARCADIS, 2022b).

O Trecho 2 é caracterizado como uma transição entre o ambiente de montante, predominantemente erosivo, e o ambiente de jusante, com predominância dos processos deposicionais. Nesse trecho foram observados múltiplos canais, com rede de drenagem de padrão entrelaçado, grande avanço da massa de rejeito em direção às cabeceiras dos canais afluentes e grande espessura dos depósitos de rejeito. Cabe destacar que nesse trecho estavam localizadas as barragens B4 e B4-A, que possivelmente condicionaram a dinâmica natural distinta de remoção e deposição de sedimentos (ARCADIS, 2022b).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

No Trecho 3, após a confluência com o córrego Samambaia (por volta do km 6 do ribeirão Ferro-Carvão), no período imediatamente após o rompimento da barragem, a característica passou a ser de um ambiente de deposição dos materiais, com a obtenção de um novo padrão fluvial do ribeirão Ferro-Carvão em canais entrelaçados, característicos de regimes fluviais em desequilíbrio. No entanto, posteriormente à formação desses canais, verificou-se em campo a busca de um novo equilíbrio dinâmico com a formação de um único canal. A massa de rejeitos passa a percorrer restritamente a planície fluvial, com poucos trechos de extravasamento a montante dos afluentes, exceto na confluência dos córregos da Olaria e Laranjeiras (ARCADIS, 2022b).

As altimetrias do terreno após o rompimento da barragem variam de aproximadamente 1.120 m a montante, próximo às barragens B-VI e à antiga B-I, até aproximadamente 730 m, ao longo do vale do ribeirão Ferro-Carvão e seus afluentes. Ainda assim, a altitude média é de 820 m, com desvio padrão de 50 m. As declividades também estão bem distribuídas ao longo da área, com baixas declividades, abaixo de 2°, ao longo do vale do ribeirão Ferro-Carvão e no local onde a massa de rejeitos está depositada, até declividades superiores a 65°. Estas últimas distribuem-se, principalmente, nas áreas próximas às cabeceiras dos cursos d'água, ou ao longo do contato entre a planície fluvial e a base das vertentes. Cabe destacar, porém, que alguns pontos com declividade significativa, acima de 45°, estão localizados ao longo do caminho percorrido pela massa de rejeitos. A maior parte destes se concentra na porção de montante, no interior ou próximo à área das barragens B-I, B-IV e B-IVA, como resultado da manutenção de parte dos rejeitos ainda não removidos e transportados após a ruptura, porém já objetos de intensos processos erosivos. Outros encontram-se ao longo do caminho dos rejeitos, nos locais em que sua deposição criou um contato abrupto entre a área de deposição e a área na qual os rejeitos são removidos pelo trabalho dos canais fluviais (ARCADIS, 2022b).

As vertentes seguem orientadas predominantemente em direção norte, nordeste e oeste, seguindo a tendência natural da área, condicionada pelos lineamentos geológicos que ocorrem na área da sub-bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão e entorno, sobretudo após a confluência dos córregos da Olaria e Laranjeira com o Ferro-Carvão (ARCADIS, 2022b).

A reconfiguração das características do relevo pode ser observada, também, na morfologia das vertentes, apesar de apenas a base e o setor inferior das vertentes terem sido afetados pela passagem da massa de rejeitos. Cabe relembrar que a morfologia das vertentes é considerada apenas nos trechos de vertente, ou seja, excluindo a área da planície fluvial. Nesse sentido, é possível observar um predomínio de áreas de transição, ou neutras, referentes aos setores retilíneos, já que a área afetada pelo rompimento da barragem é composta predominantemente pelo vale do ribeirão Ferro-Carvão e seus afluentes. Ainda assim, podem-se observar pontos com características hiperdispersoras dos fluxos superficiais, intercalados com pontos hiperconcentradores, sobretudo no Trecho 1, próximo à área da barragem e das antigas instalações industriais para mineração (ARCADIS, 2022b).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.5.4.1 Padrões de relevo da Área do Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I

Conforme apresentado anteriormente a área do projeto, inserida na contextualização geomorfológica da AEL, está atrelada ao domínio morfoestrutural de Serras do Quadrilátero Ferrífero cujos padrões de relevo que predominam são de Morros e de Serras baixas, com altitudes entre 700m e 1000 m, relacionados às unidades arqueanas do embasamento. São locais que apresentam relevo fortemente ondulado a ondulado, com declividades entre 8% a 45% e com amplitudes topográficas que não passam de 200 m.

As fotografias da Figura 1-46, Figura 1-47, Figura 1-48 e Figura 1-49 ilustram o padrão de serras que conformam o relevo do entorno da Área do Projeto de Descaracterização de Menezes I, bem marcado pelo relevo dissecado de morros ondulados de vertentes íngremes, cortados por drenagens de padrão dendrítico e afuniladas entre vales fechados.

Figura 1-46 - Visão geral do entorno da área do projeto. Perceptível ao fundo da imagem serra com vertente íngreme e topo alongado retilíneo (demarcado por traçado vermelho).

Fonte: Arcadis, 2023

Figura 1-47 - Drenagem afluente do Córrego Olaria. Padrão de drenagem sinuosa/dendrítica, com largura de aproximadamente 10 m de extensão, em vale fechado, com alta densidade arbórea.

Fonte: Arcadis, 2023

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Figura 1-48 - Visão geral para montante da Barragem. Ao fundo nota-se topo de morro de elevada cota topográfica, de fácil distinção em relação a paisagem.

Fonte: Arcadis, 2023

Figura 1-49 - Visão geral ao topo do talude de aterro da Barragem Menezes I, em que se observa o reservatório de água e sedimentos em meia encosta de morro com acentuada declividade e amplitude topográfica. Ao fundo da imagem, nota-se morro resistente na topografia local de relevo dissecado

Fonte: Arcadis, 2023

1.1.5.4.2 Avaliação da Susceptibilidade a Processos Erosivos na Área de Estudo Local e Área do Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I

Considerando que a Área de Estudo Local se refere a um refinamento poligonal a partir da delimitação da Área de Estudo Regional, toda a caracterização de susceptibilidade a processos erosivos descrita no contexto regional também é válida para o contexto local. Assim, para esta avaliação também foi feita consulta à Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Brumadinho/MG (CPRM, 2023). Esta carta, em escala 1:70.000, apresenta em maior nível de detalhamento o mapeamento realizado no município, permitindo uma caracterização local das áreas de risco geológico, seja relacionado a risco de inundação nas áreas de várzea e planícies das drenagens, ou relacionado a processos de movimentação de massa, os quais incluem rolamentos, rastejamentos, tombamentos e erosões (laminares e/ou lineares).

Desse modo a Figura 1-50 apresenta, a partir da Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Brumadinho/MG (CPRM, 2023), recorte para a delimitação da Área de Estudo Local com atenção especial à Área do projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I, a fim de melhor enquadrar a caracterização das classes de susceptibilidade a processos erosivos para a área de interesse do projeto.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

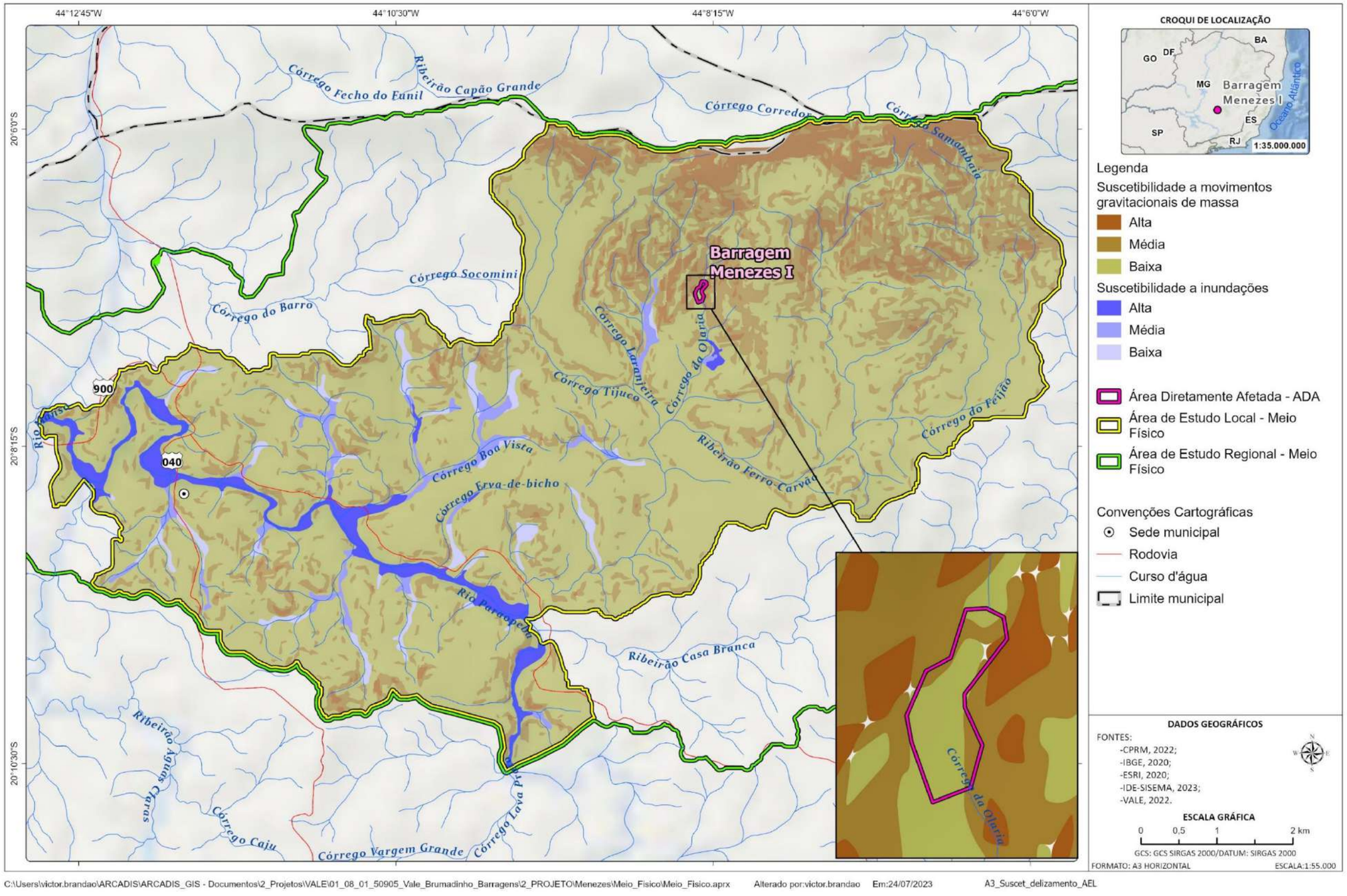


Figura 1-50 - Carta de Suscetibilidade a movimentos de massa e inundação com destaque para AEL e Área do projeto de descaracterização da Barragem Menezes I

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A partir do mapa supracitado é possível observar que a AEL se insere sob classes de média e baixa suscetibilidade a movimentação de massa, marcadas predominantemente por relevo de morros baixos, planícies fluviais, colinas, terraços fluviais e rampas de alúvio-colúvio, com formas convexas suavizadas das encostas e topos planos. Tais colinas e morros apresentam médias a baixas amplitudes altimétricas (<50 m), com declividade das encostas inferiores a 15º.

No contexto de local de inserção do projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I a análise de suscetibilidade a riscos geológicos, em especial a processos erosivos, pode ser feita não só com levantamento de dados secundários de acordo com bibliografias de referência - mas também com levantamento de dados primários com visita técnica em campo.

Assim, a partir de visita técnica realizada em fevereiro de 2023 por equipe técnica da Arcadis, foi possível o registro fotográfico de alguns pontos de atenção para os padrões dos processos de dinâmica superficial. Dentre os processos, observou-se grau de estabilidade dos processos de dinâmica superficial na área dos taludes que conformam a Barragem Menezes I bem como das ombreiras direita e esquerda, sem ocorrências de processos erosivos, ou de rolamentos e tombamentos de blocos de rochas, conforme se observa pela Figura 1-51, Figura 1-52, Figura 1-53 e Figura 1-54, as quais ilustram fotografias registradas durante atividade de campo por equipe técnica da Arcadis em fevereiro de 2023.

No entanto, nas vias de acesso à barragem foi identificado três pontos de atenção para erosão com desprendimento e movimentação de solo das encostas com queda e tombamento de árvores em direção à via não pavimentada sendo considerado, portanto, áreas de instabilidade dos processos de dinâmica superficial. A montante da Barragem Menezes I, na área do reservatório de contenção dos sedimentos, também se observa um ponto de atenção para erosão, bem perceptível pela inclinação de árvores que foram tombadas durante rastejamento e movimentação do solo pela erosão. A Figura 1-55 a seguir indica localização dos pontos de erosão na via de acesso não pavimentada, e a Figura 1-56 ilustra ponto de erosão identificado a montante da Barragem Menezes I; sendo ambas as imagens obtidas através de sobrevoo de drone realizadas na área do projeto e disponibilizadas pela Vale.

De acordo com informações fornecidas pela Vale, tais pontos de erosão mapeados se referem a movimentos de massa típicos de escorregamentos de solo, ocorridos devido as fortes chuvas características de verão entre dezembro de 2021 e janeiro de 2022; sendo que no período chuvoso de 2022/2023 não foram registrados avanços e/ou progressões das erosões e escorregamentos. Ressalta-se que as erosões já foram tratadas com apoio da equipe de geotecnia por meio de aplicação de técnicas de hidrossemeadura e monitoramentos constantes na área.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Figura 1-51 - Visão geral de jusante do talude da Barragem Menezes I

Fonte: Arcadis, 2023

Figura 1-52 - Visão geral de montante da Barragem Menezes I

Fonte: Arcadis, 2023

Figura 1-53 - Visão geral da ombreira esquerda da Barragem, sem indícios de processos erosivos sobre o solo compactado nos taludes

Fonte: Arcadis, 2023

Figura 1-54 - Visão do sopé do talude, sem indícios de instabilidade

Fonte: Arcadis, 2023

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Figura 1-55 - Pontos de erosão (em destaque com pontilhado vermelho) nas vias de acesso à Barragem Menezes I.

Fonte: Vale, 2023

Figura 1-56 - Ponto de erosão com desprendimento de solo e tombamento de árvores a montante da Barragem Menezes (em destaque com pontilhado vermelho)

Fonte: Vale, 2023

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.5.5 Síntese Conclusiva

Na Área de Estudo Regional duas grandes mesounidades geomorfológicas assumem destaque, as Serras do Quadrilátero Ferrífero e o Planalto de Oliveira. A primeira mesounidade está relacionada às superfícies de dissecação estrutural com topo convexo, e o segunda está relacionada às superfícies de dissecação homogênea ou diferencial com topo tabular, que se desenvolveram em altitudes que variam entre 700m e 1500 m, aproximadamente.

Os padrões de relevo que se distribuem entre as Serras do Quadrilátero Ferrífero e o Planalto de Oliveira são: Domínio de Morros e de Serras baixas, Escarpas Serranas, Chapadas e Platôs e Domínio Montanhoso. Na Área de Estudo Local, ocorrem preferencialmente o domínio dos morros e serras baixas, seguido de uma delgada porção no limite norte da área que é delimitada pelo domínio montanhoso.

Sobre o Domínio de Morros e de Serras baixas se insere também a área do projeto da Barragem Menezes I. Marcada por altitudes entre 700 m e 1000 m relacionados às unidades arqueanas do embasamento, são locais que apresentam relevo fortemente ondulado a ondulado, com declividades entre 8% a 45% e com amplitudes topográficas que não passam de 200 m.

A partir da Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Brumadinho/MG (CPRM, 2023) é possível classificar a Área do Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I como inserida, predominantemente sobre área de baixa suscetibilidade a processos de movimentação de massa, em que os processos mais recorrentes são relacionados a erosões laminares (escoamento difuso) e lineares (escoamento concentrado) como rastejos, ravinamentos e voçorocas.

Conforme apresentado no diagnóstico, na área do projeto foram mapeados quatro pontos de atenção para processos erosivos, relacionados a desprendimento e movimentação de solo em baixa vertente das encostas. Três erosões pontuais foram identificadas próximo ao contato da encosta com as vias de acesso para a área da barragem, devido ao corte necessário para abertura das vias, causando certa instabilidade na encosta ao tornar o solo exposto. Outro ponto de erosão mapeado ocorre a montante da barragem, em encosta do morro no contato com as águas do reservatório de sedimentos, bem perceptível pelo deslizamento de solo e tombamento de indivíduos arbóreos em direção ao volume d'água.

Cabe mencionar que em períodos de chuvas fortes de verão as ocorrências de erosão podem se acentuar, intensificando o processo natural; sendo importante o monitoramento contínuo destas ocorrências pontuais de erosão.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.6 Pedologia e Aptidão Agrícola

1.1.6.1 Metodologia

A presente caraterização pedológica para a Área de Estudo Regional foi elaborada a partir de dados secundários oficiais e de instituições de referência, cabendo destacar o mapeamento de solos executado pela Universidade Federal de Viçosa; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente, denominado Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais publicado em escala 1:500.000 por FEAM (2010); produzido a partir dos metadados do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (EMBRAPA, 2005). Foram verificadas ainda as associações de tipos de solos detalhadas com as principais restrições e aptidões de acordo com o Mapeamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais (DO AMARAL *et al*, 2004) também publicada pela EMBRAPA.

O desenvolvimento do diagnóstico com foco para a caracterização de solo da Área de Estudo Local se apoiou no estudo da composição química global dos solos na área do ribeirão Ferro-Carvão, embasado no estudo "Caracterização Mineralógica e Geoquímica dos Solos do entorno da mancha de rejeitos da bacia do ribeirão Ferro-Carvão e Determinação de Valores Estatísticos de Baseline Geoquímico" (ARCADIS, 2022c), o qual aborda avaliação de solos tanto com base em levantamento de dados secundários quanto primários.

1.1.6.2 Contextualização da Área de Estudo Regional

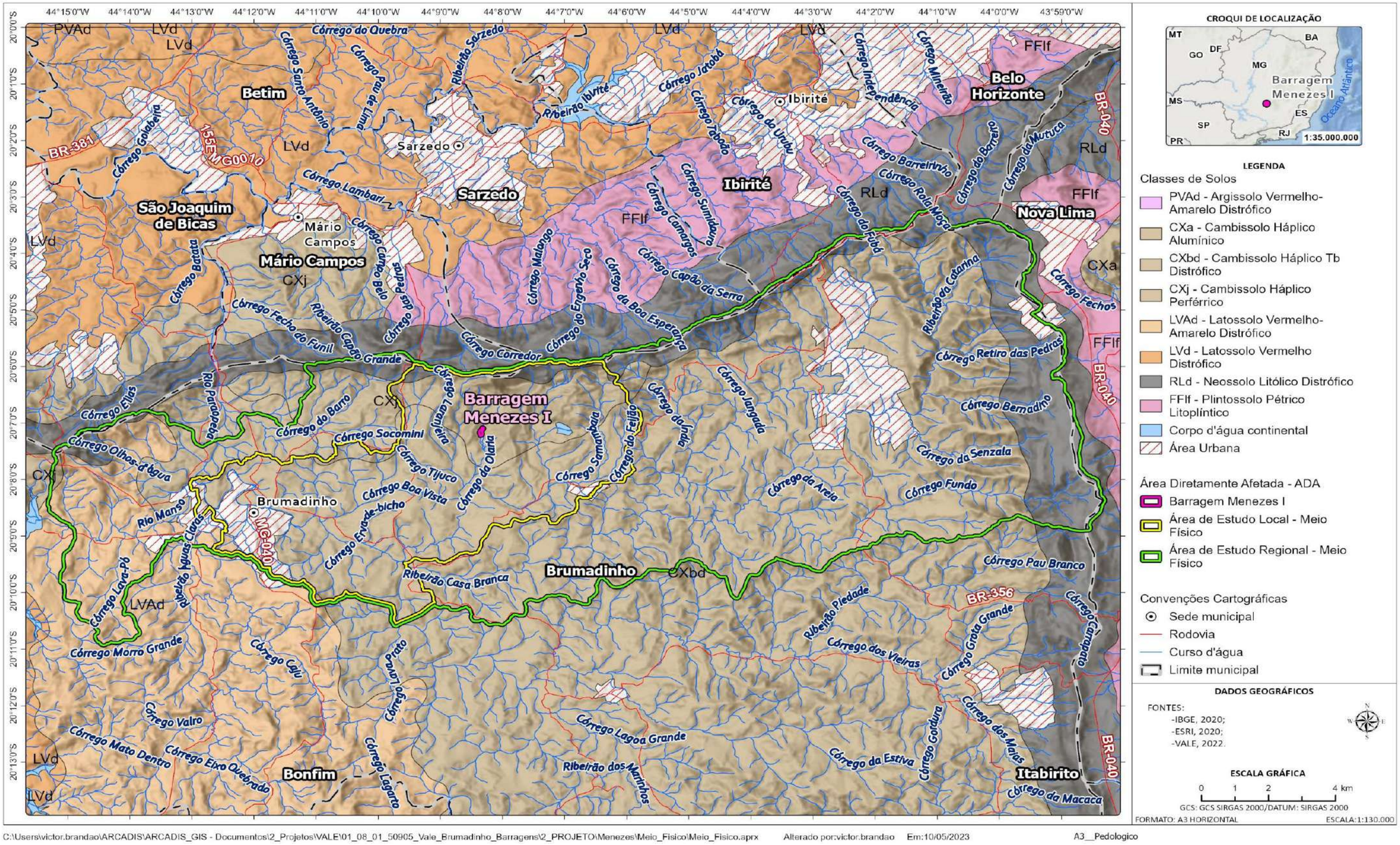
A estrutura da paisagem da região em análise, conta com uma associação e distribuição de manchas fitofisionômicas associadas em grande parte ao uso antrópico. A diversidade natural de diferentes fitofisionomias de determinado lugar está diretamente associada aos processos ecossistêmicos inerentes, resultando em uma configuração de grande variabilidade vegetacional (IBGE, 2007).

A constituição fitofisionômica da área de estudo do projeto, relaciona a disponibilidade mineral às características topográficas e pedológicas da área, estes fatores, propiciam o uso da região, além de outras atividades antrópicas, para atividades minerárias. Identificar e caracterizar os tipos de solo na região da área de estudo é de grande importância na compreensão e entendimento da paisagem regional e de sua dinâmica, assim como sua aptidão para definições quanto ao uso e ocupação do solo.

Sendo assim, a partir da análise dos dados disponibilizados quanto a classificação pedogenética encontrada no Mapeamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais (DO AMARAL *et al*, 2004) e no Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais na escala de 1:500.000 (FEAM, 2010); utilizados como base para produção do mapa pedológico (Figura 1-57), fez-se a avaliação dos tipos de solos na Área de Estudo Regional.

A partir da avaliação do mapa observa-se que predominam três grandes domínios pedológicos na Área de Estudo Regional: Cambissolos, Neossolos e Latossolos.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br



C:\Users\victor.brandao\ARCADIS\ARCADIS_GIS - Documentos\2_Projetos\VALE\01_08_01_50905_Vale_Brumadinho_Barragens\2_PROJETO\Menezes\Meio_Fisico\Meio_Fisico.aprx Alterado por:victor.brandao Em:10/05/2023 A3__Pedologico

Figura 1-57 - Mapa de Pedologia e Classe de Solos.

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2022

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.6.2.1 Neossolo Litólico Distrófico

Os Neossolos se caracterizam por serem solos pouco evoluídos constituídos por material mineral ou orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2013). Sua pouca evolução se deve basicamente à três fatores: baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos que não permitiu ainda modificações expressivas do material originário; características do próprio material, pela sua resistência ao intemperismo ou composição química-mineralógica; ou aos demais fatores de formação do solo que, isoladamente ou em conjunto, impediu ou limitou a evolução destes solos (DE CARVALHO, *et al* 2006).

De acordo com a Embrapa, possuem sequência de horizonte A-R, A-C-R, A-Cr-R, A-Cr, A-C, O-R ou H-C, sem atender, contudo, aos requisitos estabelecidos para serem classificados em outras classes de solo. A classe em questão admite variados tipos de horizontes superficiais, incluindo horizonte O com menos de 20 cm de espessura quando sobrejacente à rocha, ou horizonte A húmico ou proeminente com mais de 50 cm quando sobrejacente à camada R, C ou Cr.

Quando classificados como litólicos apresentam horizonte A ou hístico, diretamente sobre a rocha ou sobre um 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), que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50 cm da superfície do solo. Admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2006).

Estes solos podem apresentar alta ou baixa saturação por bases, acidez e altos teores de alumínio e de sódio; em condições naturais, os teores de fósforo são baixos. Os neossolos litólicos, apesar de apresentarem alta permeabilidade, são suscetíveis à erosão acelerada devido à pequena profundidade e saturação rápida de água, favorecendo o escoamento superficial; apresentam maior resistência quando instalados sobre itabiritos, pois apresentam concreções ferruginosas, conhecidas como cangas (LANZA, 2011). Apesar da canga ser um material muito duro e de baixa erodibilidade, é importante manter essas áreas protegidas com cobertura vegetal devido ao material subjacente apresentar baixa resistência (IBRAM, 2004).

A Unidade Neossolo Litólico Distrófico ocorre na porção norte e nordeste da área em fase campo cerrado e em relevo suave ondulado e fortemente ondulado (FEAM, 2010). Esta unidade situa-se em terrenos íngremes da Serra Três Irmãos e em conjunto com as rochas das Formações Cauê, Batatal e Moeda. Além disso, estão sob influência da unidade geomorfológica do reverso estrutural de Itatiaiuçu, e devido à alta declividade da área as coberturas de solo são ausentes, evidenciando ainda alguns afloramentos rochosos. Cabe ressaltar que nesta região as áreas são destinadas à atividade de mineração (AMPLO, 2019).

Com relação a aptidão agrícola, por serem solos rasos e não ultrapassam alguns centímetros de espessura e se formarem pontualmente em fraturas e irregularidades das rochas, são considerados solos de baixa potencialidade agricultável. Nestas áreas predominam campos rupestres e transições para floresta estacional semidecidual, estas últimas associadas as regiões de média a baixa vertente e canais de drenagem.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.6.2.2 Cambissolo Háplico Distrófico

Solos constituídos por material mineral, caracterizados pelo horizonte B incipiente (Bi) subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, têm sequência de horizontes A ou hístico (menor que 40 cm de espessura), Bi, C, com ou sem R (JACOMINE, 2009). São pouco desenvolvidos e ainda possuem características da rocha, evidenciadas pela presença de minerais primários. Mostram pouco desenvolvimento estrutural e, devido ao alto teor de silte e pouca profundidade, são de baixa permeabilidade, o que lhes confere caráter favorável à erosão.

Em geral, são solos pouco profundos, que apresentam teores relativamente elevados de minerais primários facilmente intemperizáveis, atividade da fração argila de média a alta e *solum* com discreta variação de textura. São solos que possuem baixa saturação por bases e, assim, classificados como de baixa aptidão agrícola, uma vez que, nem mesmo o relevo determinante desse tipo de solo favorece a utilização de maquinários para correções.

De acordo com a EMBRAPA (2006), são de fortemente até imperfeitamente drenados, de cor bruna ou bruna-amarelada, de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração coloidal. O horizonte Bi tem textura franco-arenosa ou mais argilosa e, de modo geral, o solo apresenta teores uniformes de argila, podendo ocorrer ligeiros decréscimos ou incrementos de argila no horizonte A para o Bi. A estrutura do horizonte B pode ser em blocos, granular ou prismática, havendo casos, também, de solos com ausência de agregados, com grãos simples ou maciços.

Com maior representatividade na Área de Estudo Regional em sua porção central, ocorre associado ao neossolo litólico distrófico típico e ao latossolo vermelho-amarelo distrófico típico. Em locais mais acidentados, onde o relevo se torna fator impeditivo para a formação de mantos intempéricos profundos, é possível notar a presença de cambissolos ou neossolos. Os cambissolos são formados sob a influência do gnaisse pertencente à unidade Souza Noschese e do relevo típico da unidade geomorfológica das colinas de Moeda (AMPLO, 2019).

Cabe destacar que, assim como mapeado para o solo do tipo Cambissolo Háplico, sobre as camadas de Latossolo também houve deposição de camada de sedimentos e rejeitos provenientes do rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA no ano de 2019. Esta camada recente de material tecnogênico, definida por Amplo (2019), é referente ao acúmulo de material/rejeito ao longo do vale do ribeirão Ferro-Carvão e em trechos do rio Paraopeba.

1.1.6.2.3 Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico

São solos não hidromórficos, constituídos por material mineral, bem-drenados, maciços quando secos e friáveis ou muito friáveis quando úmidos, de textura argilosa ou muito argilosa a média. A granulometria predominante é silte e argila, formando agregados com alta porosidade. São solos bem desenvolvidos e espessos, sendo muito antigos ou que se desenvolveram em material fortemente intemperizado. Apresentam boa drenagem e resistência à erosão, porém são bastante lixiviados e deficientes em nutrientes (LANZA, 2011). Os solos mais oxídicos possuem baixa densidade aparente e porosidade alta a muito alta, com valores variando entre 62% e 70%, indicando boas condições físicas.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A profundidade é, normalmente, superior a 2 m, com horizonte B muito espesso (>50 cm) com sequência de horizontes A, B e C pouco diferenciados; as cores variam de vermelho muito escuro a amarelado, geralmente escuras no A, vivas no B e mais claras no C. De acordo com a EMBRAPA (2006), os latossolos apresentam horizonte B latossólico (Bw), imediatamente abaixo de qualquer horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo, ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresentar mais que 150 cm de espessura. Nesse sentido, os Latossolos presentes na região são, em geral, solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases caracterizando-se pela classificação Distrófica. Dessa forma, pode-se classificá-los como de baixa aptidão agrícola.

A latolização consiste na lixiviação de bases (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, etc.) e sílica do perfil, o que leva ao enriquecimento do solo com os óxidos de ferro e de alumínio que são agentes agregantes e dão aspecto maciço poroso. Os latossolos possuem a fração argila composta por caulinita (silicato de alumínio), goethita e hematita (óxidos de ferro) e gibbsita (óxidos de alumínio).

De acordo com o exposto, os latossolos tendem a ser compostos por grandes concentrações de ferro e alumínio. Ressalta-se que mesmo após o processo de latolização as bases citadas ainda podem ser identificadas e apresentar concentrações de interesse no solo em questão.

Na porção sul da sub-bacia do ribeirão Ferro Carvão, inserida na área de estudo regional ocorre, mais especificamente, latossolo vermelho-amarelo distrófico típico em rochas da unidade gnaisse Souza Noschese e em áreas de floresta e zonas cuja vegetação original já foi descaracterizada para uso agrícola. Este solo, que se encontra sob influência da unidade geomorfológica das colinas de Moeda, apresenta baixa suscetibilidade aos processos erosivos devido à baixa erodibilidade e inserção em zonas de baixa declividade (AMPLO, 2019).

Cabe mencionar que sobre a camada de Cambissolo Háplico ocorreu deposição e acúmulo de camadas de material sedimentar decorrente do rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA, no ano de 2019. Neste caso a sedimentação do rejeito resultou no acúmulo de camada de material ao longo do vale do ribeirão Ferro-Carvão e em trechos do rio Paraopeba. Além da área ocupada pela deposição da mancha de rejeitos, algumas áreas cobertas pela floresta tiveram seu substrato ocupado pelo fluxo menos viscoso do rejeito, caracterizando uma área de deposição de rejeito sob-dossel, compostos por trechos descontínuos, localizados principalmente nas margens da mancha de rejeitos (AMPLO, 2019).

1.1.6.3 Contextualização da Área de Estudo Local

Considerando que a Área de Estudo Local se refere a um refinamento poligonal a partir da delimitação da Área de Estudo Regional, observa-se que os domínios pedológicos aflorantes na área de estudo local são os mesmo que os solos descritos no contexto regional; conforme pode ser observado no Mapa de Pedologia e Classe de Solos ilustrado na Figura 1-57. Desse modo, toda a definição dos tipos de solos apresentados no item anterior é válida para o diagnóstico pedológico para Área de Estudo Local.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Cabe ressaltar apenas a variação proporcional das áreas de solo aflorantes na Área de Estudo Local, visto que a mesma abrange uma totalidade de aproximadamente 90% de sua área representada por solo do Cambissolo Distrófico, seguido por fina porção a norte do limite da área marcada por Neossolo Litólico e ainda, de forma pouco expressiva, aflora Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico a sul da mancha urbana do município de Brumadinho.

Além da classificação de solo apresentada acima conforme literatura de referência nacional para caracterização pedológica, visando apresentação de dados mais atualizados e fiéis à realidade sobre as características dos tipos de solos da Área de Estudo Local, considerou-se válido apresentar dados de caracterização mineralógica e geoquímica dos solos da sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão produzidos pela Arcadis (2022c) em contexto pré-rompimento das Barragens B1, B4 e B4-1 da Mina Córrego do Feijão; os quais são apresentados a seguir.

1.1.6.3.1 Caracterização mineralógica e geoquímica dos solos do entorno da mancha de rejeitos

Para o Plano de Reparação de Brumadinho foi realizado o estudo Caracterização Mineralógica e Geoquímica dos Solos do entorno da Mancha de Rejeitos da Bacia do ribeirão Ferro-Carvão e Determinação de Valores Estatísticos de Baseline Geoquímico por Arcadis (2022c) com o objetivo estudar a composição química global dos solos naturais da bacia do ribeirão Ferro-Carvão, realizar comparativos com as legislações vigentes que poderiam estar associados ao contexto regional, avaliar sua fertilidade e, por fim, determinar os *baselines* geoquímicos dos solos.

A malha de pontos de coleta de solo para análise da qualidade química e composição mineralógica adotada para estudo (Arcadis, 2022c) selecionou no total trinta e sete (37) pontos ao longo do entorno da mancha de inundação de rejeitos, todos inseridos na Área de Estudo Local do projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I e que, portanto, representa um estudo recente e valido para tratar da caracterização química e mineralógica dos solos locais.

Dentre todos os pontos selecionados para amostragem à época do estudo, o mais próximo a área do projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I é o ponto UD54, situado a jusante da barragem e no encontro das águas do Córrego Olaria com Córrego Laranjeira. O mapa de localização dos pontos selecionados no estudo é apresentado no Anexo II.

A seguir, é apresentado breve descrição dos resultados do estudo de caracterização química e mineralógica dos latossolos e cambissolos avaliados:

Com relação a composição química global, verificou-se, principalmente, baixos percentuais de Ferro (inferior a 30 %), e altos teores de sílica, majoritariamente acima de 50%. Para MnO, no entanto, os solos apresentaram baixa variabilidade e valores próximos de 0,1%. Neste cenário, é importante salientar que comportamentos similares foram verificados também por Arcadis (2020d) quando estudados os sedimentos naturais.

Para a densidade, verificou-se baixa variabilidade, com valores, em sua maioria, próximos a 2,5 g/cm³. Estes resultados foram ao encontro dos valores observados em Arcadis (2020) para solos em profundidade (solos sotopostos), com percentil 75 próximo de 2,8 g/cm³.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Verificou-se desvios apenas para os valores de referência de qualidade (antimônio, arsênio, cromo, cobalto, cobre, chumbo, molibdênio, prata, mercúrio e zinco) e valores de prevenção (arsênio, cromo e cobre) não sendo identificados desvios com relação aos valores investigativos de cenário agrícola para nenhum dos pontos coletados.

Em relação a granulometria global das amostras, identificou-se que, em sua maioria, as frações de finos são predominantes, sendo que em relação às profundidades de 0,2 m e 1 m, não foram verificadas grandes distinções, identificando-se solos majoritariamente argilosos (em sua maioria próximo de 50%).

Avaliando-se a fertilidade, pôde-se concluir que os solos amostrados são ácidos, apresentaram um significativo efeito tóxico do alumínio e baixos níveis de soma e saturação de bases, tendo como consequência uma baixa fertilidade natural.

Com relação à mineralogia, pela avaliação de difração raios-x (DRX), para a grande maioria das amostras, foram verificadas maiores concentrações de alumino-silicatos, o que também é corroborado com as análises de fluorescência raios X (XRF). Em contrapartida, minerais férricos e ferrosos mostraram-se com baixas contribuições. Exceções foram verificadas para quatro amostras que apresentaram maior enriquecimento destes últimos comparado ao conjunto de amostras analisadas, no entanto, ainda assim, com contribuições de alumino-silicatos acima de 50% da composição total.

Por fim, as amostras coletadas de forma composta em 0,2 m e analisadas pela metodologia de digestão 3050B, foram avaliadas com relação às metodologias estatísticas apresentadas para a determinação de valores de *baseline* geoquímico. Inicialmente, as amostras foram separadas por tipos de solos (cambissolos e latossolos) para aplicação das estatísticas. Em seguida, foi realizado o teste de Mann-Whitney entre os agrupamentos de amostras e constatou-se que não foram verificadas diferenças significativas entre os conjuntos, sendo possível, também, a determinação de um baseline geoquímico único.

Finalmente, os valores de *baseline* calculados foram avaliados segundo a legislação vigente, sendo que nenhum parâmetro apresentou valor de *baseline* geoquímico acima do respectivo valor de prevenção preconizado pela DN COPAM 166/2011 para os tipos de solos da bacia do Ferro Carvão. Com relação aos valores de referência de qualidade da DN COPAM 166/2011, verificou-se que o *baseline* geoquímico apresentou-se superior para Sb, As, Pb, Mo nos latossolos e Sb, As, Mo nos cambissolos.

1.1.6.4 Aptidão Agrícola

1.1.6.4.1 Área de Estudo Regional

De acordo com o levantamento realizado por EMBRAPA (DA SILVA, 2009), na Área de Estudo Regional ocorrem diferentes classes de aptidão agrícola (inaptas, inaptas para lavoura e/ou silvicultura, ou ainda terras restritas para sistemas de manejo), conforme apresentado na Figura 1-58.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

As terras inaptas para lavouras (sob sistema de manejo A, B ou C, porém com aptidão regular para silvicultura) ocorrem em quase toda a totalidade da Área de Estudo Regional. Secundariamente ocorrem também terras inaptas para lavouras sob sistema de manejo A, B ou C, porém com aptidão restrita para silvicultura. Toda a porção norte e leste da Área de Estudo Regional, marcada pelas serras e domínios montanhosos com presença dos neossolos litólicos, é características de terras inaptas para agricultura. Por fim, na porção estremo oeste da AER, ocorrem terras que apresentam classe de aptidão restrita para os sistemas de manejo de solo A e B.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

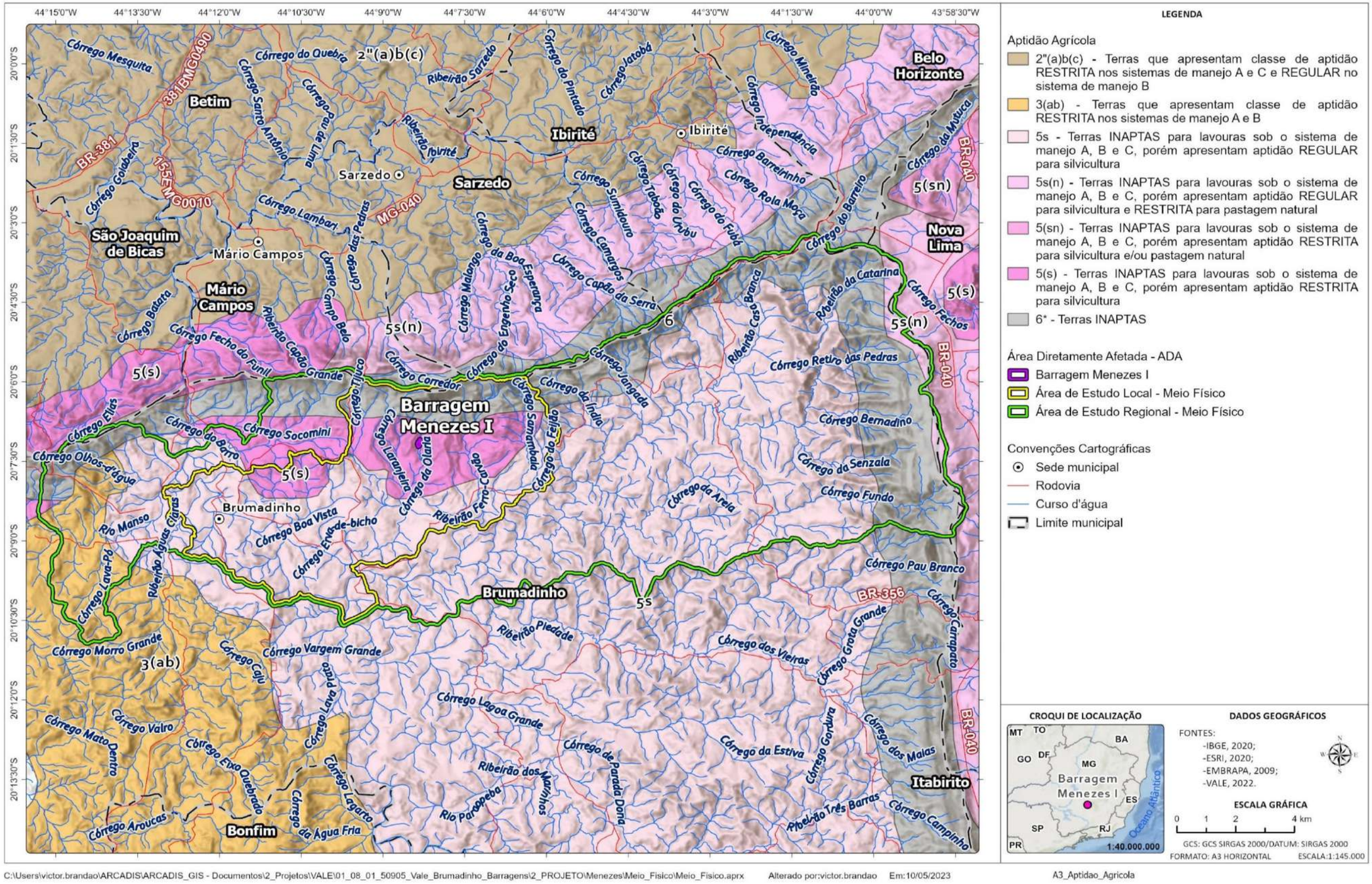


Figura 1-58 - Aptidão Agrícola.

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2022.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.6.4.2 Área de Estudo Local

Com relação à aptidão agrícola caracterizada para a Área de Estudo Local, observa-se - a partir do mapa apresentado na Figura 1-58 - que ocorre predominantemente terras inaptas para lavouras sob sistema de manejo (A, B e C), porém que apresentam aptidão regular para silvicultura. A porção noroeste da área, onde está localizada a Barragem Menezes I é considerada, segundo o mapeamento, como de terras inaptas para agricultura com aptidão restrita à silvicultura; e no extremo norte da Área de Estudo Local, avalia-se as terras como inaptas.

1.1.6.5 Síntese Conclusiva

A ocorrência de determinados tipos de solos em uma área está diretamente relacionada aos seus fatores de formação, tais como material de origem, relevo, clima, organismos e tempo. As características com que esses fatores se manifestam irão determinar a evolução dos solos que, por sua vez, darão condições ao estabelecimento de diferentes tipologias vegetacionais e formas de uso do terreno.

Na Área de Estudo Regional foram observados três grandes domínios pedológicos: Cambissolos; Neossolos; e Latossolos. Já na Área de Estudo Local, bem como na região da barragem Menezes, ocorre predominantemente o solo do tipo Cambissolo Háplico, constituídos por material mineral, caracterizados pelo horizonte B incipiente (Bi) subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, têm sequência de horizontes A ou histico (menor que 40 cm de espessura), Bi, C, com ou sem R (JACOMINE, 2009). São pouco desenvolvidos e ainda possuem características da rocha, evidenciadas pela presença de minerais primários. Mostram pouco desenvolvimento estrutural e, devido ao alto teor de silte e pouca profundidade, são de baixa permeabilidade, o que lhes confere caráter favorável à erosão.

Em geral, são solos pouco profundos, que apresentam teores relativamente elevados de minerais primários facilmente intemperizáveis, atividade da fração argila de média a alta e *solum* com discreta variação de textura. São solos que possuem baixa saturação por bases e, assim, classificados como de baixa aptidão agrícola, uma vez que, nem mesmo o relevo determinante desse tipo de solo favorece a utilização de maquinários para correções.

Com relação à aptidão agrícola, na Área de Estudo Regional ocorrem diferentes classes de aptidão agrícola (inaptas, inaptas para lavoura e/ou silvicultura, ou ainda terras restritas para sistemas de manejo), cabendo destacar a classificação das terras inaptas para lavouras (sob sistema de manejo A, B ou C, porém com aptidão regular para silvicultura) por ocorrem em maior proporção espacial na Área de Estudo Regional.

Na área de Estudo Local, por sua vez, predominam terras inaptas para lavouras sob sistema de manejo, porém apresentam aptidão regular para silvicultura. A porção noroeste da AEL de onde está localizada a Barragem Menezes I é considerada, como de terras inaptas para lavoura e com aptidão restrita à silvicultura

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.7 Espeleologia

1.1.7.1 Metodologia

Os estudos espeleológicos aqui apresentados se referem a compilação de dados de estudos anteriores realizados pela Vale S.A. em áreas de sua propriedade e que se correlacionam com as Áreas de Estudo Regional e Local para o projeto de descaracterização da Barragem Menezes I.

Assim, o diagnóstico dos aspectos relacionados à espeleologia das Áreas de Estudo se baseou principalmente em estudos pretéritos da Vale S.A e de consultorias ambientais subcontratadas realizados em áreas de propriedade Vale inseridos no município de Brumadinho e que representam recortes espaciais cabíveis ao contexto de análise espeleológica para as Áreas de Estudo Regional e Local para o projeto de descaracterização da Barragem Menezes I.

Dentre os estudos realizados em áreas de propriedade Vale disponibilizados para consulta, cabe destacar os estudos de Spelayon Consultoria (2010) e Ativo Ambiental (2014); Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba - Volume I, Capítulo I e Volume II, Capítulo II (ARCADIS, 2022a e b); Estudo de Impacto Ambiental elaborado para compor o Licenciamento Ambiental Corretivo das Obras Emergenciais decorrentes da ruptura da Barragem da Mina Córrego do Feijão e Recuperação Ambiental de sua Área de Influência - Volume II (AMPLO, 2019), e o Projeto Obras Emergenciais Córrego do Feijão (BRANDT, 2019).

Além de consulta aos estudos supracitados, realizou-se levantamento bibliográfico sobre cavernas no Brasil, com destaque para região de estudo, além de consulta a artigos científicos, livros, mapas geológicos, imagens de satélite e cartas topográficas em escala compatível com os objetivos do empreendimento.

De modo complementar, também foram consultadas as bases de dados espeleológicos oficiais no Brasil: CANIE/CECAV - Mapa de Potencial Espeleológico da Área de Estudo (JANSEN *et al*., 2012); Cadastro Nacional de Cavernas/SBE, CODEX/Redespeleo, IDE, dentre outros, para averiguar existência de cavidades previamente cadastradas no local de estudo.

O compilado dos estudos elaborados pelas empresas SPELAYON, (2010), BRANDT (2013), BRANDT (2019) e ATIVO AMBIENTAL(2014). é apresentado em detalhe e na integra no Anexo III do presente diagnóstico.

1.1.7.2 Contextualização da Área de Estudo Regional

Cavernas e feições cársticas podem ser encontradas em diferentes litologias. As rochas mais propícias à carstificação são as carbonáticas, em função do alto grau de solubilidade e acentuada resistência mecânica, garantindo a manutenção dos vazios. Acredita-se que cerca de 90% das cavernas conhecidas no mundo se desenvolveram em rochas desse tipo (AULER, 2006).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Ocorrências em litologias siliciclásticas, como arenitos e quartzitos, e em menor escala em granitos, gnaisses, solos e rochas metamórficas variadas, como micaxistos e filitos, também são encontradas. A recente comprovação da susceptibilidade de áreas de minério de ferro à formação de cavernas adiciona um componente ao contexto espeleológico brasileiro (AULER *et. al.,* 2005). No entanto, entre as litologias susceptíveis a processos espeleogenéticos, aquelas com matriz ferruginosa, bem como seus produtos de alteração (Canga), pode-se dizer, são as menos conhecidas em termos espeleológicos.

A região do Quadrilátero Ferrífero por sua vez foi classificada por Oliveira, Olivito & Rodrigues- Silva (2011) como uma Unidade Espeleológica, tendo sido a mesma dividida em dez unidades geomorfológicas onde aspectos de geologia e geomorfologia foram correlacionados através da interpretação de mapas geológicos, geomorfológicos, topográficos, hipsométricos e imagens de satélite. Dentre estas se encontra a unidade geomorfológica inserida na área de estudo.

Segundo Karmann e Sánchez (1979), província espeleológica é “uma região, pertencente a uma mesma formação geológica, onde ocorrem corpos de rochas carbonáticas suscetíveis as ações cársticas, ocasionando a presença de agrupamentos de cavernas”. Tais províncias podem ser subdivididas em distritos espeleológicos.

As Cavernas em rochas ferruginosas na área espeleológica da Serra do Curral- Rola Moça estão todas localizadas nas bordas dos platôs de canga resultado da erosão diferencial dos diferentes materiais que constituem a paisagem (STAVALE, 2007; SALGADO, 2006). Tais cavernas podem ocorrer em todos os compartimentos da paisagem, geralmente, associados a ruptura de relevo, como por exemplo bordas de platôs lateríticos, cabeceiras de drenagens, depressões em formas de dolina, bordas de lagoas, estando posicionadas tanto nos topos como nas vertentes inclinas.

Geralmente, as cavernas de formações ferríferas não possuem desenvolvimento muito profundo, possuem dimensões reduzidas em comparação com cavidades encontradas em rochas carbonáticas, por exemplo. Para além, essas cavidades, encontram-se, quase sempre isoladas umas das outras ou sem conexão hidrológica, são raras as exceções.

As entradas das cavidades ferríferas são predominantemente baixas e estreitas com o interior heterogêneo possuindo regularidade no teto, paredes e piso devido a forma da rocha encaixante - cavidades em canga tende serem bem rugosas, enquanto aquelas em rochas ferríferas bandada como o itabirito tendem a ser mais regulares com secções triangulares.

Em relação as feições endocársticas são comuns os microcanais de drenagem, sendo esses de formato cônico ou cilíndrico, e contribuem para verificação de desenvolvimento da caverna. Também são identificados em cavernas ferríferas pilares e pendentes que são formações residuais do processo erosivo da cavidade. Claraboias, sumidouros, surgências e ressurgências são menos comuns, apesar de serem identificadas.

Considerando para os estudos espeleológicos a mesma Área de Estudo Regional que para as demais temáticas de Meio Físico é apresentado a seguir o potencial espeleológico para área de abrangência de estudo com destaque para o levantamento das principais cavidades cadastradas com classificação do grau de relevância.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.7.2.1 Potencial Espeleológico

A análise do grau de potencialidade para ocorrência de cavidades foi realizada com base no mapa do CECAV (2012). O Núcleo de Geoprocessamento do CECAV (2009), produzido a partir do mapa geológico da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico do Brasil em escala 1:2.500.000 e demais dados de ocorrência de cavernas, aprimorou desde 2009 até 2012 um mapa de potencialidades litológicas para a ocorrência de cavidades. Tal produto definiu 5 classes de potencialidade espeleológica, conforme apresentado na Tabela 1-24.

Tabela 1-24 - Potencial Espeleológico segundo litotipo.

POTENCIAL	LITOTIPO
Muito alto	Calcário, dolomito, evaporito, formação ferrífera bandada, itabirito e jaspilito
Alto	calcrete, carbonatito, mármore, metacalcário e marga
Médio	arenito, conglomerado, filito, folhelho, fosforito, grauvaca, metaconglomerado, metapelito, 104itótipos104o, micaxisto, milonito, quartzito, pelito, riolito, ritmito, rocha calci-silicática, siltito e xisto
Baixo	demais 104itótipos (anortosito, arcóseo, augengnaisse, basalto, charnockito, diabasio, diamictito, enderbito, gabro, gnaisse, granito, granitoide, granodiorito, hornfels, kinzigito, komatito, laterita, metachert, migmatito, monzogranito, oliva gabro, ortoanfibolito, sienito, sienogranito, tonalito, trondhjemito, entre outros
Improvável	aluvião, areia, argila, cascalho, lamito, linhito, demais sedimentos, turfa e tufo

Fonte: CECAV, 2009.

O mapa da Figura 1-59 ilustrado abaixo, produzido a partir das bases de dados espeleológicos oficiais no Brasil: CANIE/CECAV - “Mapa de Potencialidade de Ocorrência de Cavernas no Brasil” em escala de 1:2.500.000 (JANSEN *et al.*, 2012), apresenta o potencial espeleológico da Área de Estudo Regional e Local do Meio Físico. Neste levantamento encontra-se um total de 23 cavidades cadastradas que interceptam a delimitação da Área de Estudo Regional; as quais ocorrem distribuídas desde áreas de baixo potencial espeleológico, majoritariamente, a áreas com potencial médio a muito alto.

As áreas de potencial muito alto, localizadas à norte e extremo lesta da região, estão associadas às rochas do Grupo Itabira - Formação Cauê e à ocorrência de rochas carbonáticas relacionadas à Formação Gandarela, no extremo nordeste da área. Já os terrenos em que ocorrem as rochas das Formações Batatal e Moeda possuem um alto potencial de ocorrência de cavidades.

Potenciais espeleológicos médios se associam às unidades arqueanas do Grupo Nova Lima (unidades metamórfica e indivisa) caracterizada por xistos e filitos. Por fim, observa-se que a área de maior abrangência territorial da Área de Estudo Regional é característica por baixa potencialidade cavernícola, representada pelos corpos gnáissicos Souza Norchese e Alberto Flores.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

O mapa da Figura 1-60 apresenta enfoque para a Área de Estudo Local e para a área de inserção do projeto de descaracterização da Barragem Menezes I com as principais cavidades cadastradas que se inserem no contexto da AEL. Neste mapa também é apresentada a delimitação dos caminhamentos de prospecção espeleológicas realizados em atividades de campo pelas empresas de consultoria ambiental que anteriormente trabalharam em projetos para a Vale fazendo levantamentos de dados espeleológicos primários. Cabe destacar no mapa o caminhamento realizado em estudo da Brandt (2019) bem como da Ativo Ambiental (2014), indicando que parte da área de estudo regional e da local do presente projeto já são áreas densamente estudadas e mapeadas no contexto espeleológico.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

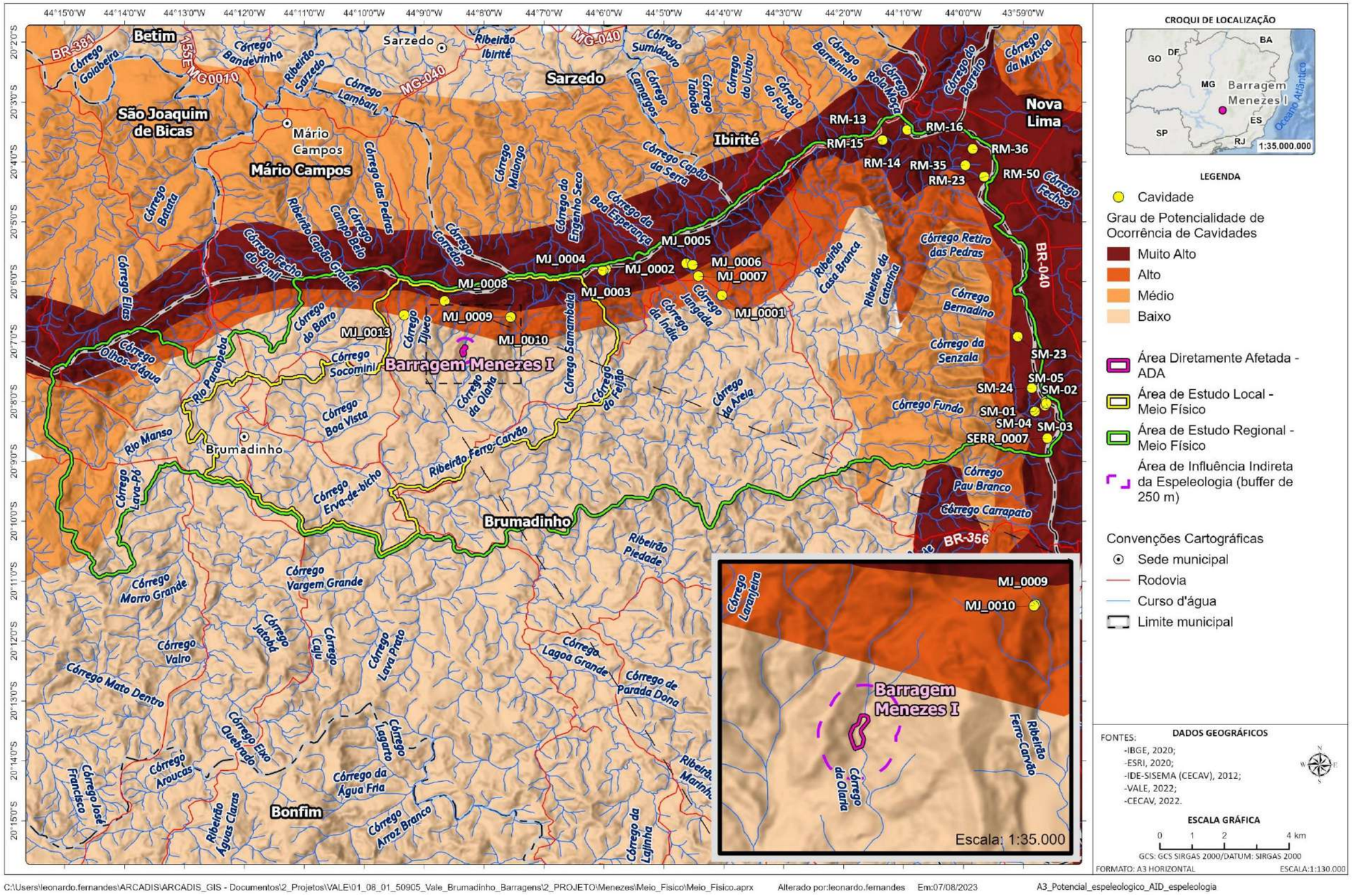


Figura 1-59 - Mapa do Potencial Espeleológico nas Áreas de Estudo Regional e Local do Meio Físico e Cavidades.

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

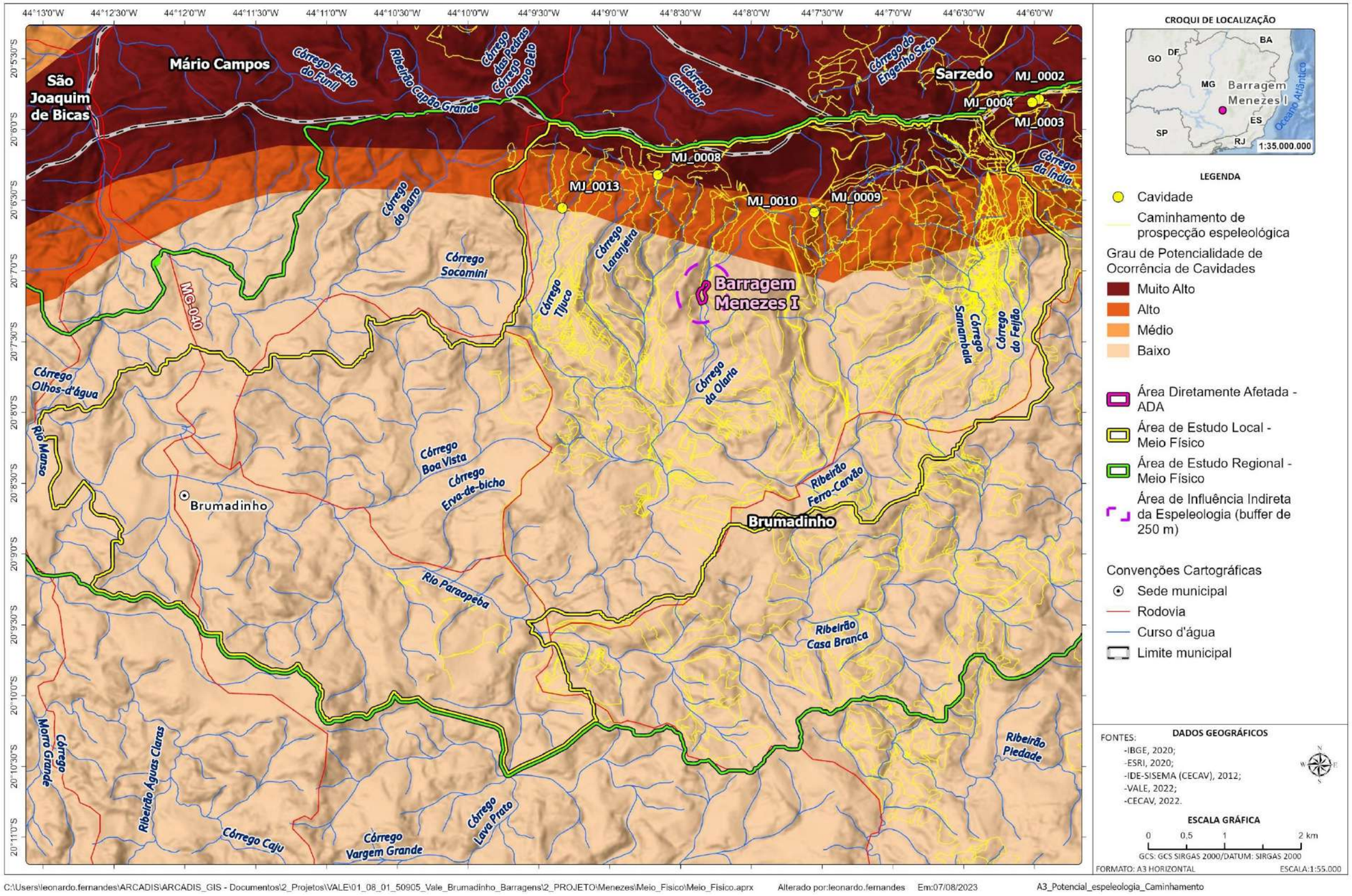


Figura 1-60 - Mapa de delimitação dos caminhamentos espeleológicos realizados em estudos anteriores pelas consultorias Brandt e Ativo Ambiental

Fonte: Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.7.2.2 Diagnóstico Espeleológico e Classificação do Grau de Relevância

A partir do levantamento de cavidades cadastradas que interceptam a Área de Estudo Regional, apresenta-se a seguir os principais dados mapeados para cada cavidade conforme Tabela 1-25.

Tabela 1-25 - Cavidades inseridas na Área de Estudo Regional.

Cavidade	Coordenadas (Grau Decimal)		Localidade
	Latitude	Longitude	
MJ-0001	-20,1038	-44,067213	Jangada
MJ-0002	-20,0964	-44,0994	Jangada
MJ-0003	-20,0964	-44,0994	Jangada
MJ-0004	-20,0968	-44,1003	Jangada
MJ-0005	-20,0949	-44,077117	Jangada
MJ-0006	-20,0953	-44,075297	Jangada
MJ-0007	-20,0985	-44,07371	Jangada
MJ-0008	-20,1053	-44,144347	Jangada
MJ-0009	-20,1097	-44,125805	Jangada
MJ-0010	-20,1098	-44,125919	Jangada
MJ-0013	-20,1092	-44,155578	Jangada
RM-013	-20,0612	-44,029572	Parque Estadual do Rola Moça
RM-014	-20,0605	-44,022619	Parque Estadual do Rola Moça
RM-015	-20,0606	-44,022551	Parque Estadual do Rola Moça
RM-016	-20,0577	-44,01560	Parque Estadual do Rola Moça
RM-23	-20,0709	-43,994285	Parque Estadual do Rola Moça
RM-35	-20,0676	-43,999468	Parque Estadual do Rola Moça
RM-36	-20,0709	-43,994285	Parque Estadual do Rola Moça
RM-50	-20,0708	-43,994222	Parque Estadual do Rola Moça
RM-50	-20,0708	-43,994222	Parque Estadual do Rola Moça
SM-01	-20,1361	-43,980139	Serra da Moeda
SM-02	-20,1361	-43,98013	Serra da Moeda
SM-03	-20,1339	-43,976949	Serra da Moeda
SM-04	-20,1345	-43,97728	Serra da Moeda
SM-05	-20,1332	-43,9770	Serra da Moeda
SM-23	-20,1153	-43,984839	Serra da Moeda
SM-24	-20,1296	-43,980943	Serra da Moeda
SERR-0007	-20,1436	-43,97664	Quadrilátero Ferrífero

Fonte: Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Considerando-se a distância das cavidades SM, RM e SERR em relação à localidade da Barragem Menezes I, será dada maior relevância para as cavidades de maior proximidade, no caso as cavidades MJ inseridas no contexto das Minas Córrego do Feijão e Jangada, ambas da Vale S.A.

As cavidades MJ-0001, MJ-0005, MJ-0006 e MJ-0007 estão inseridas na média-baixa vertente, em escarpa paralela a calha de drenagem. A cavidade MJ-0004 está localizada na alta vertente da Serra Três Irmãos, ao longo de rupturas de declive em quebra de canga. No geral as escarpas são perpendiculares à inclinação da vertente, com altura de cerca de 3 metros, sem continuidade lateral, não ultrapassando 30 metros de comprimento. Essas cavidades situam-se à nordeste da Barragem Menezes I em áreas de potencial de ocorrência de cavidades alto a muito alto.

Quanto aos aspectos litológicos, a cavidade MJ-008 ocorre em litologia mista, composta por teto de canga detrítica e as paredes de filitos da Formação Moeda. As demais cavidades ocorrem em canga detrítica, composta por fragmentos angulosos a sub-angulosos constituídos principalmente por calhaus e sêixos de hematita compacta, fragmentos da formação ferrífera, quartzo e clastos de especularita, na MJ-0004. Foram observadas juntas de alívio irregulares no teto. De acordo com o diagnóstico espeleológico apresentado, a relação das cavidades com as litologias e unidades de relevo local demonstra que eles estão em bordas de anfiteatros fluviais e ao longo de rupturas de declive em vertentes muito inclinadas, indicando a importância da erosão e entalhe fluvial, assim como da ocorrência de depósitos detrito-lateríticos terciários na espeleogênese local.

Com relação à morfologia, as cavernas não apresentam um padrão planimétrico claro. A caverna MJ-0004 apresenta uma planta baixa com muitas irregularidades laterais, geradas por inúmeros canalículos. Essas cavidades apresentam diversos pilares, que formam passagens laterais. Em alguns setores esses pilares dão um aspecto labiríntico a essas cavernas. Os pilares são comuns em cavernas ferríferas e constituem elementos verticais de estrutura da caverna, ocasionando a formação de passagens laterais.

Foi observada em quase todas as cavidades a presença de pendentes, caracterizados por projeções com formato aproximadamente cônico invertido, que se projetam do teto. As dimensões desses pendentes são variáveis, mas não ultrapassam 1 metro. No geral, os pisos das cavernas apresentam inclinação concordante com a maior inclinação da vertente. O diagnóstico espeleológico apresentado, ressalta que este padrão é influenciado pelo fluxo de águas pluviais que, por processos de erosão, transportam o sedimento de granulometria fina para a parte mais baixa da caverna, seguindo o gradiente hidráulico.

Quanto aos aspectos hidrológicos, as cavernas MJ-0001, MJ-0005, MJ-0006 e MJ-0007 apresentam drenagem perene em seu interior. A MJ-0001 merece destaque, pois apresenta um sumidouro na forma de uma pequena cachoeira. Após a queda d'água, que penetra via claraboia, o escoamento perene percorre aproximadamente 18 m pela cavidade, ressurgindo logo em seguida. A cavidade MJ- 0004 está inserida na alta vertente, em área típica de recarga hídrica, predominando a ocorrência de gotejamentos e pequenos fluxos concentrados de origem pluvial. Para as cavidades MJ-0008, MJ-0009 e MJ-0010 verificou-se a ocorrência de gotejamento e percolação. Além disso, foram comumente observadas nas cavidades, marcas de escoamento temporário ao longo dos pisos a partir dos canalículos de fundo e entrada superior, como no caso da MJ-0009.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.7.3 Contextualização da Área de Estudo Local

Considerando que a Área de Estudo Local se refere a um refinamento poligonal a partir da delimitação da Área de Estudo Regional, observa-se que na Área de Estudo Local há diminuição de abrangência espacial, restringindo a relação às cavidades existentes no entorno próximo da Barragem Menezes I.

Cabe ressaltar que o diagnóstico do patrimônio espeleológico é executado com uma área de influência já definida, em atendimento às legislações: Decreto nº 99.556/1990, com as alterações dadas pelo Decreto nº 6.640/2008, a Resolução CONAMA nº 347/2004 e a Instrução Normativa nº 2/2017 do Ministério do Meio Ambiente e Instruções Normativas nº 1 e 4/2017 do Instituto Chico Mendes, além do cumprimento das demais leis que vigoram sobre o tema no âmbito Estadual e Municipal. Assim, a partir da área diretamente afetada pela Descaracterização da Barragem Menezes I, é definido *buffer* de 250 metros, na qual será avaliado o patrimônio espeleológico que, potencialmente, pode ser afetado pelo empreendimento.

Ressalta-se que os estudos espeleológicos para área de estudo a partir do refinamento para buffer de 250 m do entorno da ADA do projeto são apresentados na integra no Anexo III - Meio Físico do presente diagnóstico, sendo apresentado nos sub-itens a seguir apenas recorte das principais informações do potencial espeleológico da Área de Estudo Local.

1.1.7.3.1 Potencial Espeleológico

Conforme apresentado no mapa da Figura 1-59, a Área de Estudo Local abrange três classes de potencialidade espeleológica: baixa, alta e muito alta. Observa-se que aproximadamente 90% da área se insere na classificação de baixa potencialidade, enquanto os 10% restante da área se distribui entre classes de alta e muito alta potencialidade espeleológica. Cabe destacar que a área do projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I se insere em área de baixo potencial espeleológico.

Tal potencialidade se confirma pela baixa concentração de cavidades cadastradas que se inserem na delimitação da Área de Estudo Local. Trata-se de quatro cavidades identificadas (MJ-0008, MJ-0009, MJ-0010 e MJ-0013), cujos principais dados são apresentados na Tabela 1-26.

Tabela 1-26 - Cavidades próximas à Barragem Menezes inseridas na Área de Estudo Local

Cavidade	Distância (m)	Localidade	Coordenadas (Grau Decimal)	
			Latitude	Longitude
MJ-0008	1513,77	Mina Jangada	-20,105348	-44,144347
MJ-0009	1607,59	Mina Jangada	-20,109694	-44,125805
MJ-0010	1592,04	Mina Jangada	-20,109785	-44,125919
MJ-0013	1994,53	Mina Jangada	-20,109245	-44,155578

Fonte: CECAV, 2012.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

As cavidades MJ-0008, MJ-0009, MJ-0010 e MJ-0013, que se inserem no contexto da Área de Estudo Local do Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I, foram mapeadas para Vale S.A. pela empresa Ativo Ambiental no ano de 2014, visando a avaliação espeleológica para a Mina Jangada.

Dentre as quatro cavidades mencionadas, cabe destaque às cavidades MJ-0008, MJ-0009, MJ-0010 pois situam-se próximas do projeto da Barragem Menezes I (ADA). Apesar de próximas, nenhuma destas de insere no raio mínimo de 250 metros da ADA, de modo que não há possibilidade de que as mesmas possam sofrer interferência pelas obras de descaracterização.

Assim, considerando o contexto da Área de Estudo Local, apresenta-se a seguir detalhamento para estas três cavidades.

A. Cavidade MJ-0008

Apresentou alto grau de relevância espeleológica para os atributos:

- Espeleometria: dimensões alta regional e média local;
- Geoespeleologia: diversidade de espeleotemas que são pouco conhecidos em litologia ferrífera que confere importância acentuada e local;
- Bioespeleologia: alta riqueza e alta abundância relativa de espécies e a presença de troglóbio conferem importância acentuada e local;

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

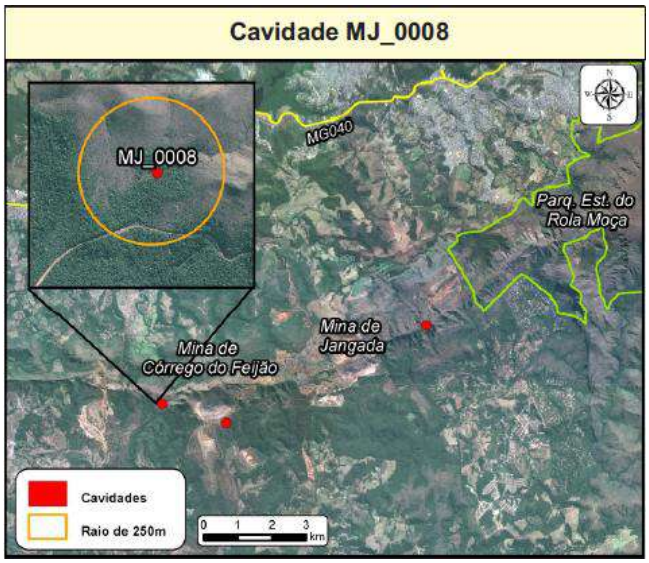


Figura 1-61 - Localização da Cavidade MJ-0008.
Fonte: Ativo ambiental, 2014.

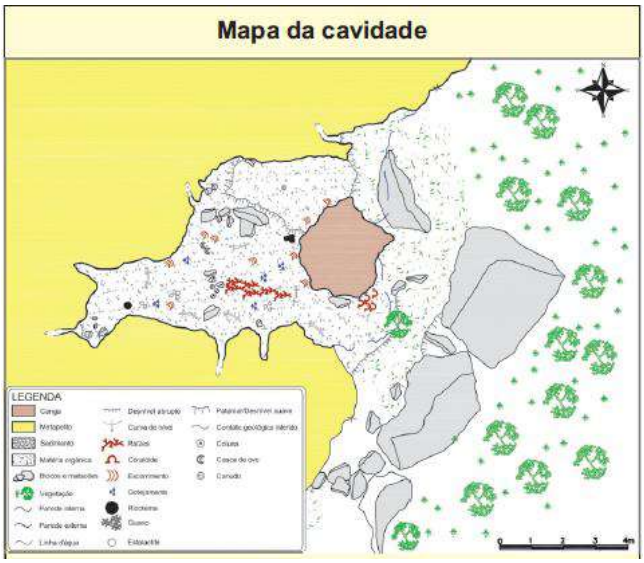


Figura 1-62 - Mapa Topográfico da Cavidade MJ-0008.
Fonte: Ativo ambiental, 2014.

"A cavidade MJ-0008 está localizada no município de Brumadinho, nas coordenadas UTM E= 589494 e N= 7776676, a 1075 m de altitude. Encontra-se posicionada na baixa vertente, próxima a calha de drenagem. Está inserida no contexto da unidade espeleológica do Quadrilátero Ferrífero-Conceição, na qual se insere a unidade geomorfológica do Quadrilátero-Oeste. Com projeção horizontal de 17,99 m, é formada no contato entre a canga (teto) e rocha metapelítica (paredes). O piso é inclinado para o exterior. Apresenta zonação completa com predomínio de zona disfótica. Os recursos orgânicos disponíveis são serapilheira, raízes e guano. A fauna é diversificada com destaque para opiliões da família Gonyleptidae. A cavidade e seu entorno apresentam bom estado de conservação" (ATIVO AMBIENTAL, 2014 p. 25).

B. Cavidade MJ-0009

Apresentou alto grau de relevância espeleológica para os atributos:

- Espeleometria: dimensões médias, tendo importância significativa local e regional;
- Geoespeleologia: pouco tipos de espeleotemas com importância significativa local
- Bioespeleologia: alta abundância relativa de importância acentuada regional e local;

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

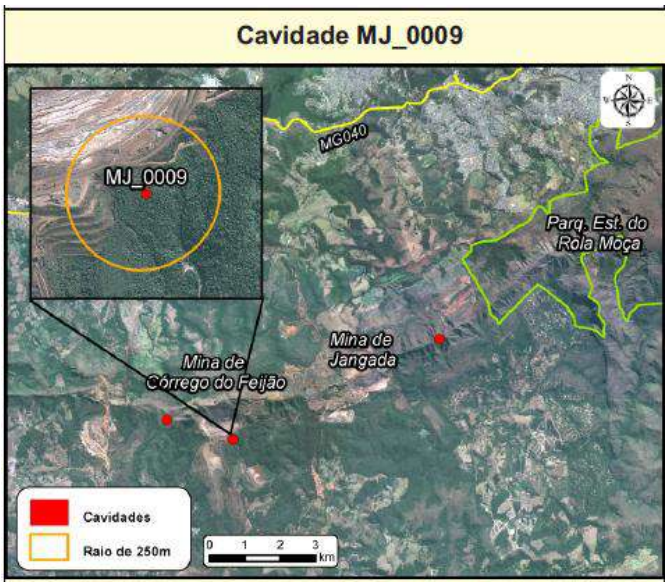


Figura 1-63 - Localização da Cavidade MJ-0009.

Fonte: Ativo ambiental, 2014.

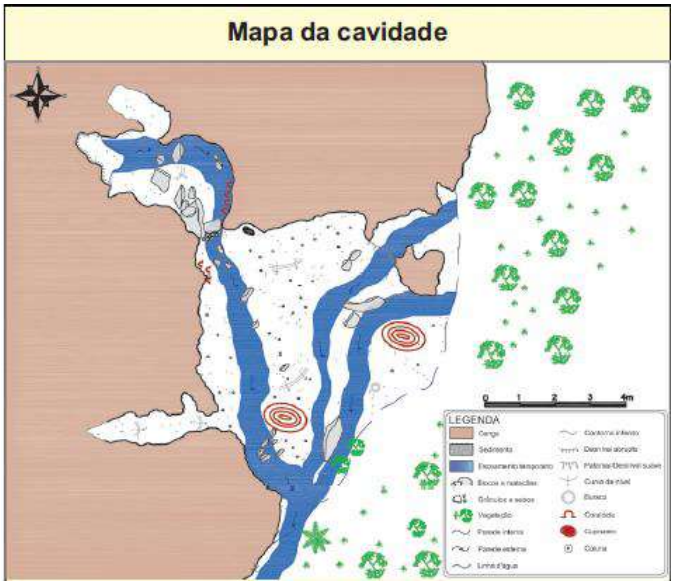


Figura 1-64 - Mapa Topográfico da Cavidade MJ-0009.

Fonte: Ativo ambiental, 2014.

"A cavidade MJ-0009 está localizada no município Brumadinho, nas coordenadas UTM E= 591430 e N= 7776185, a 1086 m de altitude. Encontra-se posicionada na média vertente. Está inserida no contexto da unidade espeleológica do Quadrilátero Ferrífero-Conceição, na qual se insere a unidade geomorfológica do Quadrilátero-Oeste. Com projeção horizontal de 18,19 m, a cavidade é formada por canga, com piso inclinado para seu interior. Apresenta aspectos hidrológicos ativos (gotejamentos e escoamento temporário). Possui zonação incompleta com predomínio de zona eufótica. Os recursos orgânicos disponíveis são serapilheira e guano. O entorno da cavidade apresenta descaracterização da vegetação com predomínio de espécies pioneiras e restos de tubulações" (ATIVO AMBIENTAL, 2014 p. 26).

C. Cavidade MJ-0010

Apresentou alto grau de relevância espeleológica para os atributos:

- Espeleometria: dimensões baixas, tendo importância significativa local e regional;
- Geoespeleologia: pouco tipos de espeleotemas com importância significativa local
- Bioespeleologia: alta abundância relativa de importância acentuada regional e local;

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

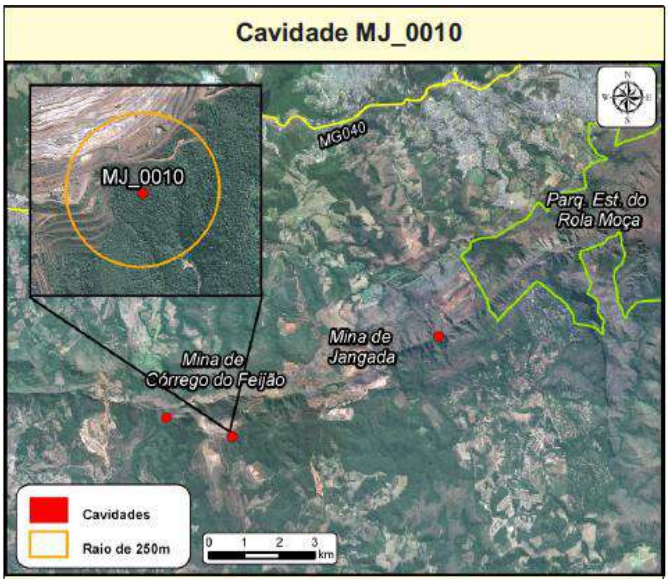


Figura 1-65 - Localização da Cavidade MJ-0010.

Fonte: Ativo ambiental, 2014.

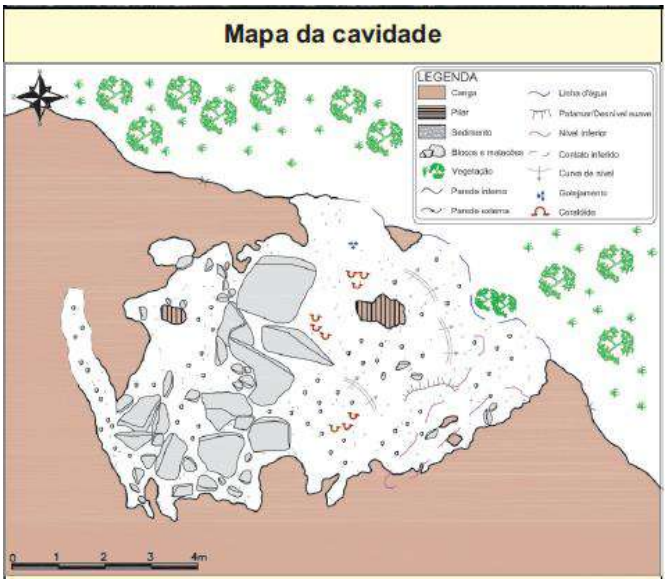


Figura 1-66 - Mapa Topográfico da Cavidade MJ-0010.

Fonte: Ativo ambiental, 2014.

"A cavidade MJ-0010 está localizada no município Brumadinho, nas coordenadas UTM E= 591418 e N= 7776175, a 1060 m de altitude. Está inserida no contexto da unidade espeleológica do Quadrilátero Ferrífero-Conceição, na qual se insere a unidade geomorfológica do Quadrilátero-Oeste. Com projeção horizontal de 15,27, a cavidade é formada por canga detrítica, posicionada em média vertente. O piso é relativamente plano, recoberto por depósitos clásticos que variam de seixos a matacões. Possui zonação completa com predomínio de zona clara. Os recursos orgânicos disponíveis são serapilheira e raízes localizadas pontualmente. A cavidade apresenta bom estado de conservação, contudo, em seu entorno imediato há predomínio de vegetação pioneira" (ATIVO AMBIENTAL, 2014 p. 27).

A partir da compilação de dados espeleológicos apresentados, bem como o detalhamento dos estudos (Anexo III - Meio Físico) em especial quanto às distâncias das localidades das cavidades mapeadas em relação à área que será utilizada para instalação do empreendimento; entende-se que não haverá dano ou impacto potencial negativo sobre o patrimônio espeleológico, uma vez que nenhuma das cavidades supracitadas se inserem no entorno próximo de raio de 250 metros da área de interesse do Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I.

1.1.7.4 Síntese Conclusiva

A avaliação espeleológica para a Área de Estudo Regional e Local teve como base os estudos realizados por consultorias anteriores em áreas de propriedade da Vale, cabendo destacar os estudos de Spelayon Consultoria (2010) e Ativo Ambiental (2014); Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba - Volume I, Capítulo I e Volume II, Capítulo II (ARCADIS, 2022a e b); Estudo de Impacto Ambiental elaborado para compor o Licenciamento Ambiental Corretivo das Obras Emergenciais decorrentes da ruptura da Barragem da Mina Córrego do Feijão e Recuperação Ambiental de sua Área de Influência - Volume II (AMPLO, 2019), e o Projeto Obras Emergenciais Córrego do Feijão (BRANDT, 2019).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

De modo complementar, também foram consultadas as bases de dados espeleológicos oficiais no Brasil: CANIE/CECAV - Mapa de Potencial Espeleológico da Área de Estudo (JANSEN *et al*., 2012); Cadastro Nacional de Cavernas/SBE, CODEX/Redespeleo, IDE, dentre outros, para averiguar existência de cavidades previamente cadastradas no local de estudo.

A partir da compilação dos dados apresentados nas bibliografias supracitadas, entende-se que a Área de Estudo Regional é marcada por áreas de muito alto, alto médio e baixo potencial espeleológico dada sua expressiva abrangência espacial.

As áreas de potencial muito alto, localizadas à norte e extremo leste da região, estão associadas às rochas do Grupo Itabira - Formação Cauê e à ocorrência de rochas carbonáticas relacionadas à Formação Gandarela, no extremo nordeste da área. Já os terrenos em que ocorrem as rochas das Formações Batatal e Moeda possuem um alto potencial de ocorrência de cavidades.

Potenciais espeleológicos médios se associam às unidades arqueanas do Grupo Nova Lima (unidades metamórfica e indivisa) caracterizada por xistos e filitos. Por fim, observa-se que a área de maior abrangência territorial da Área de Estudo Regional é característica por baixa potencialidade cavernícola, representada pelos corpos gnáissicos Souza Norchese e Alberto Flores; os quais são os corpos mais representativos da área de Estudo Local. Assim na AEL predomina baixo potencial espeleológico, bem como a área do Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I.

Cabe mencionar que diversos foram os mapeamentos com levantamentos de dados primários nas áreas de propriedade Vale, sendo importante destacar estudos realizados pela Ativo Ambiental (2014) para as cavidades MJ existentes na Mina de Jangada e que também se inserem no contexto do presente projeto. Cabe mencionar que todas as cavidades mencionadas encontram-se cadastradas no banco de dados do CANIE/CECAV.

As cavidades MJ-0008, MJ-0009 e MJ-0010 inseridas na AEL e em contexto de baixo potencial espeleológico, apesar de serem as mais próximas da área do Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I, não se sobrepõem ao raio mínimo de 250 m da ADA de modo que não há risco de tais cavidades sofrerem interferência das obras de descaracterização de Menezes I.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.8 Recursos Hídricos Superficiais

1.1.8.1 Metodologia

A caracterização dos recursos hídricos superficiais apresentada pautou-se na análise de dados e informações secundárias oriundos de órgãos oficiais, como mapeamentos da rede hidrográfica e informações sobre usos da água disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), além de dados da estação fluviométrica Alberto Flores (40740000), operada pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Ademais, foram utilizados estudos de referência publicados na literatura e dados de monitoramento hidrológico coletados e disponibilizados pelo empreendedor no âmbito do Plano de Controle Ambiental vinculado ao Licenciamento Ambiental Corretivo das Obras Emergenciais em curso na Mina Córrego do Feijão, que objetivam a reparação do dano ambiental ocasionado pelo rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA. Destaca-se que a avaliação foi baseada nas escalas de análise regional e local, conforme definição apresentada no item Áreas de Estudo.

1.1.8.2 Contextualização da Área de Estudo Regional

A intervenção em análise localiza-se na bacia hidrográfica do córrego Olaria, afluente do ribeirão Ferro-Carvão. Este, por sua vez, é contribuinte direto do rio Paraopeba, que integra a bacia hidrográfica do rio São Francisco.

O rio São Francisco nasce na serra da Canastra, no estado de Minas Gerais, escoando no sentido sul-norte até Pernambuco, quando altera seu curso para leste, chegando ao oceano Atlântico através da divisa entre os estados de Alagoas e Sergipe (CBHSF, 2016).

A Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (BHRSF) é uma bacia de domínio federal, que possui grande importância em termos de volume de água transportado e potencial hídrico, com relevante contribuição histórica e econômica na região em que se insere. Apresenta extensão aproximada de 2.863 km, vazão média de 2.769 m^3/s e uma área de drenagem de 639.219 km². Devido a estas características, representa cerca 8% do território nacional, abrangendo 505 municípios localizados nos territórios de sete unidades da federação, a saber: Minas Gerais, Goiás, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Distrito Federal. A bacia é dividida em quatro regiões fisiográficas (Alto São Francisco, Médio São Francisco, Submédio São Francisco e Baixo São Francisco) e 34 sub-bacias hidrográficas (CBHSF, 2016).

A BHRSF possui como um de seus principais afluentes o rio Paraopeba, localizado na região fisiográfica do Alto São Francisco. Sua nascente situa-se no extremo sul da serra do Espinhaço, no município de Cristiano Otoni - Minas Gerais, a partir de onde percorre uma distância de aproximadamente 550 km até sua foz no reservatório da UHE Três Marias.

A bacia hidrográfica do rio Paraopeba (BHRP) possui uma área de drenagem 13.643 km². Conforme DN CERH-MG n° 71/2021, esta integra a Unidade de Gestão Estratégia (UEG) 1 - Afluentes do Alto São Francisco, correspondendo à Circunscrição Hidrográfica SF3.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A BHRP abrange um total de 48 municípios, dos quais 35 possuem suas sedes municipais dentro da bacia, 21 são englobados parcialmente e 14 fazem parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, incluindo o município de Brumadinho (COBRAPE, 2020). Esta é dividida em três regiões: Alto Rio Paraopeba, Médio Rio Paraopeba e Baixo Rio Paraopeba, sendo o empreendimento localizado no trecho médio, que apresenta maior concentração populacional e possui como um de seus principais eixos econômicos a atividade minerária.

Dentro deste contexto, a Área de Estudos Regional (AER) selecionada para o presente estudo compreende um total de aproximadamente 21307ha, localizada integralmente no interior da BHRP e dos limites territoriais de Brumadinho/MG.

Em sua porção leste, a AER abrange a sub-bacia do ribeirão Casa Branca, que possui suas nascentes na vertente sul da serra Três Irmãos (extensão sudoeste da serra do Curral). Em sua margem esquerda, o ribeirão Casa Branca tem como principais afluentes o ribeirão Catarina e o córrego da Areia. Pela margem direita, recebe contribuição dos córregos Índia, Jangada e outros sem denominação, conforme mapeamento da rede hidrográfica disponibilizado pelo IGAM-MG. Após percorrer uma extensão de aproximadamente 19km no sentido Nordeste-Sudoeste, sua foz ocorre na margem direita do rio Paraopeba.

Na porção central, a AER compreende a sub-bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão. O ribeirão Ferro-Carvão tem suas nascentes nos contrafortes da vertente sul da Serra Três Irmãos e é afluente direto do rio Paraopeba em sua margem direita. Na área de drenagem desta bacia hidrográfica está localizada a Barragem Menezes I, a ser descaracterizada.

Por fim, em sua porção oeste, a AER abrange as sub-bacias dos córregos Erva de Bicho, Boa Vista e outros sem denominação, que contribuem diretamente com o rio Paraopeba, englobando o trecho deste rio até a confluência com o rio Manso. Inclui, ainda, todo o segmento do rio Manso existente a jusante do reservatório de mesma denominação, bem como afluentes diretos localizados nessa porção. Neste contexto, engloba quase integralmente a sede urbana do município de Brumadinho. De forma geral, a Área de Estudo Regional apresenta padrão de rede de drenagem dendrítico, cuja espacialização pode ser observada na Figura 1-67.

1.1.8.3 Contextualização da Área de Estudo Local

A Área de Estudos Local (AEL) abrange um total de aproximadamente 5652ha. Sua delimitação se deu a partir dos limites das bacias hidrográficas próximas e conectadas à área de intervenção, sendo estas, por consequência, mais suscetíveis aos possíveis impactos ocasionados pela atividade, tornando-se ideais como recorte de análise.

Neste contexto, em suas porções leste e central, a AEL engloba toda a sub-bacia do Ribeirão Ferro-Carvão. A bacia do ribeirão Ferro-Carvão tem suas nascentes na vertente sul da serra Três Irmãos e possui aproximadamente 33,16 km² de área de drenagem, com curso d'água principal de 11,32 km de extensão (AMPLO ENGENHARIA, 2019). A Tabela 1-27 demonstra algumas de suas características fisiográficas.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Tabela 1-27 - Características fisiográficas da bacia do ribeirão Ferro-Carvão.

Características	Símbolo	Unidade	Ribeirão Ferro-Carvão
Área de drenagem da bacia de interesse	AD	km^2	33,16
Perímetro da bacia de interesse	P	km	28,46
Maior elevação do curso d'água (nascente)	Hmax	m	1.102
Elevação do ponto de interesse (foz)	Hmin	m	729
Desnível natural total	H	m	373
Comprimento do curso d'água principal	LPRINC	km	11,32
Declividade média do curso d'água	S	m/km	32,95
Coeficiente de compacidade	Kc	---	1,38
Fator de forma	Kf	---	0,26
Tempo de concentração	Tc	h	1,60

Elaboração: Arcadis, 2023. Fonte: Amplo Engenharia (2019).

Os principais afluentes do ribeirão Ferro-Carvão são os córregos Samambaia, Laranjeira e Olaria. O córrego Samambaia tem suas nascentes localizadas nas vertentes sul da Serra dos Três Irmãos e percorre cerca de 5km de extensão no sentido N-S até sua confluência com o Ferro-Carvão. Seu principal tributário é o córrego do Feijão, onde se localizam as barragens B-I, B-IV e B-IVA que se romperam em 25 de janeiro de 2019 (Vale S/A, 2019).

O córrego Laranjeira também tem suas nascentes nas vertentes sul da Serra dos Três Irmãos, percorrendo um trecho de aproximadamente 4km até desaguar na margem direita do ribeirão Ferro-Carvão. Seu principal tributário é o córrego Tijuco.

O córrego Olaria, por fim, forma-se a partir da confluência de dois córregos de primeira ordem a jusante da pilha de estéril denominada PDE Menezes III, estando diretamente sob influência do sistema de drenagem deste depósito. Em seu canal está localizada a barragem Menezes I, objeto de avaliação pelo presente EIA. A jusante da barragem Menezes I, o fluxo do córrego segue no sentido sul até desaguar no remanso da barragem Menezes II, a partir da qual percorre cerca de 600m até a foz no ribeirão Ferro-Carvão. Considerando projeto conceitual elaborado pela empresa BVP Engenharia e disponibilizado pela Vale, cujo resumo encontra-se apresentado no Volume I - Caracterização do empreendimento, este córrego terá trecho de seu leito reconformado em uma das etapas da descaracterização.

Em sua porção Sul, a AEL compreende a área de drenagem do rio Paraopeba, englobando seus afluentes diretos da margem direita e esquerda. A oeste, a AEL compreende as bacias dos córregos Boa Vista e outros sem denominação, também afluentes diretos do rio Paraopeba. Sua delimitação se dá na porção central da sede urbana do município de Brumadinho, na confluência do rio Paraopeba com rio Manso. Na Figura 1-67 encontra-se apresentada a Área de Estudo Local e respectiva rede hidrográfica.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

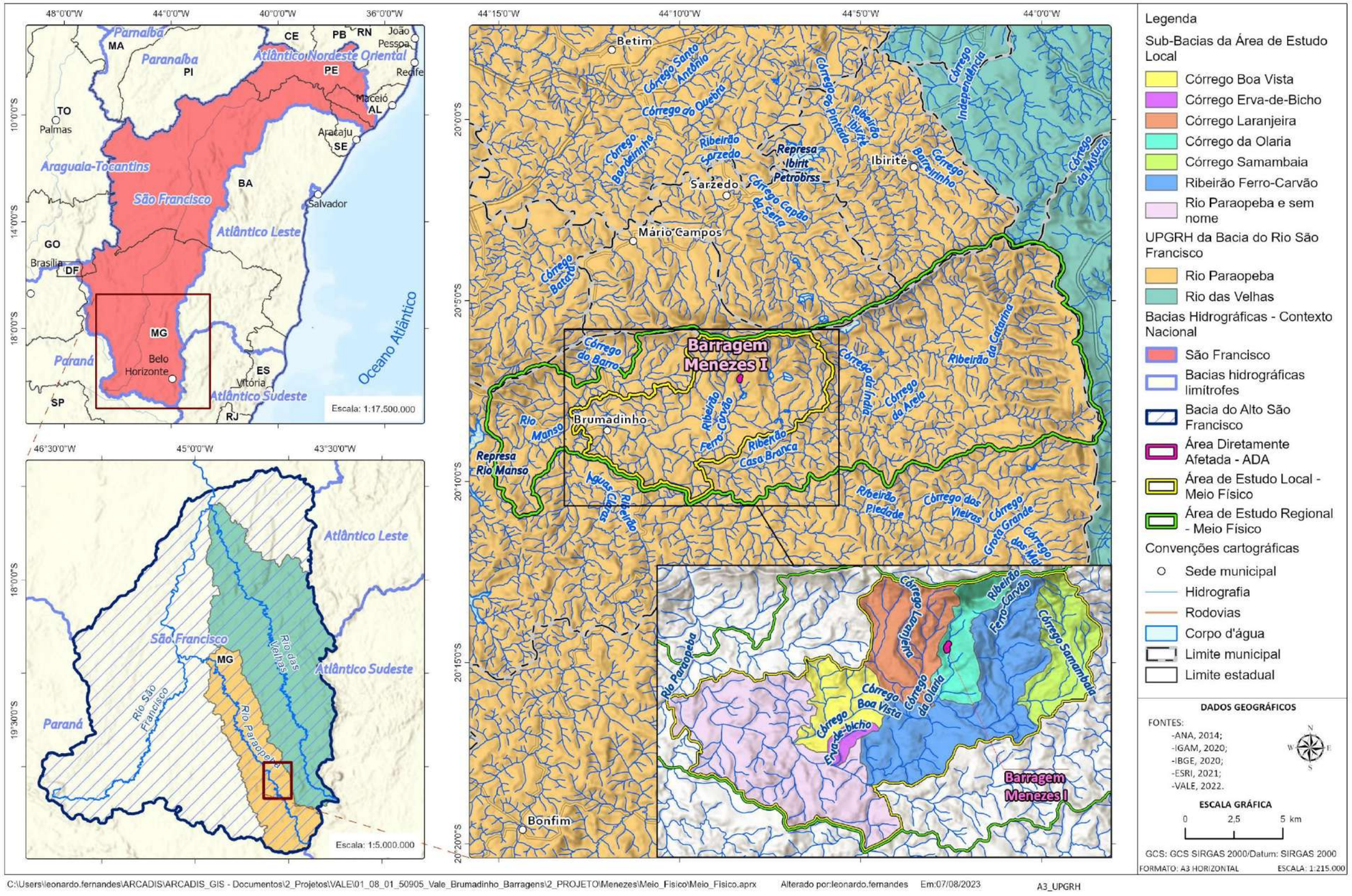


Figura 1-67 - Mapa das Bacias hidrográficas no contexto do projeto

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: ANA (2014), IGAM (2020), IBGE (2020), ESRI (2021), VALE (2022)

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.8.4 Vazões Características nas áreas de estudo

Para a caracterização das vazões ocorrentes nas áreas de estudo regional e local, foram analisados dados de monitoramento fluviométrico disponibilizados pela Vale S.A. para 7 pontos mantidos pelo empreendedor no âmbito do Programa de Gestão Hidrológica proposto no PCA referente ao Licenciamento Ambiental Corretivo das Obras Emergenciais em curso na Mina Córrego do Feijão. Também foram analisados dados de vazão da Estação Fluviométrica Alberto Flores (40740500), localizada no rio Paraopeba. Esta estação é operada pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) e tem seus dados disponibilizados no portal HidroWeb, ferramenta que integra o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Destaca-se que existem outras estações fluviométricas públicas nas áreas de estudo local e regional, mas estas não apresentam dados de vazão e por este motivo não foram consideradas neste item.

O recorte temporal avaliado refere-se aos anos de 2021 e 2022 (meses de janeiro a dezembro), que contemplam meses dos três últimos períodos chuvosos e de estiagem. A Tabela 1-28 apresenta os referidos pontos de monitoramento, localização e demais informações pertinentes.

Tabela 1-28 - Pontos de monitoramento fluviométrico

Código / Nome da estação	Localização	Área de estudo	Coordenadas (UTM 23S - Sirgas 2000)		Área de drenagem aproximada (km²)
			Latitude	Longitude	
HIDRO 2 Estaca Prancha (AUT-EP)	Ribeirão Ferro-Carvão, à montante de barreira hidráulica e cortina metálica	AEL	7771283	587853	32,80
HIDRO 3	Afluente do Ribeirão Casa Branca (sem denominação)	AER	7771840	593511	1,29
HIDRO 4	Córrego Olaria, a jusante da Barragem Menezes II	AEL	7773940	589953	3,49
HIDRO 5 (BCF-RL-38)	Córrego Samambaia	AEL	7773330	592823	4,99
HIDRO 6 - Montante (BCF-RL-02)	Ribeirão Casa Branca	AER	7770529	588549	124
Hidro-07	Saída ETAF 01	AER	7770654	588303	-
Jusante Dique 2	Ribeirão Ferro-Carvão, à jusante do Dique 2	AEL	7773231	590159	15,30
Estação Alberto Flores (40740500)	Rio Paraopeba, à montante da confluência com o ribeirão Casa Branca	AEL	7769850	587715	4120,00

Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Os monitoramentos de responsabilidade da Vale S/A são realizados periodicamente pela empresa CLAM Engenharia e Meio Ambiente. De forma geral, as medições ocorrem por meio de método acústico por Efeito Doppler (flow tracker), micromolinete, molinete hidrométrico ou método volumétrico. No ponto HIDRO 2 (AUT-EP), localizado no reservatório formado pela Cortina Metálica 1 (estaca prancha), foi instalada uma estação telemetrizada com sensor de nível ultrassónico para leitura contínua do nível de água da estrutura. A partir do nível do reservatório e da curva de descarga do vertedouro é determinada a vazão em trânsito quando ocorre vertimento de água pela estrutura. A Figura 1-68 demonstra a localização de todos os pontos avaliados.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

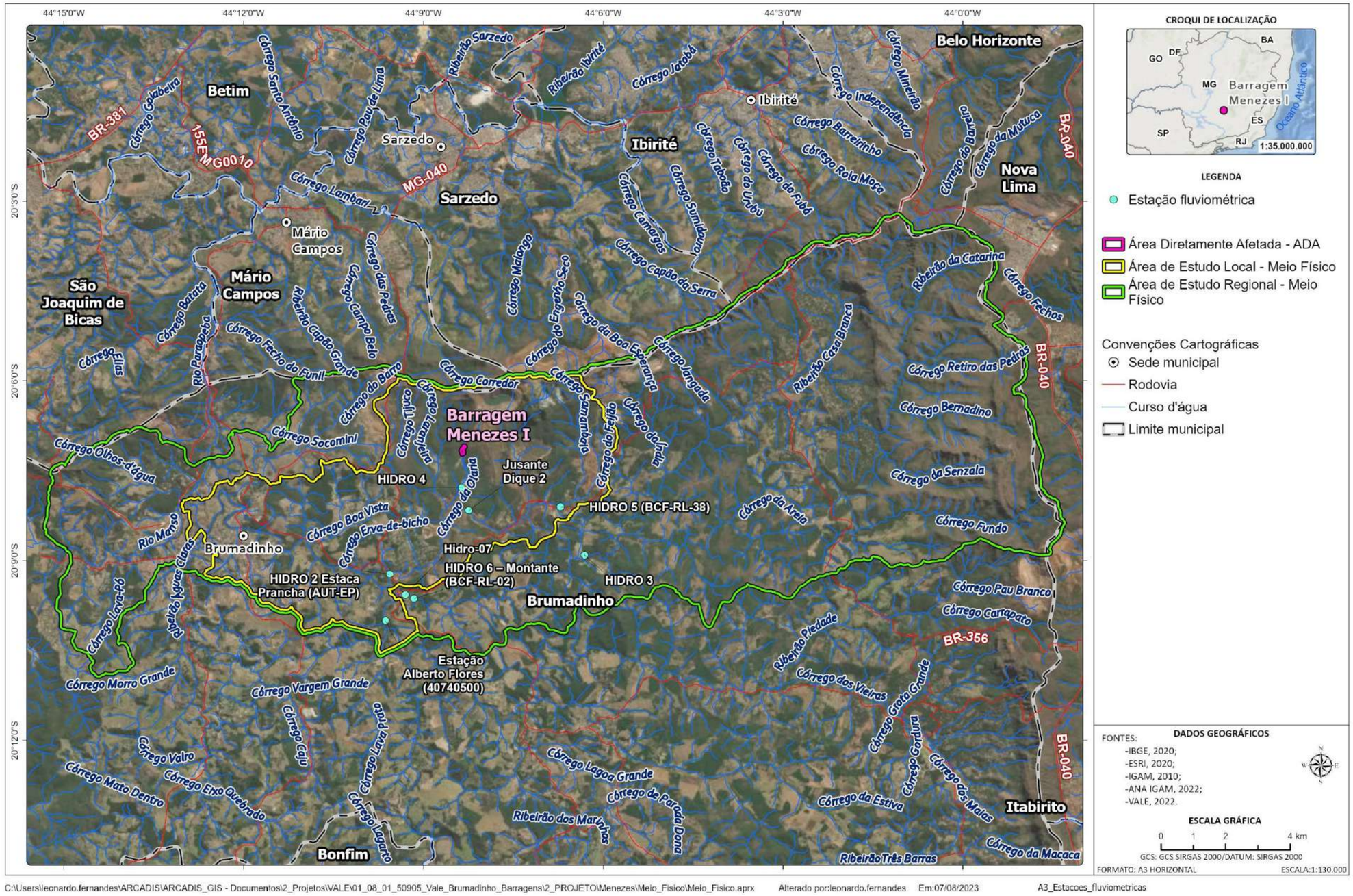


Figura 1-68 - Mapa dos pontos de monitoramento fluviométrico

Elaborado por Arcadis,2023. Fonte: Arcadis, 2022b; Vale, 2022.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.8.5 Resultados

Neste item são avaliados os resultados médios mensais de vazão obtidos em cada ponto de monitoramento.

1.1.8.5.1 HIDRO 2 (AUT-EP)

O ponto HIDRO-02 (AUT-EP) localiza-se no ribeirão Ferro-Carvão, em reservatório formado pela estrutura denominada Cortina Metálica 1 (Estaca Prancha), que condiciona o regime hidrológico local. Ressalta-se que as medições de vazão ocorrem a partir de sonda automática (sonda AUT-EP), que realiza registros quando há vertimento de água pela estrutura. Neste contexto, em 2021 a média máxima ocorreu no mês de fevereiro, com 0,733m³/s. Entre os meses de abril a setembro foram observados valores nulos, pois não houve vertimento de água pela cortina metálica. Para 2022, ao se analisar o início do período chuvoso verifica-se um forte reflexo das precipitações ocorridas na região durante o mês de janeiro, que apresentou um total acumulado de 663,2mm. Seguindo o regime pluviométrico local, as vazões, como esperado, apresentaram redução a partir de abril, com o início do período de seca. Assim, em 2022 o valor máximo foi de 3,56m³/s em janeiro, enquanto a mínima foi de 0,079m³/s, em agosto (Figura 1-69).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

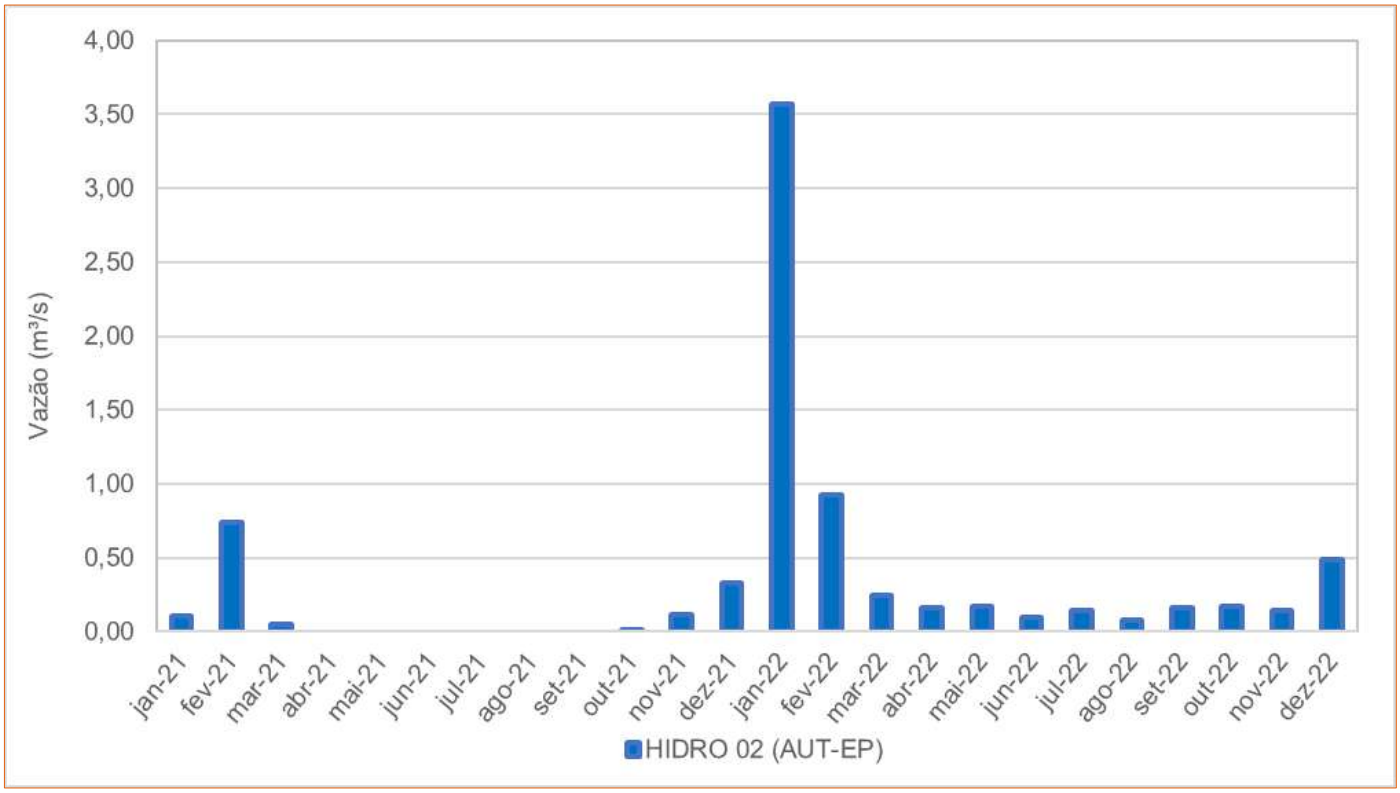


Figura 1-69 - Vazões mensais observada no ponto Hidro 02 (AUT-EP.)

Elaborado por Arcadis, 2023.

1.1.8.5.2 HIDRO 3

O ponto Hidro-03 localiza-se no ribeirão Casa Branca. Observa-se a partir da Figura 1-70 que de forma geral o comportamento das vazões é condizente com o regime pluviométrico local, com maiores valores nos meses referentes ao período chuvoso (outubro a março) e valores decrescentes nos meses relativos ao período seco (abril a setembro). Em 2021, a máxima observada foi de 0,033m³/s em fevereiro, enquanto a mínima foi de 0,003m³/s em agosto. Em 2022, a máxima foi de 0,035m³/s em janeiro, enquanto a mínima ocorreu também em agosto, com 0,0025m³/s. Cabe ressaltar que no ano de 2022 as vazões apresentaram comportamento mais uniforme e condizente ao regime pluviométrico, enquanto em 2021 ocorreram resultados atípicos, a exemplo dos valores de vazão obtidos em maio (mês de período seco), que excedem aqueles identificados em janeiro do mesmo ano.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

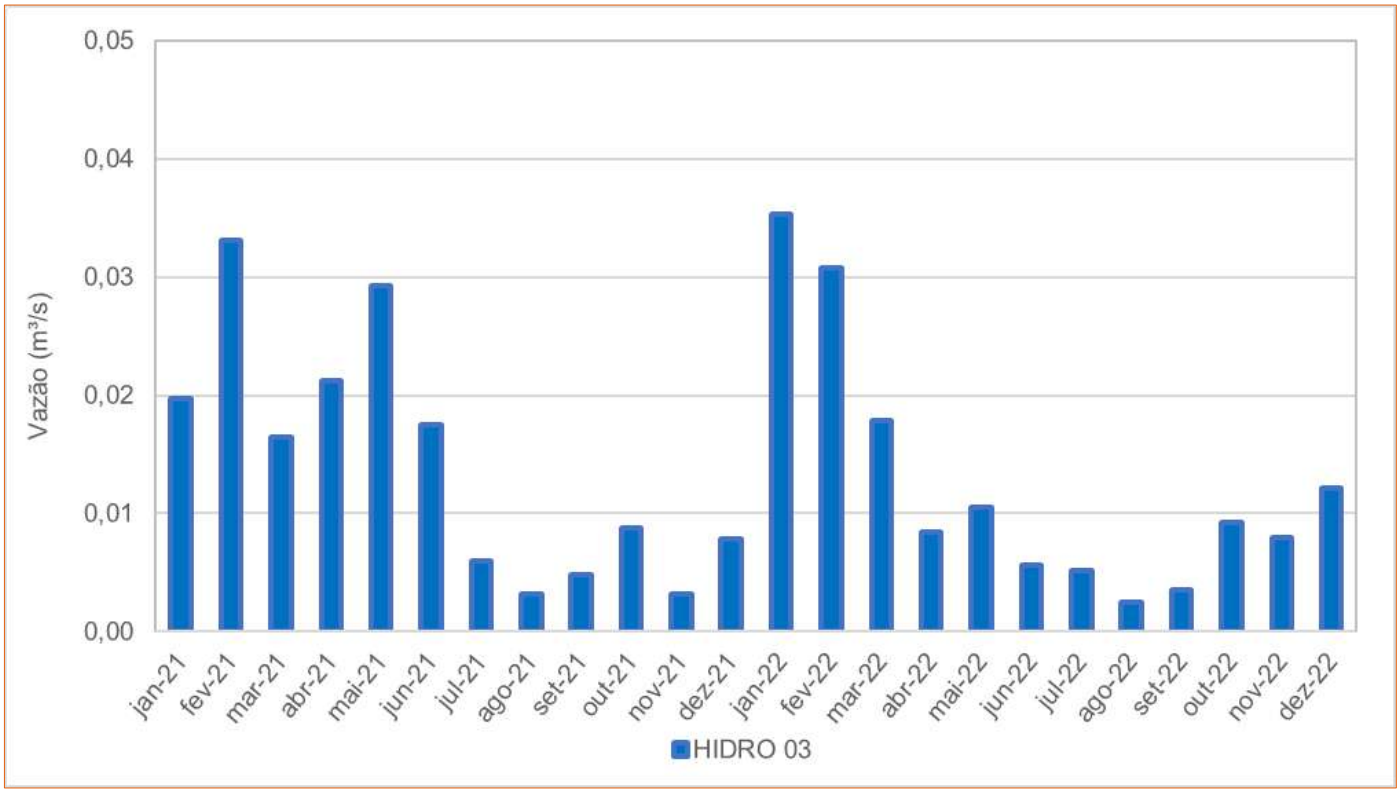


Figura 1-70 - Vazões mensais observada no ponto Hidro-03.

Elaborado por Arcadis, 2023.

1.1.8.5.3 HIDRO 4

O ponto Hidro-04 localiza-se a jusante da barragem Menezes II, que recebe o fluxo do córrego Olaria, onde encontra-se instalada a barragem Menezes I a ser descaracterizada e objeto de análise pelo presente EIA. Observa-se que o comportamento das vazões condiz com os padrões pluviométricos, com valores maiores nos meses de período chuvoso e decréscimo nos meses de período seco. Destaca-se, entretanto, que o regime hidrológico observado neste ponto pode ser influenciado pela operação dos dois barramentos existentes a montante. Em 2021 a vazão média máxima observada foi no mês de novembro, com 0,061m³/s, enquanto a mínima foi de 0,024m³/s, no mês de maio. Em 2022 observou-se uma máxima de 0,090m³/s em fevereiro, e 0,015m³/s em agosto (Figura 1-71). Conforme relatórios referentes ao monitoramento, durante os meses de julho e agosto de 2021 o ponto não foi monitorado devido a alterações nas normas de segurança para acesso à área e necessidade de readequação das equipes responsáveis.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

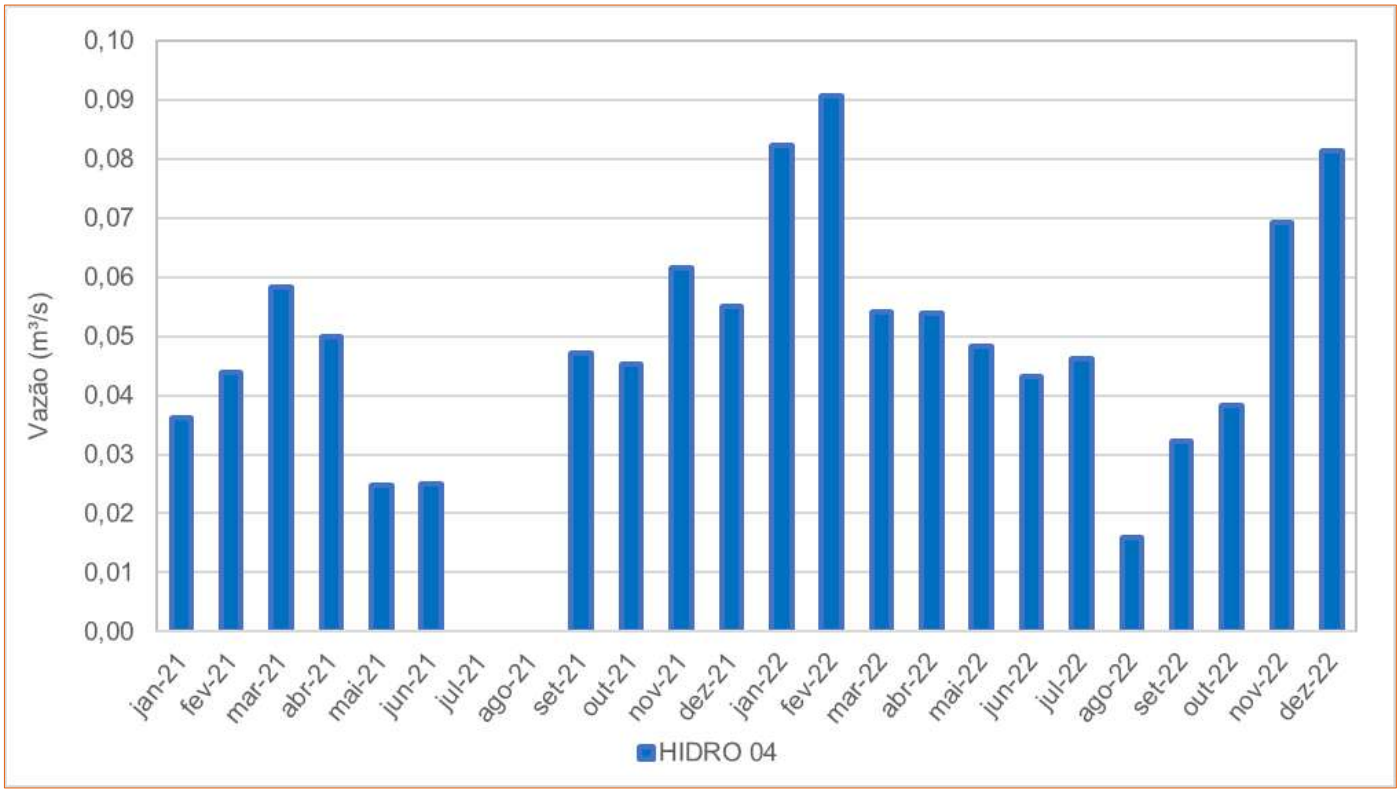


Figura 1-71 - Vazões mensais observada no ponto Hidro-04.

Elaborado por Arcadis, 2023.

1.1.8.5.4 HIDRO 5 (BCF-RL-38)

O ponto HIDRO-05 (BCF-RL-38) situa-se no córrego Samambaia. A partir dos dados analisados, observa-se que o comportamento das vazões segue o padrão sazonal da região, influenciado pelos períodos de estiagem e chuvoso. Nos meses de julho e agosto e outubro a dezembro de 2022 não foram realizadas medições, justificadas por interrupções do acesso à área do ponto e condições inseguras. O valor máximo observado em 2021 foi de 0,155m³/s no mês de fevereiro, com mínima de 0,027m³/s em setembro. Em 2022 a média máxima para os meses avaliados é observada em janeiro, com 0,199m³/s, enquanto a média mínima ocorre em setembro, com 0,02m³/s.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

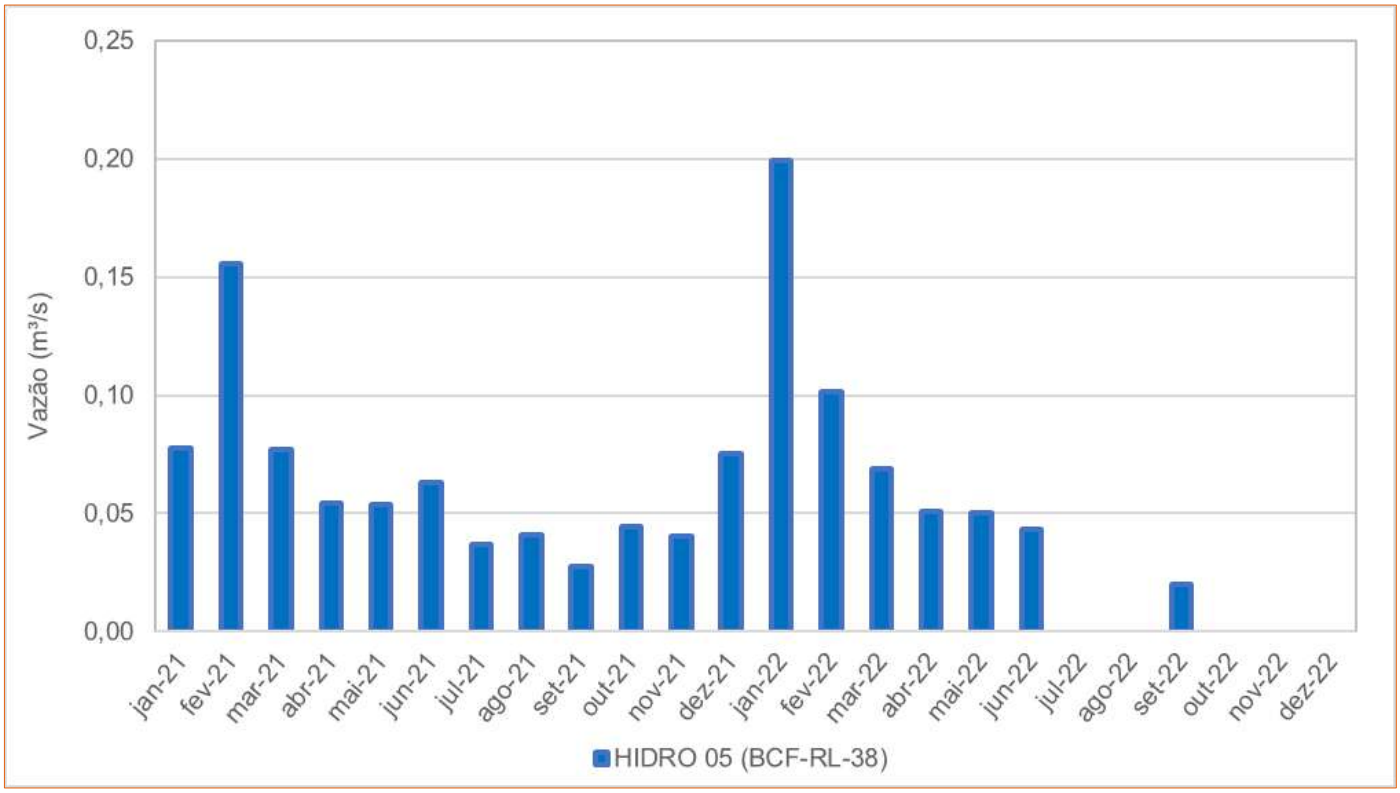


Figura 1-72 - Vazões mensais observada no ponto HIDRO-05 (BCF-RL-38).

Elaborado por Arcadis, 2023.

1.1.8.5.5 HIDRO 6 (BCF-RL-02)

O ponto HIDRO-06 (BCF-RL-02) localiza-se a jusante do ponto Hidro 03, no ribeirão Casa Branca, em seu baixo curso, encontrando-se a montante de sua confluência com o rio Paraopeba e a montante do lançamento da Estação de Tratamento de Águas Fluviais ETAF-1, cujo objetivo é tratar as águas oriundas da bacia do ribeirão Ferro-Carvão que estão sob influência do rejeito oriundo do rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA, restituindo-as ao ribeirão Casa Branca. Para o ano de 2021 observa-se que a vazão mínima ocorreu em outubro, com 0,42m³/s, e a máxima ocorreu em dezembro, com 2,48m³/s. A partir de dezembro de 2021 observa-se um aumento geral das vazões, com a máxima de 3,64m³/s em fevereiro de 2022 e a mínima de 1,12m³/s em junho (Figura 1.1.7). Nota-se que em 2021 ocorreram resultados atípicos quanto ao regime pluviométrico sazonal, a exemplo das baixas vazões observadas em outubro, quando se inicia o período chuvoso. No ano de 2022 o comportamento das vazões apresenta menos alterações e é mais condizente com o padrão esperado conforme a sazonalidade. Foram observadas lacunas de dados em alguns meses avaliados, justificadas por impossibilidades técnicas para execução do monitoramento (condições de acesso, segurança, entre outros).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

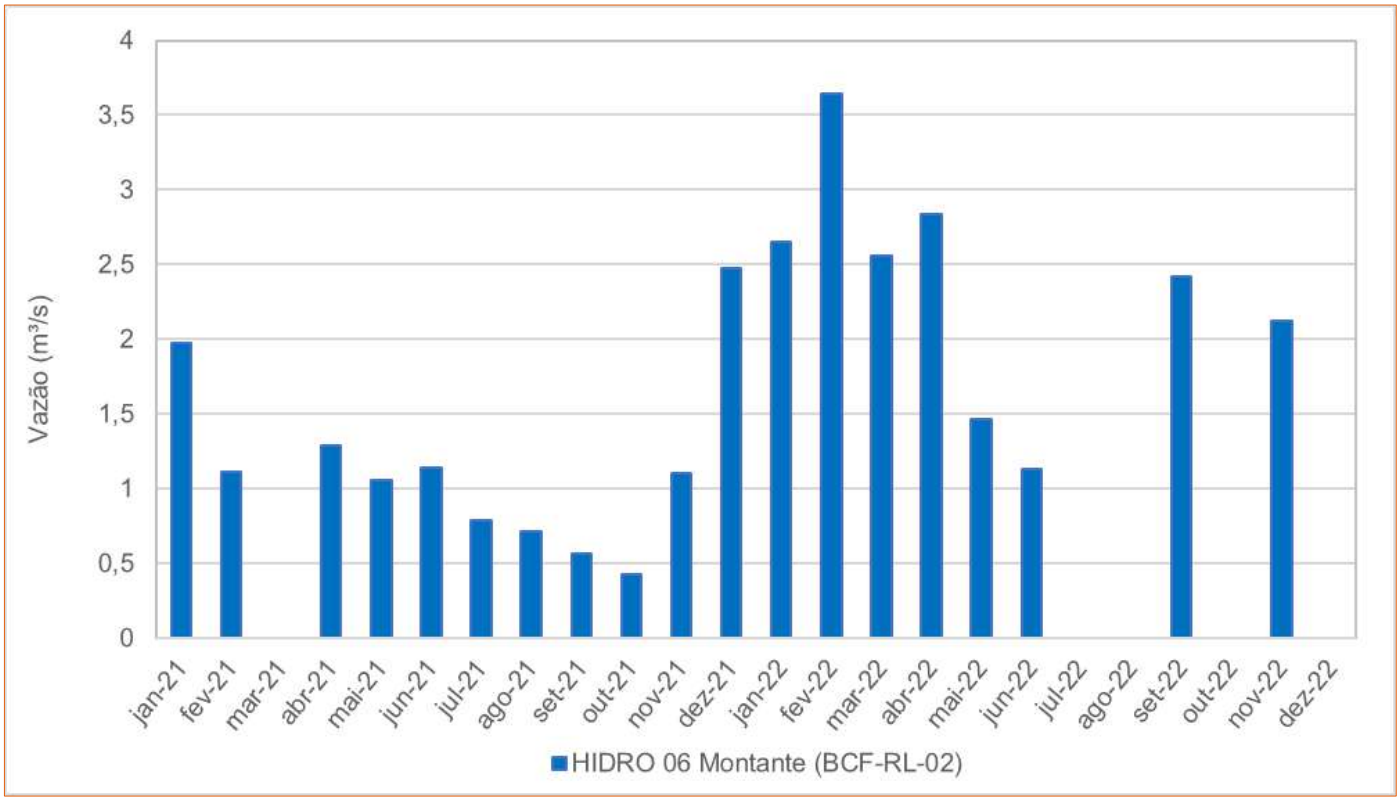


Figura 1-73 - Vazões mensais médias observada no ponto Hidro 6 (Montante).

Elaborado por Arcadis, 2023.

1.1.8.5.6 HIDRO 7 (Saída)

No ponto HIDRO-7 são monitoradas as vazões de saída da ETAF-01, cuja capacidade nominal é de 2000m³/h. Para o ano de 2021, a vazão média mais alta foi em fevereiro, com 0,617 m³/s. A vazão média mínima ocorreu em maio, com 0,112 m³/s. Em 2022, o máximo foi de 0,511m³/s em maio, e o mínimo de 0,268m³/s em agosto (Figura 1-74). Apesar das vazões serem controladas neste ponto, observa-se que, de forma geral, estas variam de acordo com o regime pluviométrico natural da bacia, considerando-se que durante os períodos chuvosos os volumes observados aproximam-se do valor nominal de operação, enquanto nos períodos secos as oscilações nos valores são mais proeminentes. Ressalta-se que reduções nas vazões de saída também podem estar relacionadas a diminuições na capacidade de operação para realização de manutenções na estrutura (ARCADIS, 2023).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

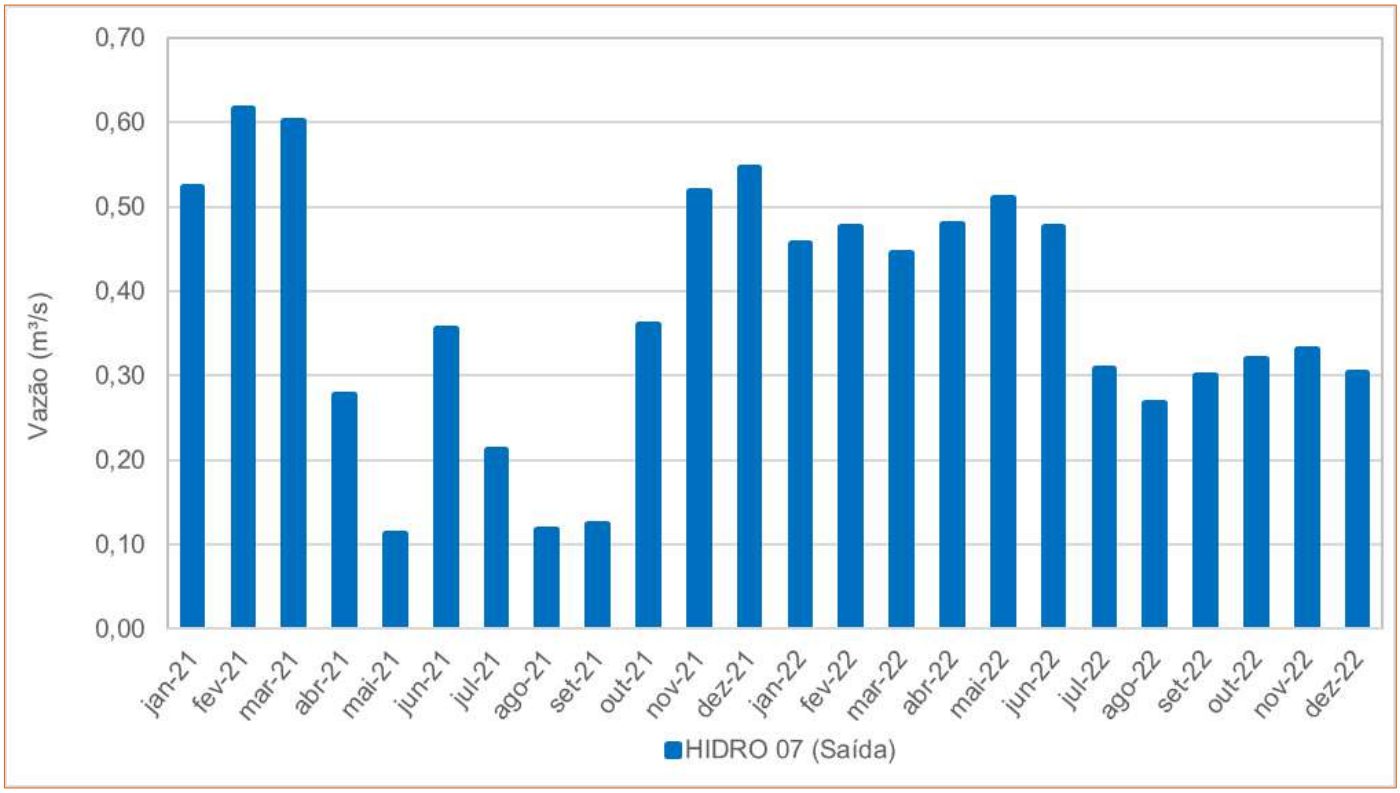


Figura 1-74 - Vazões mensais observada no ponto Hidro-07 (saída).

Elaborado por Arcadis, 2023.

1.1.8.5.7 Jusante BH-01

O ponto Jusante BH-01 localiza-se no ribeirão Ferro-Carvão, a jusante da barreira hidráulica BH-01, construída como uma contenção temporária com a finalidade de reter os sedimentos oriundos do rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA, restringindo seu carreamento para o rio Paraopeba. Assim, os fluxos hídricos no referido ponto são diretamente influenciados pela operação da estrutura, sendo observados resultados diversos daqueles correspondentes à resposta natural de uma bacia hidrográfica ao regime pluviométrico. Observa-se, ainda, que há lacunas de dados em alguns meses do período avaliado, justificadas por impossibilidades técnicas de realização das medições (interrupções de acesso, elevado nível d'água no canal, ocorrência de condições inseguras, etc). Os dados disponíveis para 2021 demonstram média máxima de 0,63m³/s, em fevereiro, com mínima de 0,12m³/s em maio. Em 2022 a máxima foi de 0,48m³/s em maio e a mínima de 0,15m³/s em setembro (Figura 1-75).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

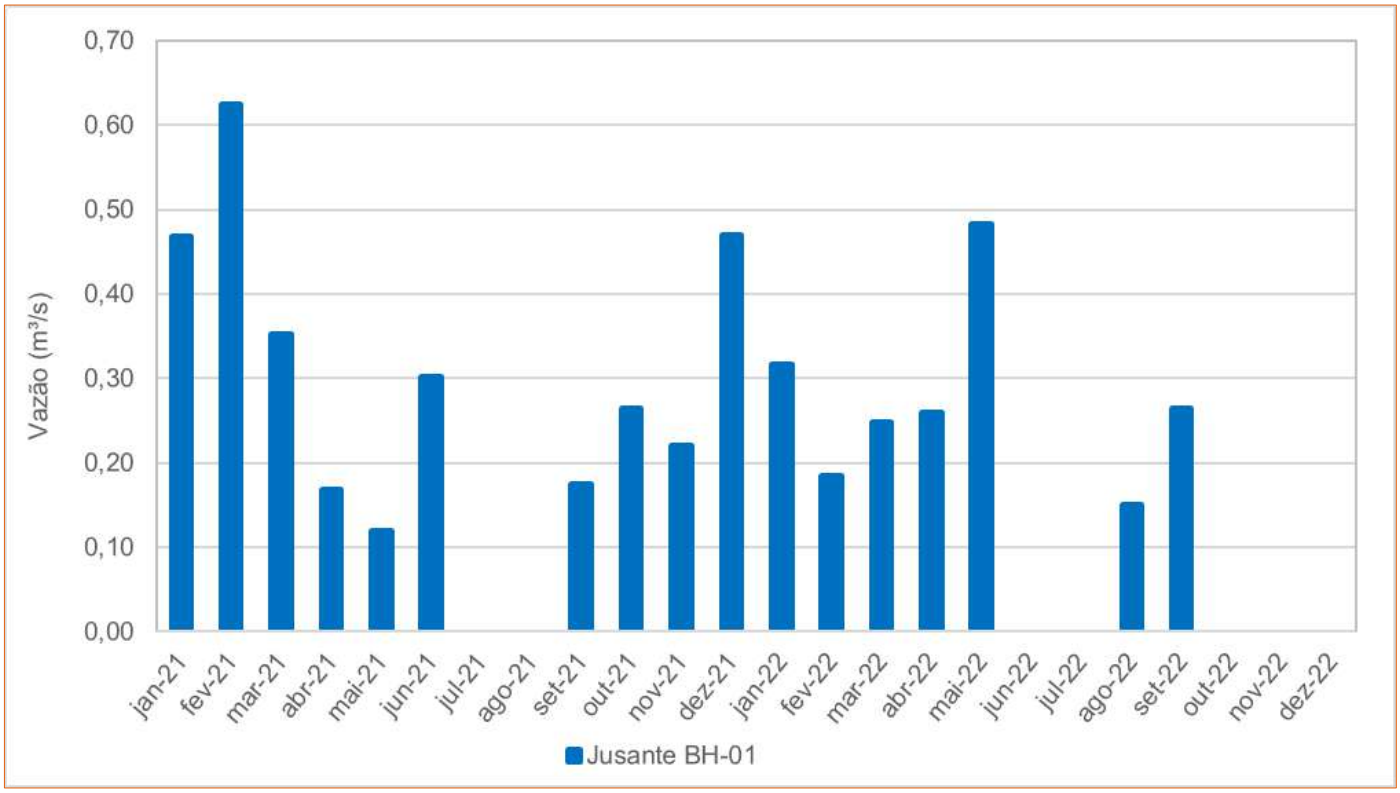


Figura 1-75 - Vazões mensais observada no ponto Jusante BH-01.

Elaborado por Arcadis, 2023.

1.1.8.5.8 Jusante Dique 2

O ponto Jusante Dique 2 localiza-se no ribeirão Ferro-Carvão a jusante da estrutura homônima, instalada como uma contenção temporária com a finalidade de reter os sedimentos oriundos do rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA. Assim, os fluxos hídricos no referido ponto são diretamente influenciados pela operação da estrutura, não correspondendo necessariamente ao regime hidrológico natural da bacia. Em 2021 as vazões variaram entre a máxima de 0,52m³/s (fevereiro) e a mínima de 0,10m³/s (abril). Há uma lacuna de dados entre junho e agosto/2021 e a partir de setembro/2021 nota-se um aumento das vazões, com pico em janeiro de 2022, quando atinge 0,53m³/s, e decréscimo a partir de março/2022. Observa-se valores nulos de vazão para outubro, e baixos valores para novembro e dezembro de 2022. Em outubro não foram realizadas medições, justificadas por intercorrências operacionais como interdição de acesso e condições inseguras. Em novembro e dezembro também são observadas lacunas nos dados, justificadas por condições inseguras para realização de medições e, em alguns casos, inexistência de fluxo d'água no canal. De forma geral, estas intercorrências decorrem de obras realizadas na estrutura do dique 02 e entorno, e se refletem nos resultados atípicos dos valores para estes meses, observados na Figura 1-76.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

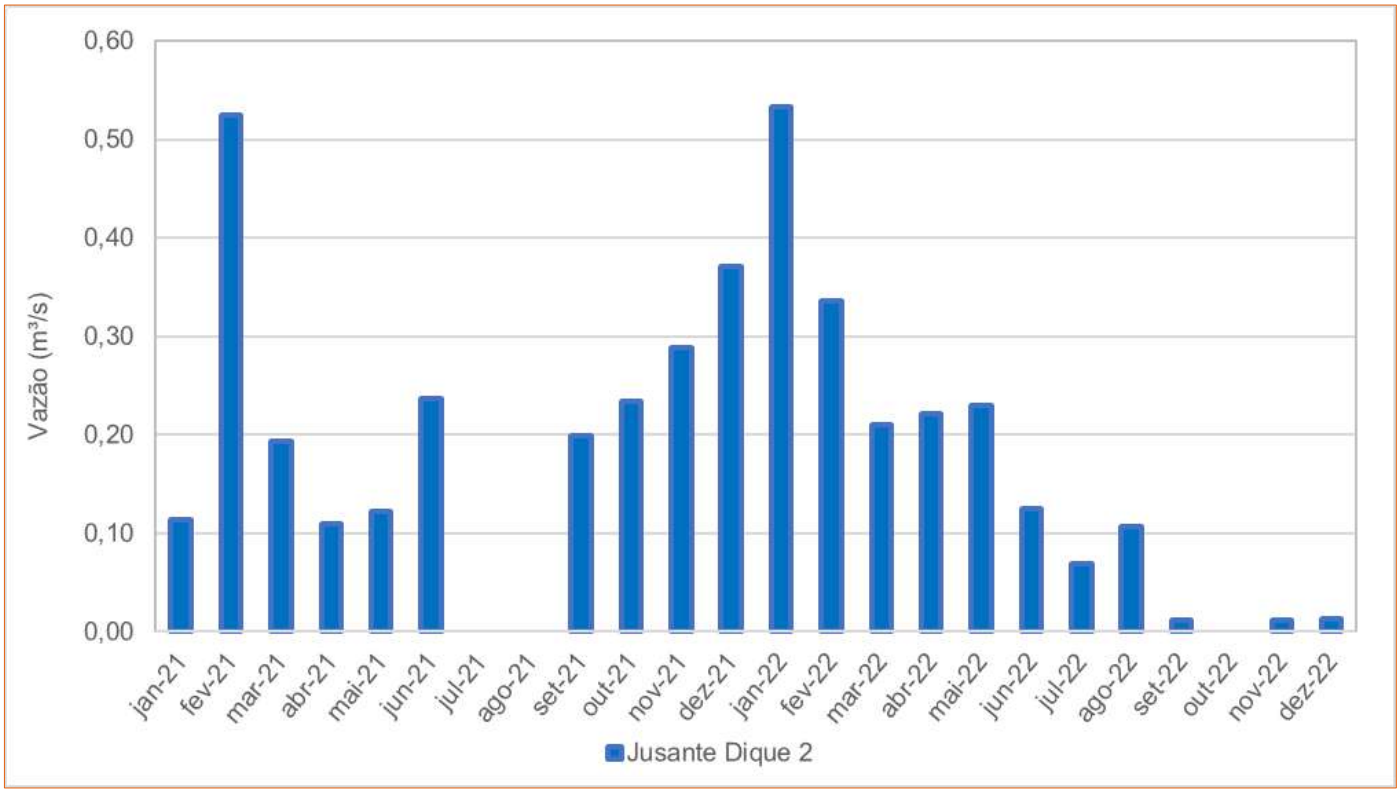


Figura 1-76 - Vazões mensais observada no ponto Jusante Dique 2.

Elaborado por Arcadis, 2023.

1.1.8.5.9 Estação Fluviométrica Alberto Flores

A estação fluviométrica Alberto Flores (40740000) localiza-se no rio Paraopeba, à montante da confluência com ribeirão Casa Branca. Para o recorte temporal em análise, foram avaliados dados de monitoramento de vazão para os meses de agosto de 2021 a dezembro de 2022. Os valores médios para cada mês, apresentados a seguir, indicam que o comportamento das vazões é condizente com os índices pluviométricos, observando-se diminuição no período seco e aumento no período chuvoso. Ressalta-se que não há dados disponíveis para o período de janeiro a julho de 2021 e que para os meses monitorados neste ano foram observadas lacunas nas medições, com agosto tendo ausência de dados em 22 dias, setembro 11 dias, outubro 15 dias, novembro 22 dias e dezembro 10 dias.

Para o segundo semestre do ano de 2021, a vazão média máxima ocorreu em dezembro, com 84,30m³/s. Para 2022, o valor médio máximo foi em fevereiro, com 213,82m³/s. Os valores médios mínimos ocorreram no mês de setembro para os dois anos, sendo 12,14m³/s em 2021 e 22,70m³/s em 2022. As vazões elevadas em 2022 podem ser explicadas pelos altos valores pluviométricos ocorridos neste período chuvoso, especialmente nos meses de janeiro/2022 (663,2mm) e fevereiro/2022 (279,2mm), conforme dados de monitoramento da Estação Pluviométrica Alberto Flores.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Figura 1-77 - Vazões mensais observada na estação fluviométrica Alberto Flores.

Elaborado por Arcadis, 2023.

1.1.8.5.10 Considerações gerais

A Figura 1-78 apresenta conjuntamente as médias mensais das vazões monitoradas em cada ponto avaliado. Cabe ressaltar que parte significativa dos pontos de monitoramento se localiza em áreas que sofrem influência da operação de estruturas que modificam os fluxos hídricos naturais, a exemplo da barragem Menezes II, barreiras hidráulicas BH01 e Dique 02, a ETAF 1 e a Cortina Metálica 1 (Estaca Prancha). Este aspecto é observado nos pontos Hidro 02, Hidro 04, Jusante BH01, Jusante Dique 2 e Hidro 07, que apresentam maiores variações do comportamento esperado para as vazões frente aos valores sazonais de pluviometria. Apesar disso, os dados analisados demonstram que mesmo nestes pontos o comportamento das vazões é influenciado pelos regimes pluviométricos, apresentando, salvo algumas exceções já demonstradas, valores mais baixos nos períodos de estiagem (abril a setembro) e mais elevados nos meses de período chuvoso (outubro a março). Os pontos Hidro 03, Hidro 05, Hidro 06 e Estação Alberto Flores, por sua vez, se localizam em áreas em que não há estruturas que exerçam controle sobre os fluxos hídricos, apresentando resultados que melhor refletem a dinâmica hídrica natural das bacias hidrográficas.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

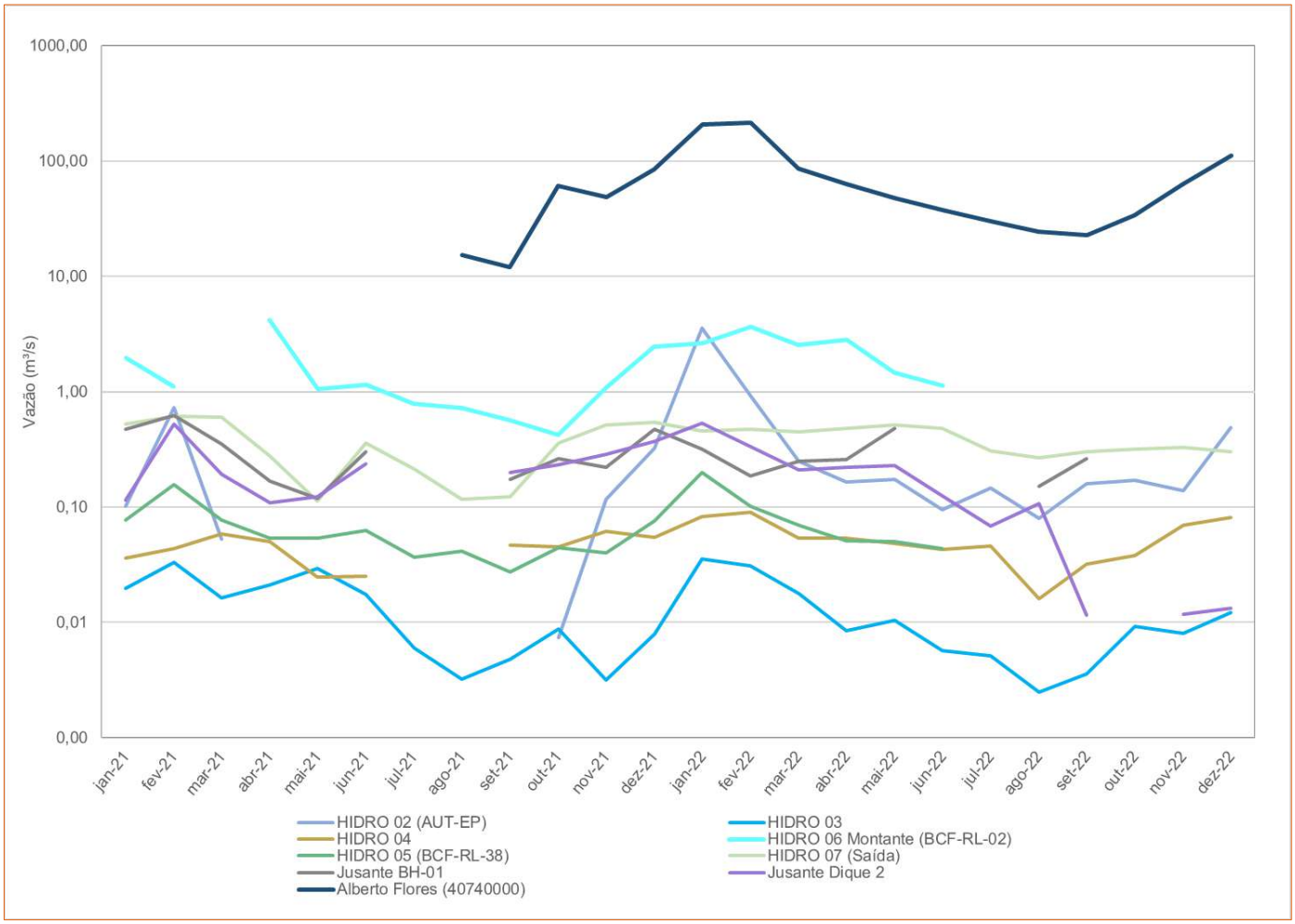


Figura 1-78 - Vazões mensais observadas nos pontos monitorados

Elaborado por Arcadis, 2023.

1.1.8.6 Caracterização do Uso das Águas Superficiais

A demanda hídrica de uma bacia hidrográfica refere-se às vazões necessárias para o atendimento aos usos múltiplos da água, envolvendo usos consuntivos e não consuntivos. Nesse sentido, cabe ressaltar que os usos consuntivos são aqueles que retiram do corpo hídrico uma vazão levando ao consumo de parte ou do montante total dessas águas, a exemplo dos usos para irrigação, indústria, abastecimento humano, dessedentação animal, dentre outros. Os usos não consuntivos, por sua vez, independem do consumo do recurso captado, podendo ser citados os usos para lazer, turismo, navegação e pesca.

As atividades econômicas predominantes nas áreas de estudo local e regional estão associadas à mineração, agropecuária e setor de serviços, o que se reflete nos principais usos da água identificados (COBRAPE, 2018). Para caracterizar a demanda hídrica superficial existente atualmente, foram levantadas as outorgas e cadastros de usos insignificantes das áreas de estudo regional e local a partir de dados do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM-MG) disponibilizados no IDE-Sisema e dados de cadastro de usuários realizado pela Vale.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Na Figura 1-79 são apresentadas as outorgas e cadastros de usos insignificantes deferidos pelo órgão ambiental até abril de 2023, bem como usos da água cadastrados nas bases de dados da Vale S.A. Segundo levantamento realizado, a área de estudos regional possui 41 autorizações de uso dos recursos hídricos superficiais, sendo 3 outorgas e 38 cadastros de uso insignificante. Na área local, foram identificados 55 usuários de recursos hídricos, sendo 4 outorgas, 42 cadastros de uso insignificante, além de nove cadastros de usuários do banco de dados Vale. Destaca-se que do total de demandas de usos consuntivos, mais de 70% tratam de usos considerados insignificantes.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

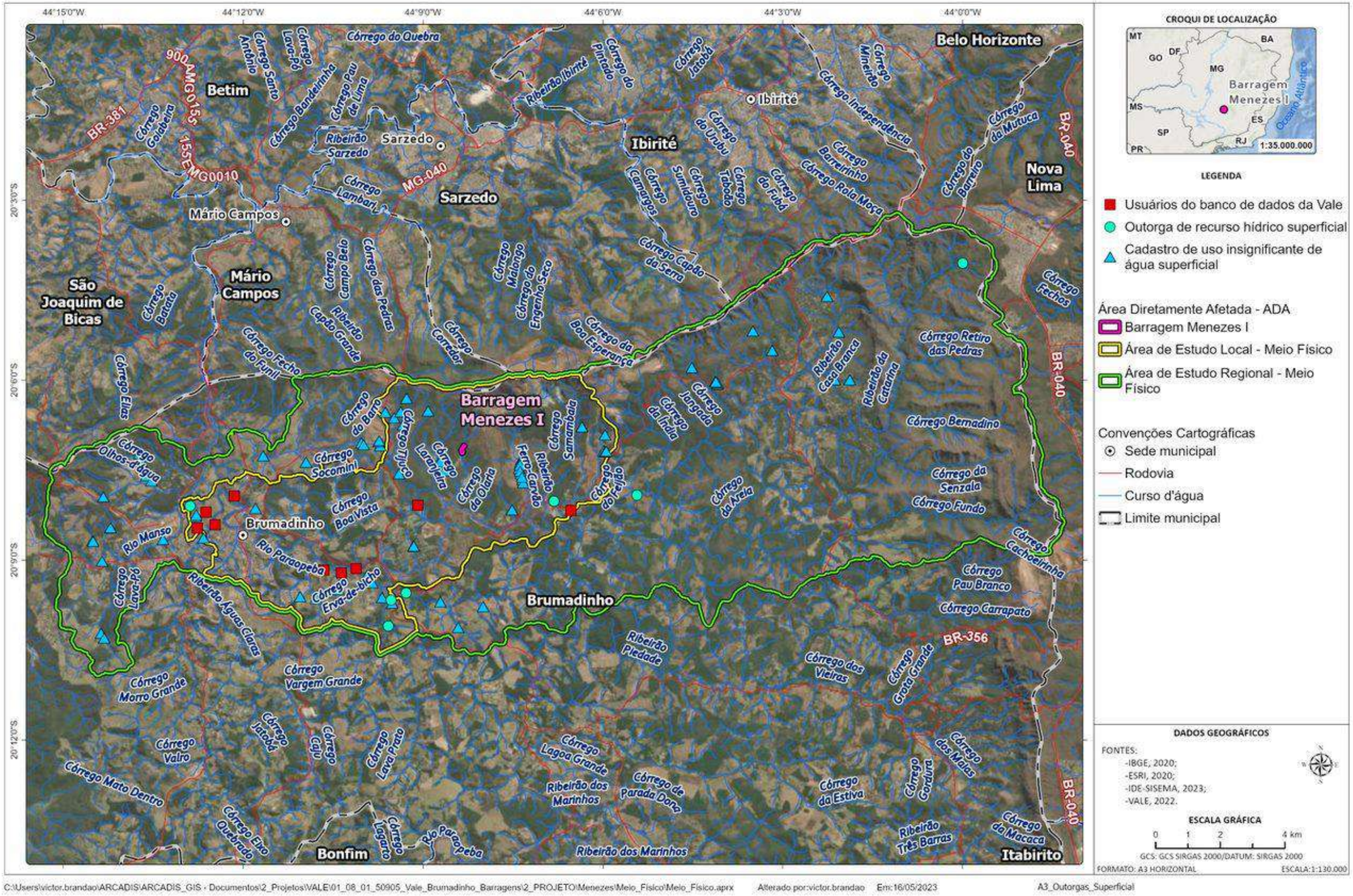


Figura 1-79 - Mapa de localização com outorgas e uso insignificantes na área de estudo.

Elaborado por Arcadis,2023. Fonte: Ide-Sisema, 2023; Vale S/A, 2020.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Quanto às finalidades de uso da água, foram identificadas 10 tipologias nas áreas regional e local, sendo elas: Abastecimento público, Aquicultura, Aspersão de Vias, Consumo humano, Consumo industrial, Consumo agroindustrial Dessedentação Animal, Irrigação, Lavagem de veículos e Recirculação de água. A Figura 1-80 demonstra a distribuição de número de registros por finalidade, cabendo destacar que uma porção significativa (49%) não apresentava essa informação.

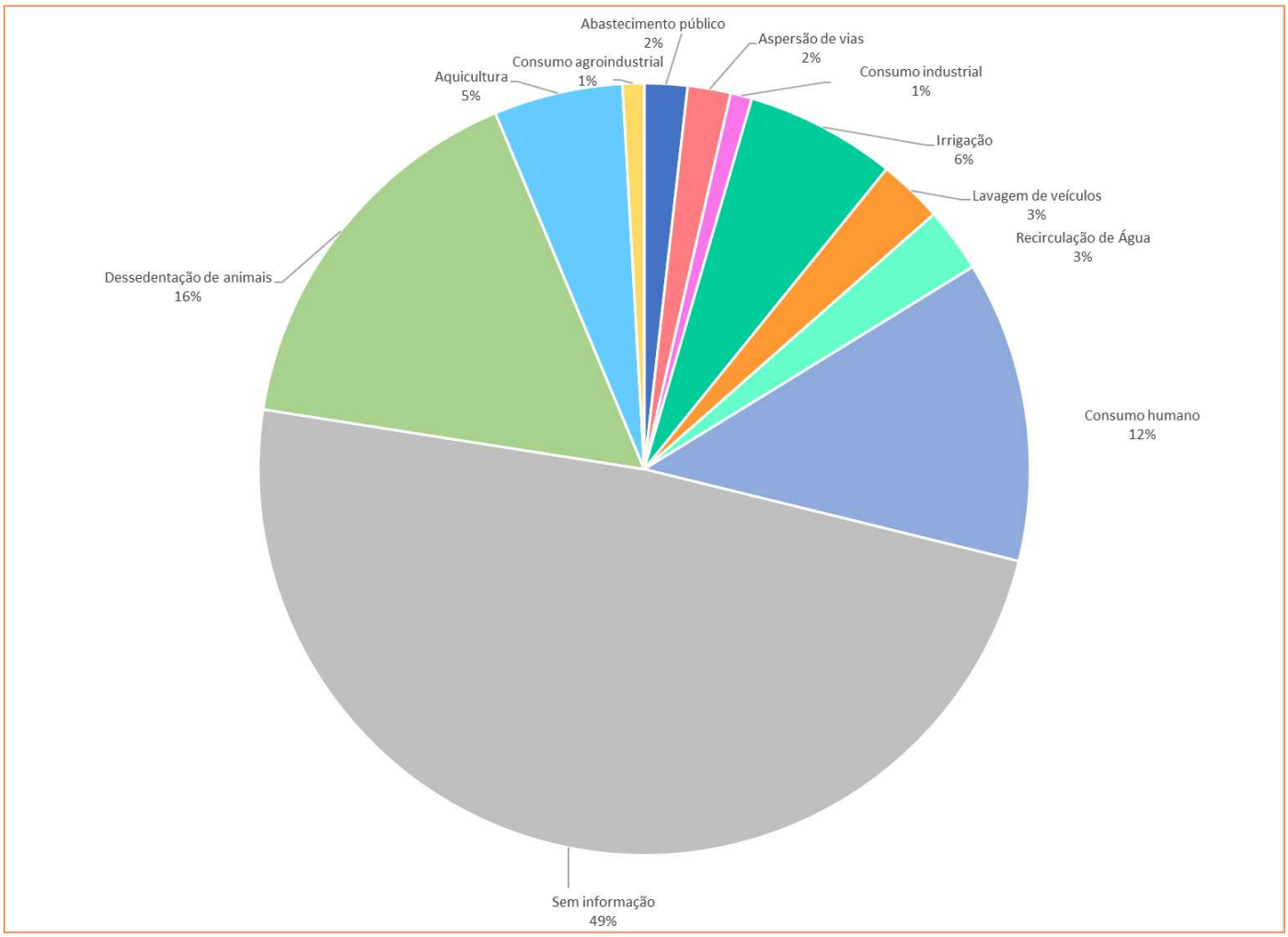


Figura 1-80 - Finalidades de usos de água superficial na área de estudo.

Elaborado por Arcadis,2023. Fonte: Ide-Sisema, 2023; Vale S/A, 2020.

Avaliando as finalidades é possível observar que dessedentação animal, consumo humano, aquicultura e irrigação são as que possuem maior número de registros na área de estudo. As atividades que demandam maior vazão, porém, são abastecimento público, consumo industrial e consumo humano, conforme demonstrado na Tabela 1-29. Neste contexto também se destacam as vazões captadas que não apresentam informações sobre finalidade no banco de dados, que totalizaram o maior volume captado. Ressalta-se que foram consideradas no cômputo dos valores de vazão apenas as finalidades enquadradas como “1” no banco de dados, compreendidas como as principais das captações registradas.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Tabela 1-29 - Vazões obtidas conforme registros de outorgas e usos insignificantes do IDE-Sisema

Finalidade do Uso	Vazão m³/h
Sem informação	17634,10
Abastecimento público	734,40
Consumo industrial	61,20
Consumo humano	21,06
Dessedentação de animais	12,60
Irrigação	9,07
Recirculação de Água	7,20
Consumo agroindustrial	3,60
Lavagem de veículos	3,60
Aquicultura	0,00
Aspersão de vias	0,00

Elaborado por Arcadis,2023. Fonte: Ide-Sisema, 2023; Vale S/A, 2020.

1.1.8.7 Síntese Conclusiva

A Área Diretamente Afetada localiza-se na bacia hidrográfica do córrego Olaria, afluente do ribeirão Ferro-Carvão. Este, por sua vez, é contribuinte direto do rio Paraopeba, que integra a bacia hidrográfica do rio São Francisco e está incluído na Unidade de Gestão Estratégia (UEG) 1 - Afluentes do Alto São Francisco.

A Área de Estudo Local (AEL) abrange os limites das bacias hidrográficas próximas e conectadas à área de intervenção englobando, neste contexto, a bacia do ribeirão Ferro-Carvão e trecho do rio Paraopeba e afluentes diretos até a porção central da sede urbana do município de Brumadinho, na confluência do rio Paraopeba com rio Manso. Quanto à Área de Estudos Regional, esta contempla a delimitação da AEL, sendo acrescida a leste pelo alto curso da bacia do ribeirão Casa Branca. A oeste a AER abrange as sub-bacias dos córregos Erva de Bicho, Boa Vista e outros sem denominação, que contribuem diretamente com o rio Paraopeba, englobando o trecho deste rio até a confluência com o rio Manso. Inclui, ainda, todo o segmento do rio Manso existente a jusante do reservatório de mesma denominação, bem como afluentes diretos localizados nessa porção.

De forma geral, toda a rede de drenagem das áreas de estudo regional e local possui padrão dendrítico. No que se refere aos dados de fluviometria, estes demonstram que o comportamento das vazões nos pontos de monitoramento analisados reflete os regimes pluviométricos sazonais, com valores mais baixos no período de estiagem (abril a setembro) e crescimento no período chuvoso (outubro a março). Cabe ressaltar que parte significativa dos pontos apresenta regime hidrológico influenciado por estruturas hidráulicas (diques, barramentos, etc) incluindo o córrego Olaria, onde encontra-se instalada a barragem Menezes I, a ser descaracterizada.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Por fim, quanto aos usos da água nas áreas de estudo, observa-se que a maior parte dos registros se referem a Usos Insignificantes. Quanto às finalidades, considerando o número de registros predominam as tipologias de dessedentação animal, consumo humano, aquicultura e irrigação. No que se refere às vazões, entretanto, as finalidades com maiores volumes captados são abastecimento público, consumo industrial e consumo humano. Destaca-se que parte significativa dos registros não apresentavam descrição da finalidade no banco de dados, tendo esse campo denominado como “Sem Informação”, que totalizou o maior volume de vazão captado.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.9 Qualidade das Águas Superficiais, Efluentes e Sedimentos

1.1.9.1 Metodologia

Neste item será apresentada uma avaliação da qualidade dos recursos hídricos superficiais, sedimentos e efluentes nas áreas de estudo do Projeto de Descaracterização da Barragem Menezes I, em que serão mostrados os pontos de monitoramento da bacia de drenagem da área do projeto, além dos resultados da série histórica, que, de maneira geral, contemplou o período de 2021 e 2022, com certa variabilidade da frequência de monitoramento em função dos parâmetros analisados.

O diagnóstico foi elaborado com base nos resultados obtidos no monitoramento executado pela Vale no contexto dos programas previstos no Plano de Controle Ambiental - PCA do processo de Licenciamento Corretivo das obras emergenciais em decorrência do rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA. As metodologias serão detalhadas separadamente conforme as matrizes estudadas. Os pontos contam com análises de uma gama de variáveis físicas e químicas, referentes à uma malha de pontos de amostragem operados pela Vale S.A. e distribuídos nos cursos de águas superficiais da bacia do rio Paraopeba.

Os pontos de monitoramento da qualidade da água superficial alocados ao longo do ribeirão Ferro-Carvão são o PT-11, PASU-DIQUE2, PASU-BH1 e PT-12. Outro ponto também situado na bacia do ribeirão Ferro-Carvão, porém fora do leito do curso d´água, é o PASU-CF3, que se refere à água da Cava da Mina Córrego do Feijão. Com o objetivo de acompanhar o impacto do avanço das obras emergenciais na melhoria da qualidade da água superficial no ribeirão Ferro-Carvão, é monitorado o ponto PT-10, situado na confluência do córrego Samambaia e Feijão, aproximadamente, 3 km a montante do ribeirão Ferro-Carvão, considerando que seu trecho de montante não foi atingido pelos rejeitos da ruptura Barragem I. Os pontos de monitoramento alocados no rio Paraopeba, no âmbito do PCA das Obras Emergenciais, são o PASU-DR0 e PT-01, localizados respectivamente a montante e jusante da ETAF2. Para melhor discussão dos resultados, também foi selecionado o ponto PT-13 no rio Paraopeba, o qual é discutido no contexto do Programa de Monitoramento da Dragagem. Também foram selecionados os pontos de monitoramento de água superficial PASU-07 e PT-07, situados no ribeirão Casa Branca, respectivamente a montante e a jusante do lançamento ETAF1.

Para melhor interpretação da qualidade das águas superficiais, também foi analisada a qualidade dos sedimentos. Os pontos foram selecionados de modo a coincidir com os pontos de monitoramento de água superficial, quando possível. Dessa forma, foram analisados os pontos PT-10, PT-11, PT-12, PASU-07, PT-07, PASU-DR0, PT-01, PT-13, além do ponto PT-47-E, que está localizado na saída do dreno de fundo e da tubulação de água bombeada da Barragem VI.

No cenário futuro, após a descaracterização da barragem Menezes I, é constatado um aumento generalizado das vazões afluentes à barragem Menezes II, localizada a jusante da primeira, portanto, se faz necessária a caracterização do efluente da barragem Menezes II. Para isso, selecionou-se o ponto FEI-BAR-02-E.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Os dados apresentados neste estudo foram analisados considerando a avaliação da conformidade dos resultados em relação à legislação vigente, avaliação do comportamento dos dados em cada ponto de monitoramento, e avaliação da variação sazonal (período de chuva considerando, os meses de outubro a março e seca, considerando os meses de abril a setembro) nas análises descritas. Para isso, os resultados de 2021 e 2022 foram apresentados em gráficos do tipo *boxplot* ou barras. Os gráficos do tipo *boxplot* são ferramentas que permitem visualizar a distribuição e dispersão dos valores de determinado conjunto de dados. Ele é formado pelas medidas de estatística descritiva como o percentil 25 (1º quartil), percentil 50 (mediana), percentil 75 (3º quartil), mínimo e máximo, sendo que estes dois últimos são definidos desconsiderando os *outliers*. Os *outliers* podem ou não aparecer nos gráficos e indicam que tais valores são atípicos, discrepantes ou extremos.

A Figura 1-81 apresentada o diagrama unifilar dos pontos e estruturas acima mencionados, situados no ribeirão Ferro-Carvão, Córrego Samambaia e Cava da Mina Córrego do Feijão e rio Paraopeba e a Tabela 1-30 apresenta os pontos de água superficial, efluente e sedimentos que foram selecionados para compor este diagnóstico.

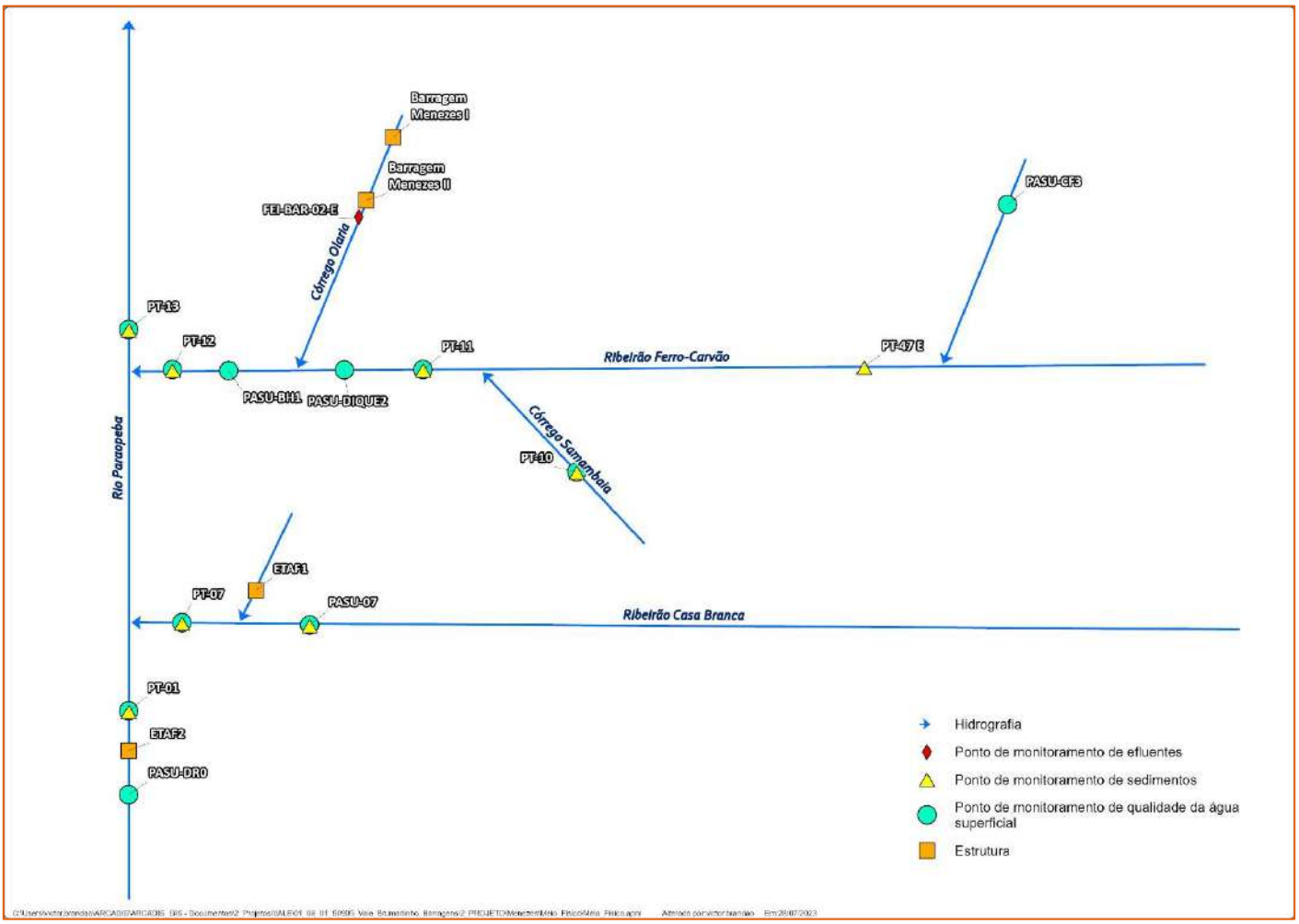


Figura 1-81 - Diagrama unifilar dos pontos analisados de qualidade de água superficial, sedimento e efluente.

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: IBGE (2002 e 2020), ESRI (2021), VALE (2022).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Tabela 1-30 - Pontos de qualidade de água superficial, sedimento e efluente

Matriz	Ponto	Recurso hídrico	Descrição	UTM E (m)	UTM N (m)
Água Superficial e Sedimento	PT-10	Córrego Samambaia	Córrego Samambaia, na confluência com o Córrego do Feijão	593146	7773451
Água Superficial	PASU-CF3	N/A	Margem do lago formado na Cava do Feijão	591199	7776558
Água Superficial e Sedimento	PT-11	Ribeirão Ferro-Carvão	Ribeirão Ferro-Carvão jusante córrego Samambaia (montante do pontilhão ferroviário)	591117	7772556
Água Superficial	PASU-DIQUE2	Ribeirão Ferro-Carvão	Ribeirão Ferro-Carvão, a jusante do Dique2	590064	7773191
Água Superficial	PASU-BH1	Ribeirão Ferro-Carvão	A jusante da barreira hidráulica BH1 e a montante do reservatório Estaca Prancha	589502	7772253
Água Superficial e Sedimento	PT-12	Ribeirão Ferro-Carvão	Ribeirão Ferro-Carvão a montante do rio Paraopeba	587910	7771232
Água Superficial e Sedimento	PASU-07	Ribeirão Casa Branca	Ribeirão Casa Branca a montante do lançamento da ETAF1	588360	7770653
Água Superficial e Sedimento	PT-07	Ribeirão Casa Branca	Ribeirão Casa Branca (afluente do rio Paraopeba) (IQA VL 15) e jusante do lançamento da ETAF1	588121	7770633
Água Superficial e Sedimento	PASU-DR0	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba a montante da confluência com o ribeirão Ferro-Carvão, a montante da área da dragagem e a montante do lançamento da ETAF2	587656	7769983
Água Superficial e Sedimento	PT-01	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba a montante da confluência do ribeirão Ferro-Carvão e a jusante do lançamento da ETAF2	588016	7770483
Água Superficial e Sedimento	PT-13	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba, a aproximadamente 200 m a jusante do ribeirão Ferro-Carvão	587671	7770870
Sedimento	PT-47 E	Ribeirão Ferro-Carvão	Saída do dreno de fundo e saída da tubulação de água bombeada, ambos da Barragem VI	591602	7774872
Efluente	FEI-BAR-02-E	N/A	Calha Parshall a jusante da Barragem de Menezes II	589940	7773928

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale, 2023

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.9.1.1 Água superficial

Para caracterizar a qualidade da água superficial foram analisados os pontos PT-10 (Córrego Samambaia), PASU-CF3 (Cava da Mina Córrego do Feijão), PT-11, PASU-DIQUE2, PASU-BH1, PT-12 (ribeirão Ferro-Carvão), PASU-07, PT-07 (ribeirão Casa Branca), PASU-DR0 e PT-01 (rio Paraopeba) para o período de janeiro de 2021 a dezembro de 2022, com exceção dos pontos PT-11 e PASU-CF3, cujos monitoramentos se iniciaram em junho e setembro de 2021, respectivamente. A Tabela 1-31 apresenta os pontos, períodos e parâmetros analisados e a Figura 1-82 demonstra a localização dos pontos avaliados.

Todos os parâmetros citados tiveram os resultados avaliados nas frações totais e dissolvidas, quando aplicáveis, e foram comparados com os limites estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022. Os cursos d'água onde se localizam os pontos analisados são definidos como Classe 2, sendo os limites relativos a esta classe de enquadramento utilizados como referência.

Tabela 1-31 - Relação de pontos, período e parâmetros analisados para qualidade de água superficial

Ponto	Data início	Data final	Parâmetro
PT-10	jan-21	dez-22	Alumínio Dissolvido, Alumínio Total, Arsênio Dissolvido, Arsênio Total, Bário Dissolvido, Bário Total, Cádmio Dissolvido, Cádmio Total, Chumbo Dissolvido, Chumbo Total, Cobalto Dissolvido, Cobalto Total, Cobre Dissolvido, Cobre Total, Condutividade elétrica, Cor verdadeira, Cromo Dissolvido, Cromo Total, DBO, DQO, Ferro Dissolvido, Ferro Total, Manganês Dissolvido, Manganês Total, Mercúrio Dissolvido, Mercúrio Total, Níquel Dissolvido, Níquel Total, Óleos e graxas minerais, Oxigênio dissolvido, pH, Sólidos dissolvidos totais, Sólidos sedimentáveis, Sólidos suspensos totais, Sólidos Totais, Turbidez, Zinco Dissolvido, Zinco Total
PASU-CF3	set-21	dez-22	
PT-11	jun-21	dez-22	
PASU-DIQUE2	jan-21	dez-22	
PASU-BH1	jan-21	dez-22	
PT-12	jan-21	dez-22	
PASU-07	jan-21	dez-22	
PT-07	jan-21	dez-22	
PASU-DR0	jan-21	dez-22	
PT-01	jan-21	dez-22	
PT-13	jan-21	dez-22	

Fonte: Deliberação Normativa COPAM-CERH 08/2022.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

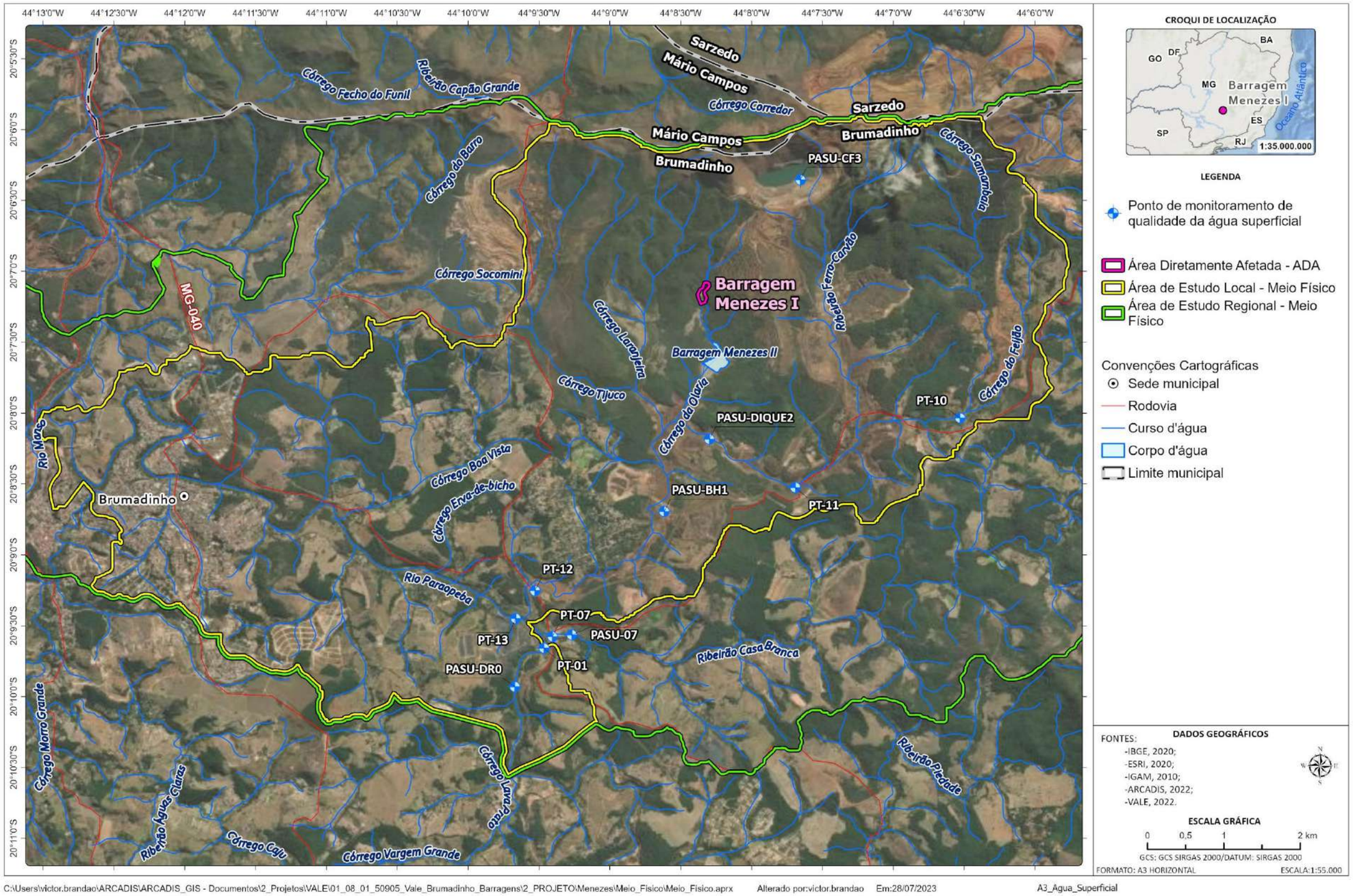


Figura 1-82 - Mapa de localização dos pontos de água superficial analisados.

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: IBGE (2002 e 2020), ESRI (2021), VALE (2022).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Os padrões de qualidade para corpos hídricos superficiais são definidos com base na qualidade da água requerida para seus usos prioritários. Em Minas Gerais a norma atual que estabelece os padrões para a água superficial é a Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG nº 08, de 21 de novembro de 2022, a qual "*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.*"

A bacia hidrográfica do rio Paraopeba (BHRP) possui uma área de drenagem 13.643 km². Conforme DN CERH-MG n° 71/2021, esta integra a Unidade de Gestão Estratégia (UEG) 1 - Afluentes do Alto São Francisco, correspondendo à Circunscrição Hidrográfica SF3. Os corpos hídricos superficiais da bacia do rio Paraopeba (BHRP), são enquadrados segundo a Deliberação Normativa COPAM n° 14, de 28 de dezembro de 1995. Especificamente para os cursos d´água monitorados pelo Programa de Qualidade das Águas Superficiais (ribeirão Ferro-Carvão, ribeirão Casa Branca, rio Paraopeba e córrego Samambaia), o enquadramento foi definido como classe 2, tendo como base o Art. 47 da DN Copam/CERH-MG nº 08/2022 (Tabela 1-32) que estabeleceu:

> *"Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente."*

Tabela 1-32 - Valores máximos permitidos (VMP) pela DN COPAM-CERH nº 08/2022 para águas superficiais Classe 2

Parâmetros	Unidades	Limites Deliberação Normativa COPAM- CERH 08/2022 Classe 2
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,1
Alumínio Total	mg/L	-
Arsênio Dissolvido	-	-
Arsênio Total	mg/L	0,01
Bário Dissolvido	-	-
Bário Total	-	-
Cádmio Dissolvido	-	-
Cádmio Total	-	-
Chumbo Dissolvido	-	-
Chumbo Total	mg/L	0,01
Cobalto Dissolvido	-	-
Cobalto Total	-	-
Condutividade elétrica	µS/cm	-
Cor Verdadeira	mg PtCo/L	<75
Cobre Total	mg/L	-
Cobre Dissolvido	mg/L	0,009
Cromo Dissolvido	mg/L	-
Cromo Total	mg/L	-
DBO	mg/L	5

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Parâmetros	Unidades	Limites Deliberação Normativa COPAM- CERH 08/2022 Classe 2
DQO	mg/L	-
Ferro Dissolvido	mg/L	0,3
Ferro Total	mg/L	-
Mercúrio Dissolvido	mg/L	-
Mercúrio Total	mg/L	-
Manganês Dissolvido	mg/L	-
Manganês Total	mg/L	0,1
Níquel Dissolvido	mg/L	-
Níquel Total	mg/L	0,025
Óleos e Graxas	mg/L	Virtualmente ausentes
Oxigênio Dissolvido	mg/L	≥5
pH	-	6,0 - 9,0
Sólidos Totais	mg/L	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	100
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	500
Turbidez	UNT	100
Zinco Total	mg/L	0,18

Fonte: Deliberação Normativa COPAM-CERH 08/2022.

1.1.9.1.2 Efluente

Para caracterizar a qualidade do efluente foi analisado o ponto FEI-BAR-02-E, para o período de janeiro de 2021 a dezembro de 2022, cujo monitoramento é realizado semanalmente no âmbito do Plano de Controle Ambiental de Obras Emergenciais.

Ressalta-se que na área de estudo há outros pontos de monitoramento de efluentes, porém, considera-se que os dados disponibilizados nos referidos monitoramentos não são relevantes para o objetivo do presente EIA, que visa analisar possíveis impactos decorrentes da descaracterização da barragem Menezes I. Sendo assim, optou-se pela avaliação apenas dos dados do ponto FEI-BAR-02-E, cuja coleta é realizada na calha Parshall, a jusante da barragem Menezes II. Nesse contexto, o ponto de monitoramento FEI-BAR-02-E objetiva monitorar a qualidade do efluente proveniente do vertedouro da barragem Menezes II, que está a jusante da barragem Menezes I e, por esse motivo, se fez importante sua análise. Destaca-se que não foram identificados impactos potenciais relativos a lançamento de efluente em decorrência das obras de descaracterização, sendo a presente análise realizada apenas para fins de *background* e caracterização geral da área.

A Tabela 1-33 apresenta períodos e parâmetros analisados no referido ponto. e a Figura 1-83 demonstra sua localização.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Tabela 1-33 - Relação de pontos, período e parâmetros analisados para qualidade de efluente.

Ponto	Data início	Data final	Parâmetros
FEI-BAR-02-E	jan-21	dez-22	Alumínio Dissolvido, Alumínio Total, Arsênio Dissolvido, Arsênio Total, Bário Dissolvido, Bário Total, Cádmio Dissolvido, Cádmio Total, Chumbo Dissolvido, Chumbo Total, Cobalto Dissolvido, Cobalto Total, Cobre Dissolvido, Cobre Total, Condutividade elétrica, Cromo Dissolvido, Cromo Total, DBO, DQO, Ferro Dissolvido, Ferro Total, Manganês Dissolvido, Manganês Total, Mercúrio Dissolvido, Mercúrio Total, Níquel Dissolvido, Níquel Total, Oxigênio dissolvido, pH, Sólidos dissolvidos totais, Sólidos sedimentáveis, Sólidos suspensos totais, Sólidos Totais, Turbidez, Zinco Dissolvido, Zinco Total

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

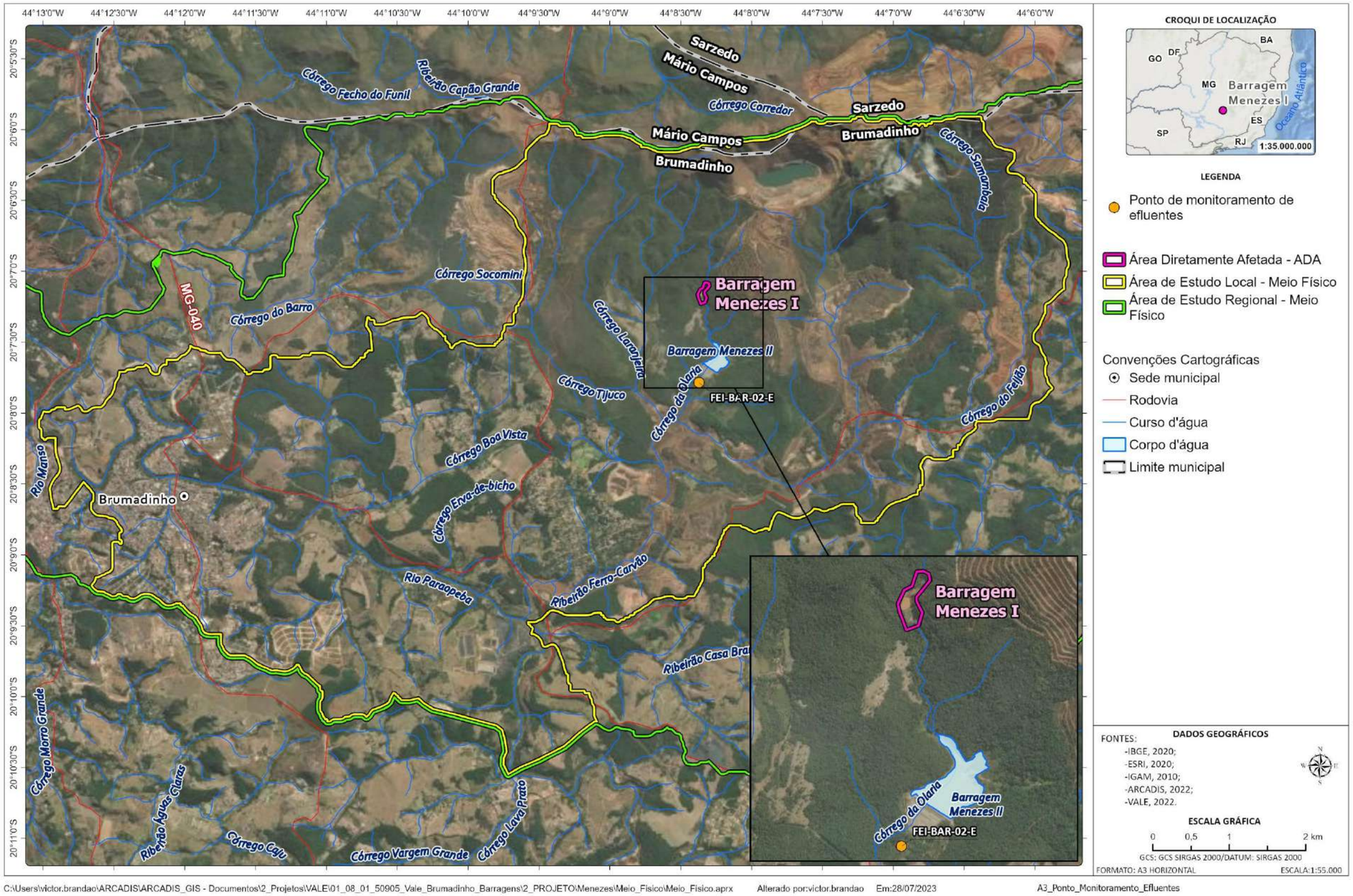


Figura 1-83 - Mapa de localização dos pontos de efluentes analisados.

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: IBGE (2002 e 2020), ESRI (2021), VALE (2022).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Em Minas Gerais a norma atual que estabelece os padrões para efluentes é a Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG nº 08, de 21 de novembro de 2022, a qual "*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.*"

Ademais, a DN Conjunta nº 08/2022 define que as condições de lançamentos de efluentes como "*condições e padrões de emissão adotados para o controle de lançamentos de efluentes no corpo receptor*" e desta forma, estabelece parâmetros e limites para o lançamento de efluentes (sanitários, industriais, etc.) em corpos receptores. A Tabela 1-34 apresenta os valores máximos permitidos para o lançamento de efluentes.

Tabela 1-34 - Valores máximos permitidos (VMP) pela DN Conjunta COPAM-CERH para efluentes industriais

Parâmetros	Unidade	COPAM 08/2022
		Efluente Industrial
Alumínio Dissolvido	mg/L	-
Alumínio Total	mg/L	-
Arsênio Dissolvido	mg/L	-
Arsênio Total	mg/L	0,2
Bário Dissolvido	mg/L	-
Bário Total	mg/L	5
Chumbo Dissolvido	mg/L	-
Chumbo Total	mg/L	0,1
Condutividade Elétrica	uS/cm	-
Cromo Dissolvido	mg/L	-
Cromo total	mg/L	-
DBO	mg/L	60
DQO	mg/L	180
Ferro Dissolvido	mg/L	15
Ferro Total		-
Manganês Dissolvido	mg/L	1
Manganês Total	mg/L	-
Mercúrio Dissolvido	mg/L	-
Mercúrio Total	mg/L	-
Níquel Dissolvido	mg/L	-
Níquel Total	mg/L	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	20
Oxigênio Dissolvido	mg/L	-
pH	-	5 a 9
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	100
Sólidos Totais		
Turbidez	UNT	-
Zinco Total	mg/L	5

Fonte: Deliberação Normativa COPAM-CERH 08/2022.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.9.1.3 Sedimento

Para realização do diagnóstico ambiental da matriz de sedimentos foram analisados oito pontos e quatorze parâmetros selecionados de acordo com os interesses geoquímicos, considerando parâmetros relacionados com a atividade minerária e com a geologia regional. Na Tabela 1-35 está a lista de pontos e parâmetros: A Figura 1-84 demonstra a localização dos pontos avaliados.

Tabela 1-35 - Tabela de Pontos e Parâmetros monitorados para a matriz de sedimentos.

Pontos	Parâmetros
PT-10	Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel, Zinco e Granulometria
PT-11	
PT-12	
PASU-07	
PT-07	
PT-01	
PT-13	
PT-47-E	

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

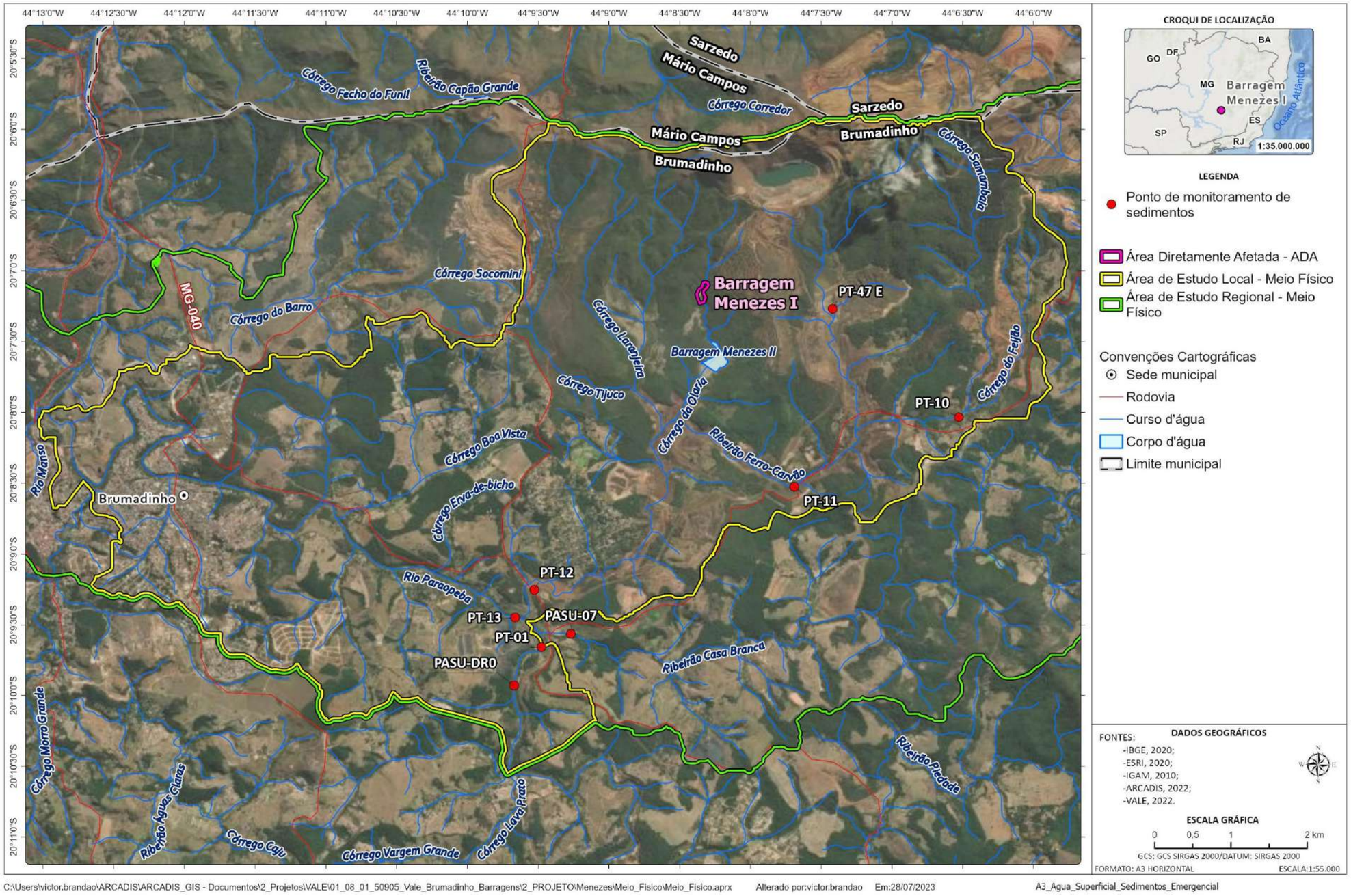


Figura 1-84 - Mapa de localização dos pontos de sedimentos analisados.

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: IBGE (2002 e 2020), ESRI (2021), VALE (2022)

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Como não há uma classificação para avaliar a qualidade química de sedimentos, utilizou-se como referência a Resolução CONAMA 454/2012 que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. A caracterização química foi realizada de acordo com as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais definidos nesta Resolução. Para disposição em águas doces sob jurisdição nacional, os resultados analíticos foram comparados com os níveis 1 e 2 de classificação do material a ser dragado. Os valores orientadores adotados têm como referência a publicação oficial Environmental Canada, propostos pelo Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2002):

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.

Cabe destacar que os parâmetros Manganês, Alumínio e Ferro não estão listados nesta Resolução, mas foram comparados de acordo com Vicq (2015). Optou-se na utilização desta referência, pois é a mesma adotada pelo Instituto Mineiro de Gestão de Águas - IGAM em suas avaliações na mesma bacia hidrográfica.

Além da caracterização físico-química a distribuição granulométrica dos sedimentos também seguiu as orientações da Resolução CONAMA 454/2012 para material a ser dragado, que tem como referência de classificação granulométrica a escala Granulométrica de WENTWORTH (1922).

1.1.9.2 Contextualização da Área de Estudo Regional e Local

1.1.9.2.1 Resultados

Nesse tópico serão apresentados os dados da qualidade da água, efluente e sedimentos e na área de estudo. Destaca-se que os resultados serão discutidos nos itens subsequentes de acordo com a distribuição dos pontos de coleta nos trechos do ribeirão Ferro-Carvão, ribeirão Casa Branca, córrego Samambaia, rio Paraopeba e cava da Mina Córrego do Feijão.

A. Qualidade de Água Superficial

Serão analisados parâmetros físico-químicos, metais e semimetais, série de sólidos e carga orgânica, conforme itens abaixo. Ressalta-se que não serão apresentados gráficos para os parâmetros Cádmio, Cobalto, Cobre, Cromo, Mercúrio e Níquel em suas frações totais e dissolvidas, uma vez que a maioria dos resultados obtidos foi inferior ao limite de quantificação do laboratório. Os resultados quantificáveis e os desvios observados serão discutidos a seguir.

a. Físico-químicos

Neste subitem serão avaliados os parâmetros condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e pH.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

i Condutividade elétrica

A condutividade refere-se à capacidade da água em conduzir corrente elétrica, estando diretamente ligada às concentrações iônicas e metais dissolvidos presentes no meio. Esse parâmetro fornece uma indicação das modificações nas concentrações minerais da água. A presença de metais e íons em água pode ser influenciada pela geoquímica da área e podem ser observados através da variação da condutividade do meio (CETESB, 2022).

A capacidade de condução é proporcional à concentração de íons dissolvidos no sistema aquoso, sendo, portanto, um bom indicador de fontes de poluição nos corpos d´água. Ressalta-se que não existe limite legal para o parâmetro condutividade elétrica, sendo as concentrações comparadas com as variações naturais reportadas nas literaturas. Águas naturais apresentam comumente condutividade elétrica inferior a 100 µS/cm, podendo atingir 1000 µS/cm em corpos d'água receptores de elevadas cargas de efluentes domésticos e industriais (LIBÂNIO, 2008). As principais fontes dos sais de origem antropogênica são as descargas industriais e sanitárias. As fontes naturais são diversas, como excreções animais, composição do solo, carreamento de material particulado, dentre outros (IGAM, 2009).

Como pode ser verificado na Figura 1-85 a seguir, as medianas dos resultados do parâmetro condutividade elétrica obtidos nos monitoramentos realizados durante os anos de 2021 e 2022 foram, na sua maioria, características de corpos d'água naturais, menores que 100 µS/cm. Porém, observa-se há resultados, considerados como outliers, que ultrapassaram as medianas em todos os pontos de monitoramento em vários momentos, podendo ser um reflexo de carreamento de material sedimentar para os corpos hídricos.

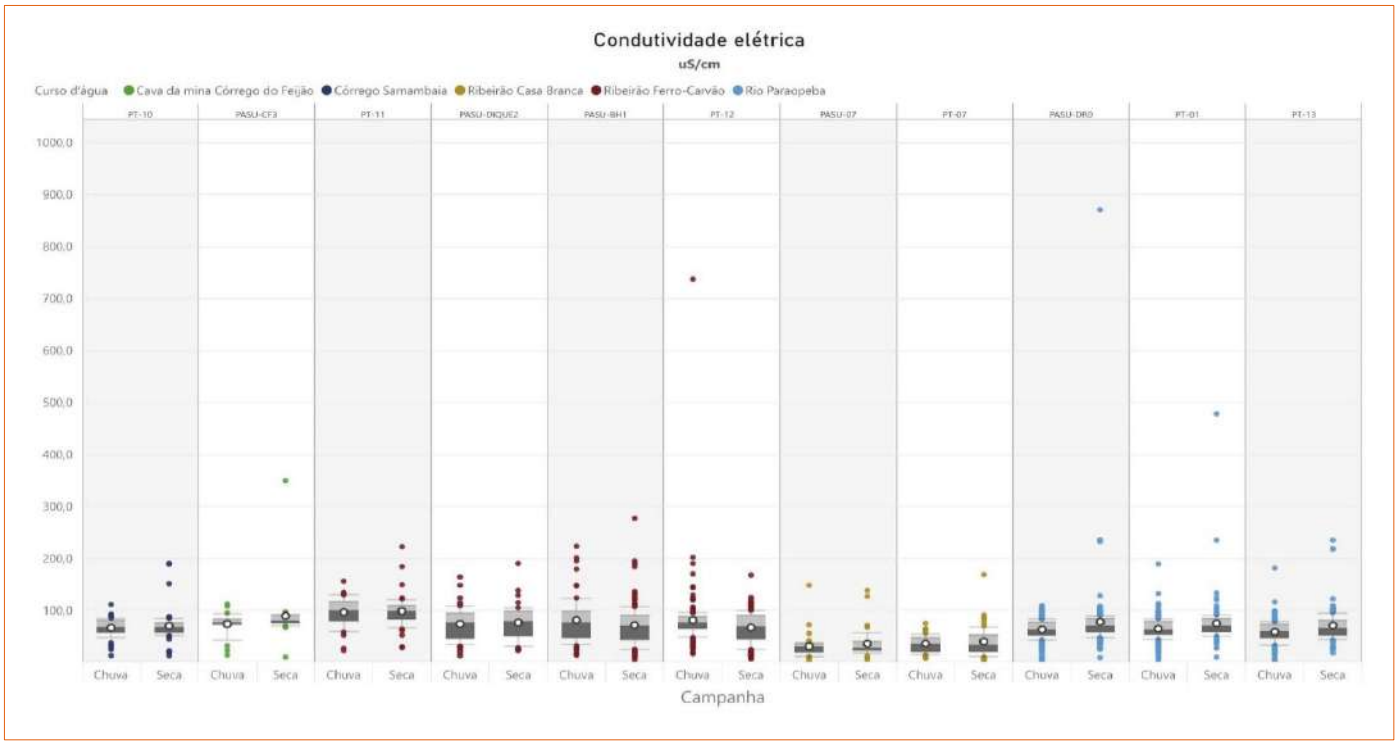


Figura 1-85 - Boxplot dos resultados de Condutividade Elétrica nos pontos de monitoramento de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

ii Oxigênio dissolvido

O Oxigênio dissolvido (OD) assume grande importância nos corpos d'água, pois dele depende a sobrevivência de seres aeróbios. Sua ausência ou restrição conduz à redução da diversidade biológica. Ademais, caso o oxigênio seja totalmente consumido, passam a prevalecer condições anaeróbicas no ambiente aquático e a formação de ambiente redutor, tornando os metais pesados e os compostos de fósforo mais solúveis e biodisponíveis no ambiente. A redução nas concentrações de oxigênio dissolvido está comumente associada à deterioração de matéria orgânica proveniente de esgotos sanitários e associados (CETESB, 2022).

Para águas doces Classe 2, é recomendado pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 que o nível de oxigênio dissolvido seja, no mínimo, de 5 mg/L, concentração considerada adequada para a sobrevivência e desenvolvimento dos organismos aquáticos.

A partir da Figura 1-86, onde são exibidos os resultados da série histórica dos monitoramentos realizados na área de estudo, verifica-se que as medianas dos resultados do parâmetro oxigênio dissolvido se apresentaram em conformidade com o limite mínimo estabelecido em todos os pontos, com valores mais baixos durante os períodos chuvosos. Observa-se também que, embora as medianas tenham se apresentado acima do valor mínimo estabelecido, muitos resultados estiveram desconformes, com variações de 1,39% a 31,26% de desvios. Destaca-se que a concentração de oxigênio dissolvido na água é dada de acordo com suas características, como temperatura, pressão, salinidade, entre outros, neste sentido, quedas nos níveis de oxigênio dissolvido podem estar associadas às mudanças nas características das águas durante o período chuvoso, ou ainda serem causadas por reações de oxidação química.

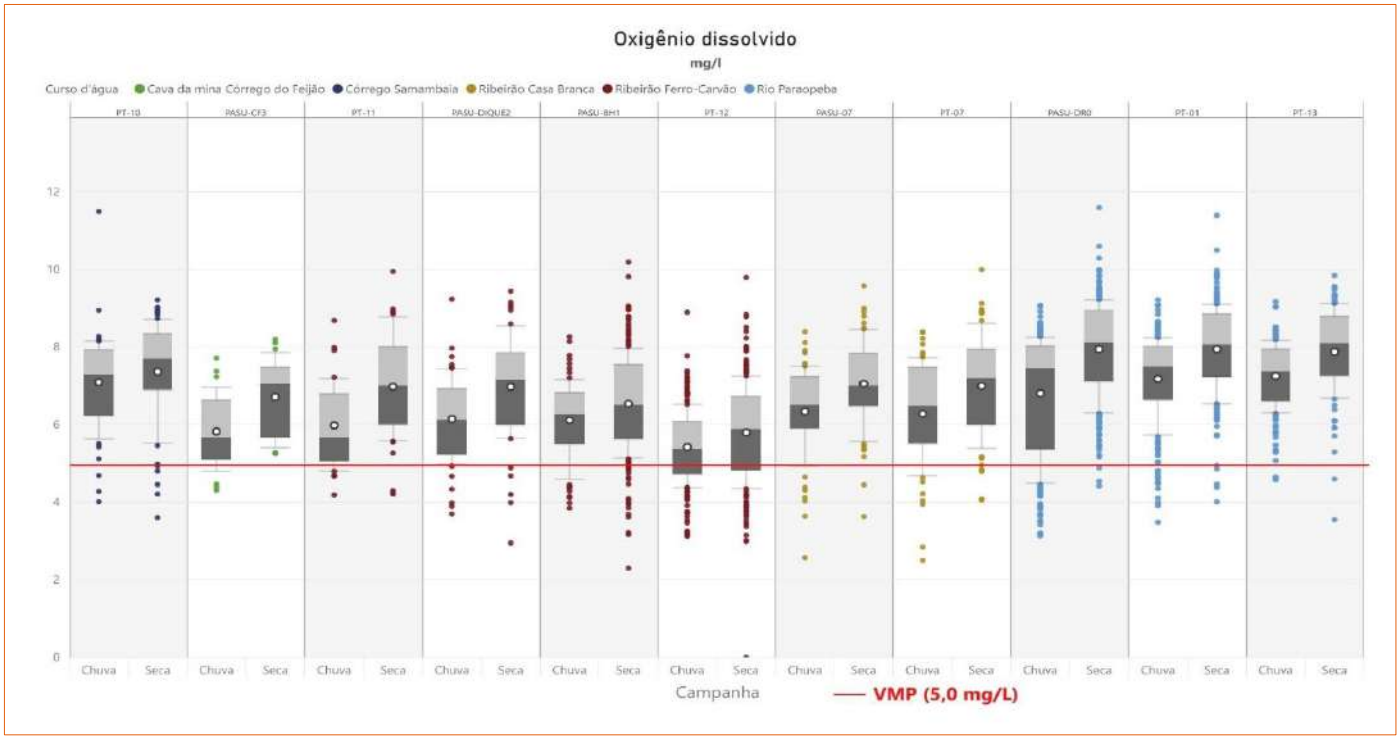


Figura 1-86 - Boxplot dos resultados de Oxigênio Dissolvido nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

iii Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma amostra. É um parâmetro importante devido a sua influência em diversos equilíbrios químicos. Nos ecossistemas aquáticos naturais, sua influência ocorre diretamente sobre os aspectos fisiológicos dos organismos ou, indiretamente, contribuindo para a precipitação dos elementos químicos e na toxicidade de diversos compostos. Em meio ácido, os metais pesados tendem a ter maior biodisponibilidade, aumentando seu nível de toxicidade (CETESB, 2022).

De acordo com a DN COPAM nº 08/2022, o pH das águas doces Classe 2 deve estar entre 6,0 e 9,0, sendo classificado como neutro. Conforme apresentado na Figura 1-87 a seguir, nos monitoramentos realizados durante os anos de 2021 e 2022, as medianas dos dados obtidos estiveram em acordo com as legislações em todos os pontos. Como pode ser observado, alguns resultados se apresentaram fora dos limites, principalmente para o valor mínimo, configurando ambientes com pH predominante neutro, com oscilações para pH mais ácido.

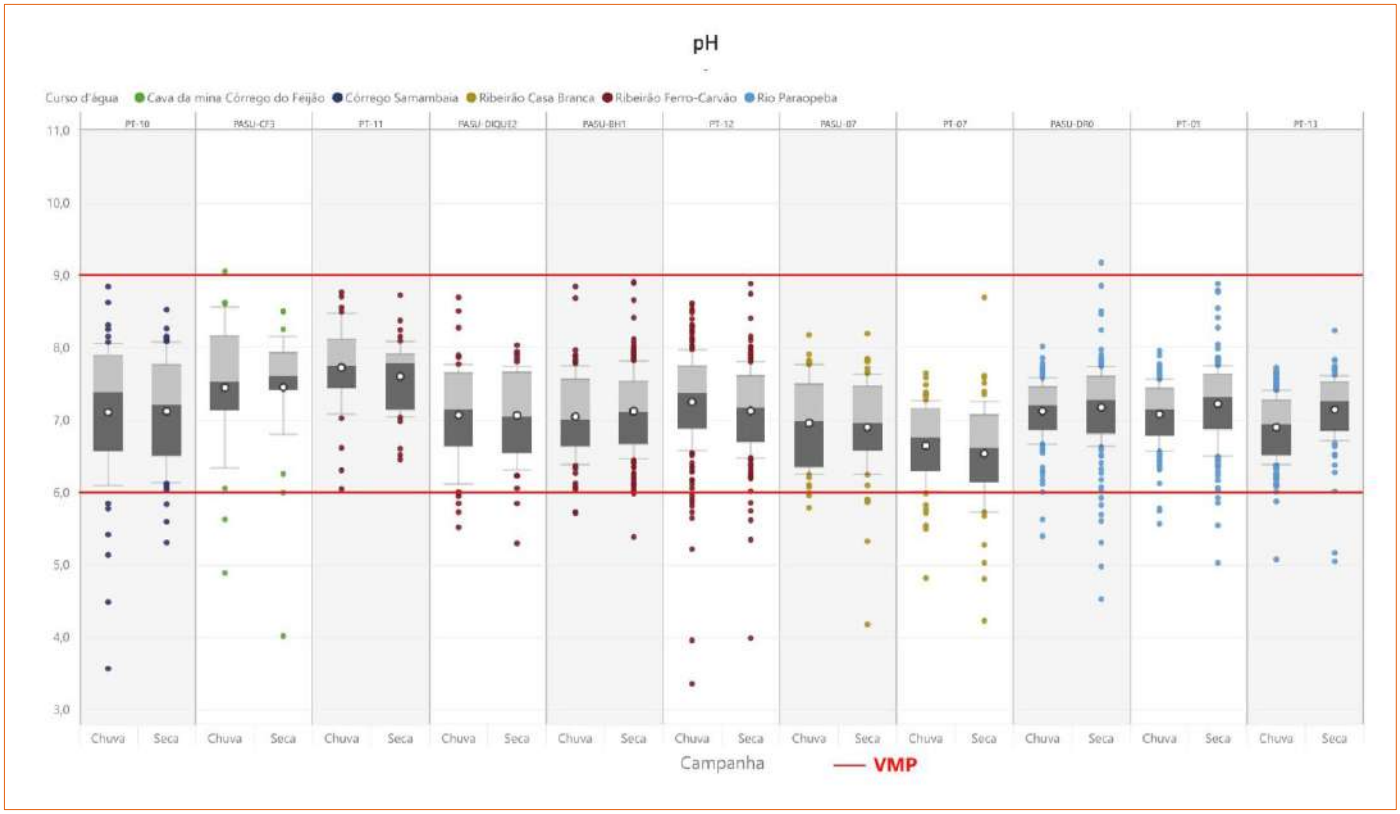


Figura 1-87 - Boxplot dos resultados de pH nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

b. Metais e semimetais totais e dissolvidos

iv Alumínio

O alumínio é o elemento metálico mais abundante na crosta terrestre. Ocorre naturalmente no ambiente como silicatos, óxidos e hidróxidos, combinado com outros elementos, como sódio e flúor, e como complexos com matéria orgânica. Na água, o alumínio pode ocorrer em diferentes formas e é influenciado pelo pH, as concentrações de alumínio dissolvido em águas com pH neutro variam de 0,001 a 0,05 mg/L, mas aumentam para 0,5-1 mg/L em águas mais ácidas ou ricas em matéria orgânica.

A Figura 1-88 e a Figura 1-89 a seguir apresentam a distribuição dos resultados obtidos durante os monitoramentos de 2021 e 2022 para o Alumínio Dissolvido e para o Alumínio Total, respectivamente. A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece VMP para Alumínio Dissolvido de 0,1 mg/L e não estabelece limite máximo para Alumínio Total.

Em todos os pontos amostrais foram obtidos resultados que se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,02 mg/L) para ambas as frações de alumínio. Em contrapartida, a maioria dos resultados que foram quantificáveis, se apresentou acima do limite máximo estabelecido para Alumínio Dissolvido, demonstrando que há grande variação das concentrações ao longo de todo o período analisado.

O alumínio está naturalmente presente na matriz geológica local, o que justifica sua presença em todos os cursos d'água avaliados. Os valores existentes do alumínio ao longo da bacia, assim como os do ferro, são condizentes com a presença dos solos existentes, como os latossolos cambissolos e argissolos, que passam pelo processo de ferralitização ou lateritização em condições tropicais, acumulando os óxidos de ferro e alumínio (Lopes, 2017).

Observa-se que as maiores porcentagens de desvios foram verificadas nos pontos localizados no rio Paraopeba, com mais de 70% dos resultados desconformes. Além disso, de acordo com o Estudo Caracterização Geoquímica de Rejeitos Fase I (GEOENVIRON, 2019) e Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba (ARCADIS, 2022), o óxido de alumínio (AL_2O_3) compõe cerca de 4,3% da média amostral dos rejeitos originais decorrentes do rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA. Sendo assim, as desconformidades observadas possivelmente também estão relacionadas à presença dos depósitos de rejeitos nas bacias do ribeirão Ferro-Carvão e Paraopeba e se tornam mais pronunciadas no período chuvoso, devido ao carreamento superficial.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

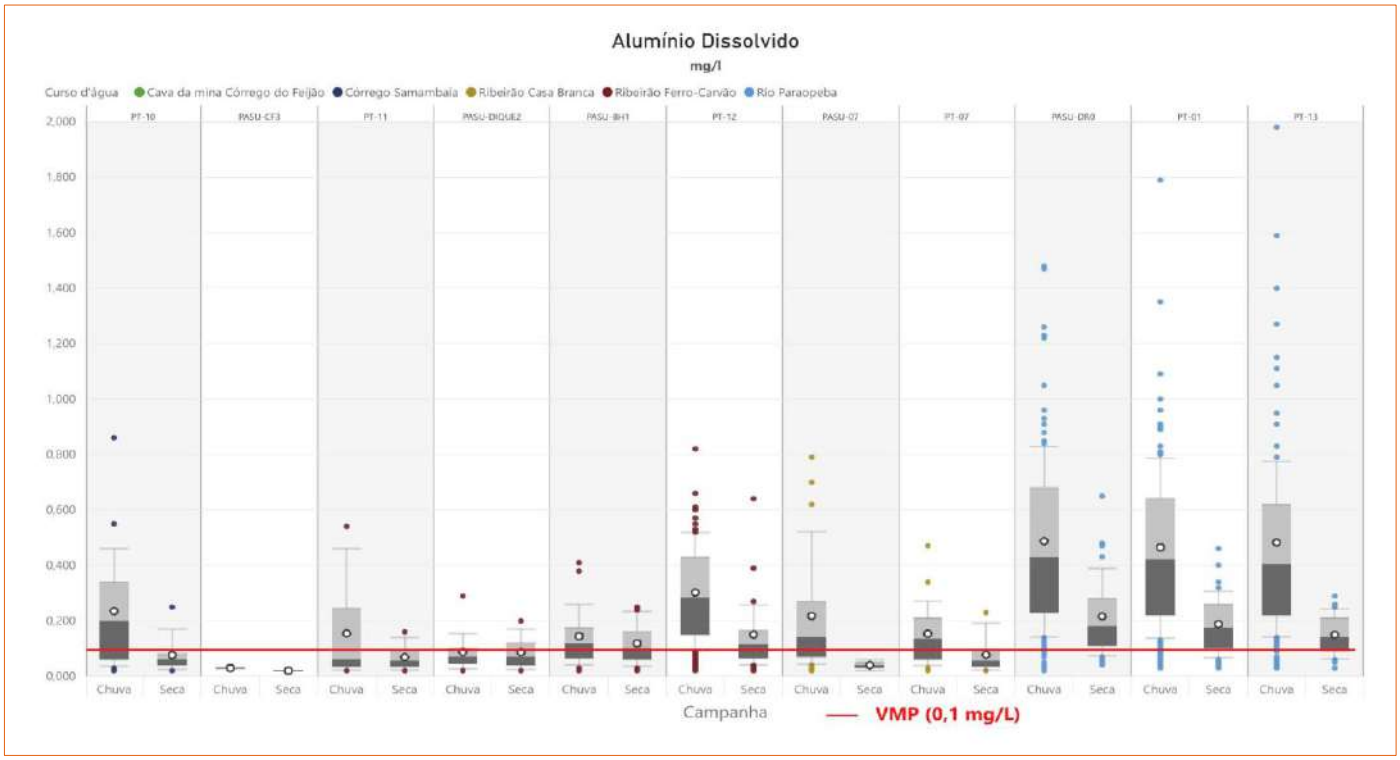


Figura 1-88 - Boxplot dos resultados de Alumínio Dissolvido nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

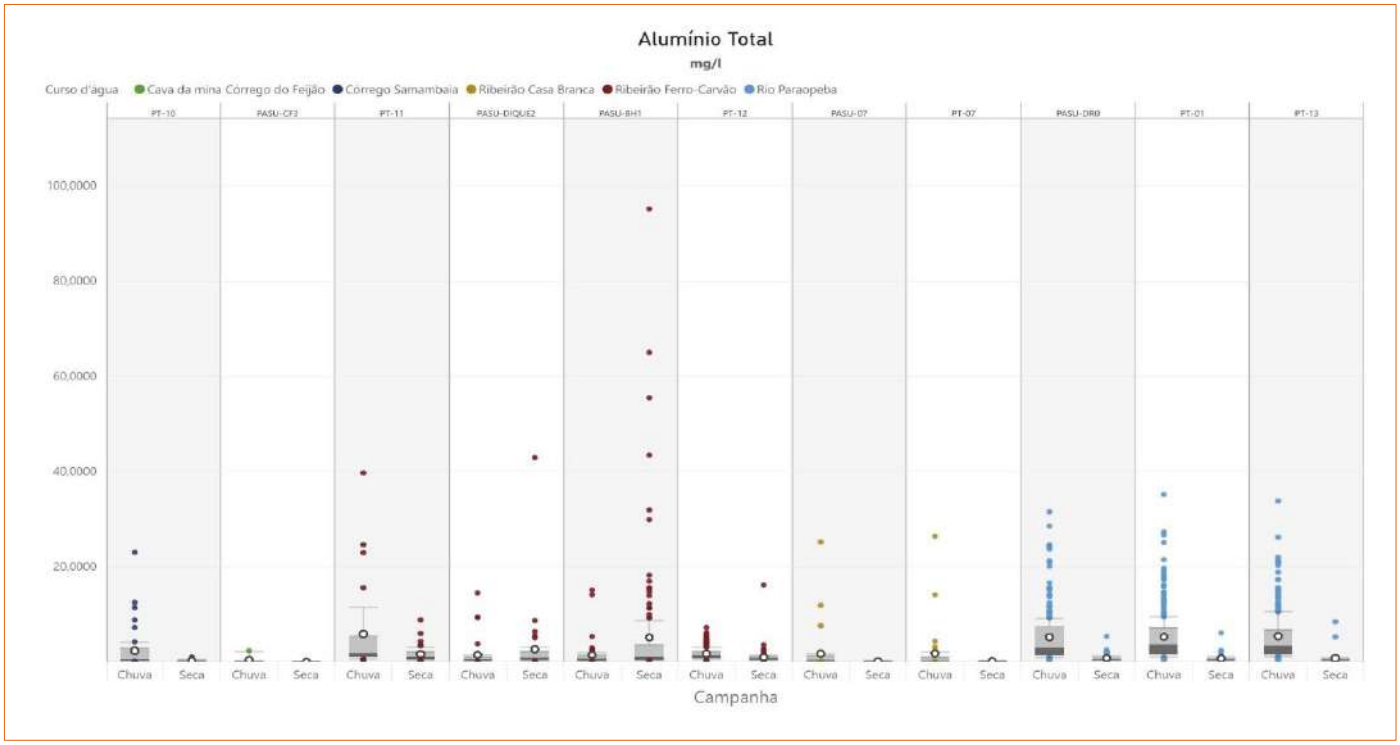


Figura 1-89 - Boxplot dos resultados de Alumínio Total nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

v Arsênio

O arsênio é liberado ao ambiente por fontes naturais (poeiras e vulcões) e antropogênicas, como mineração de metais não ferrosos e fundição, aplicação de agrotóxicos, combustão de carvão e madeira e incineração de lixo. O transporte e distribuição do arsênio na água dependem da sua forma química e de interações com outros materiais presentes no meio. O arsênio é insolúvel em água, mas muitos compostos de arsênio são solúveis e podem contaminar a água subterrânea (CETESB, 2014). Tem especial relevância como parâmetro de interesse na área de estudo, uma vez que é um elemento que apresenta uma relativa abundância no Quadrilátero Ferrífero, quando comparado com outras regiões do Brasil e do mundo.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o limite máximo de 0,01 mg/L para o parâmetro Arsênio Total. Observa-se, a partir da Figura 1-90, que todas as amostras dos pontos avaliados durante o período de 2021 e 2022 se apresentaram em conformidade com a legislação.

Ressalta-se que a DN COPAM nº08/2022 não estabelece VMP para Arsênio Dissolvido. Como a maioria dos resultados se apresentou abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,001 mg/L), o parâmetro não está apresentado graficamente.

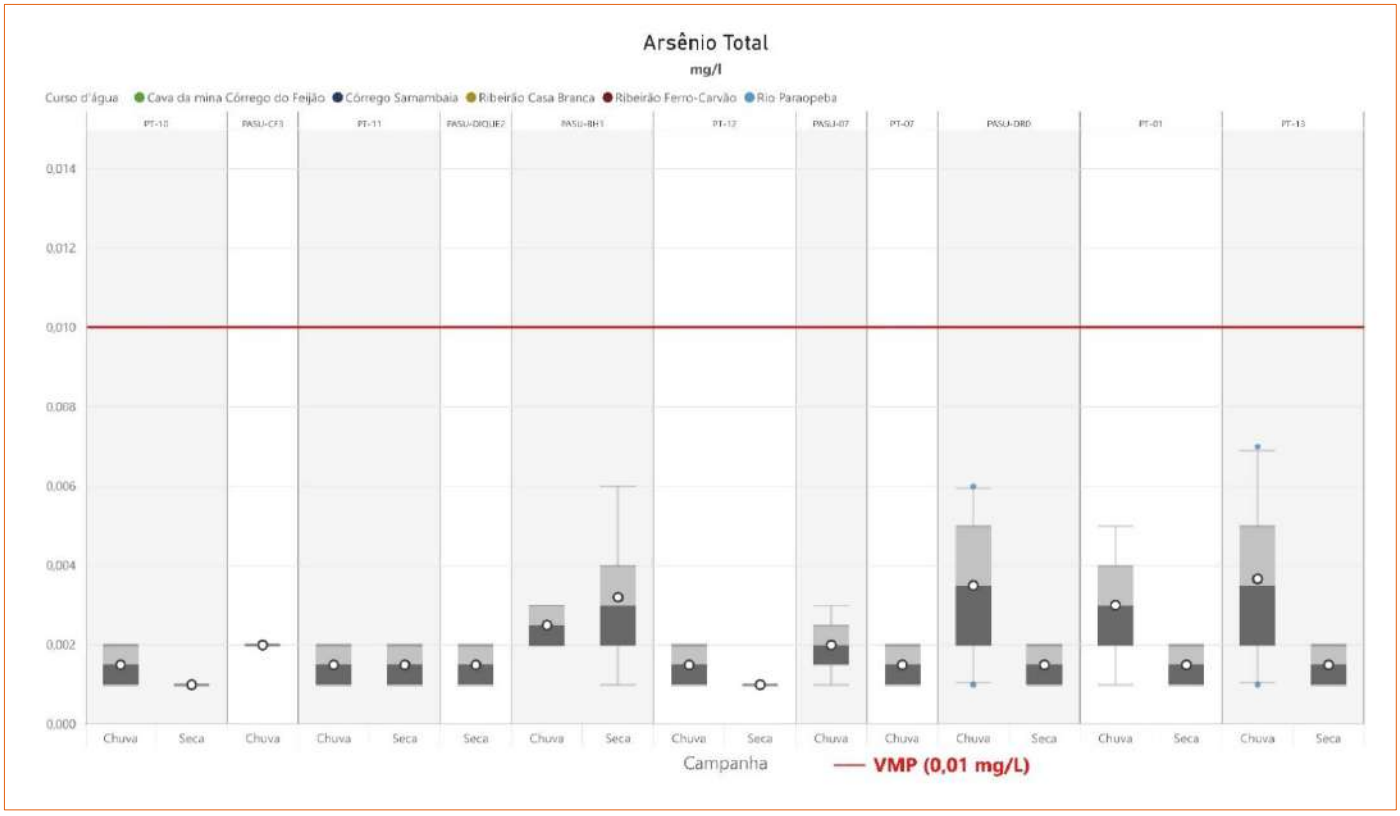


Figura 1-90 - Boxplot dos resultados de Arsênio Total nos pontos monitoramento de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

vi Bário

É um metal alcalino-terroso que compõe 0,05% da crosta terrestre e ocorre naturalmente em depósitos de minério e pode ser liberado no meio ambiente por processos tanto naturais quanto antropogênicos. Em águas superficiais e sua concentração depende do teor de bário lixiviado das rochas (CETESB, 2017).

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o limite máximo para Bário Total de 0,7 mg/L e não estabelece VMP para Bário Dissolvido. Os resultados das análises estão apresentados na Figura 1-91 e na Figura 1-92, respectivamente.

Os valores aferidos estão em conformidade com o VMP estabelecido, com exceção de um resultado no ponto PASU-DIQUE2 no valor de 5,06 mg/L. Sabendo-se que foram realizadas 90 amostras nesse ponto e houve apenas 1 desvio ao longo de todo o período de monitoramento, tal resultado pode ser considerado como um outlier e não está apresentado no gráfico para melhor visualização dos demais dados. Cabe destacar que, para ambas as frações de bário, muitos resultados estiveram abaixo do limite de quantificação do método de análise laboratorial (0,01 mg/L).

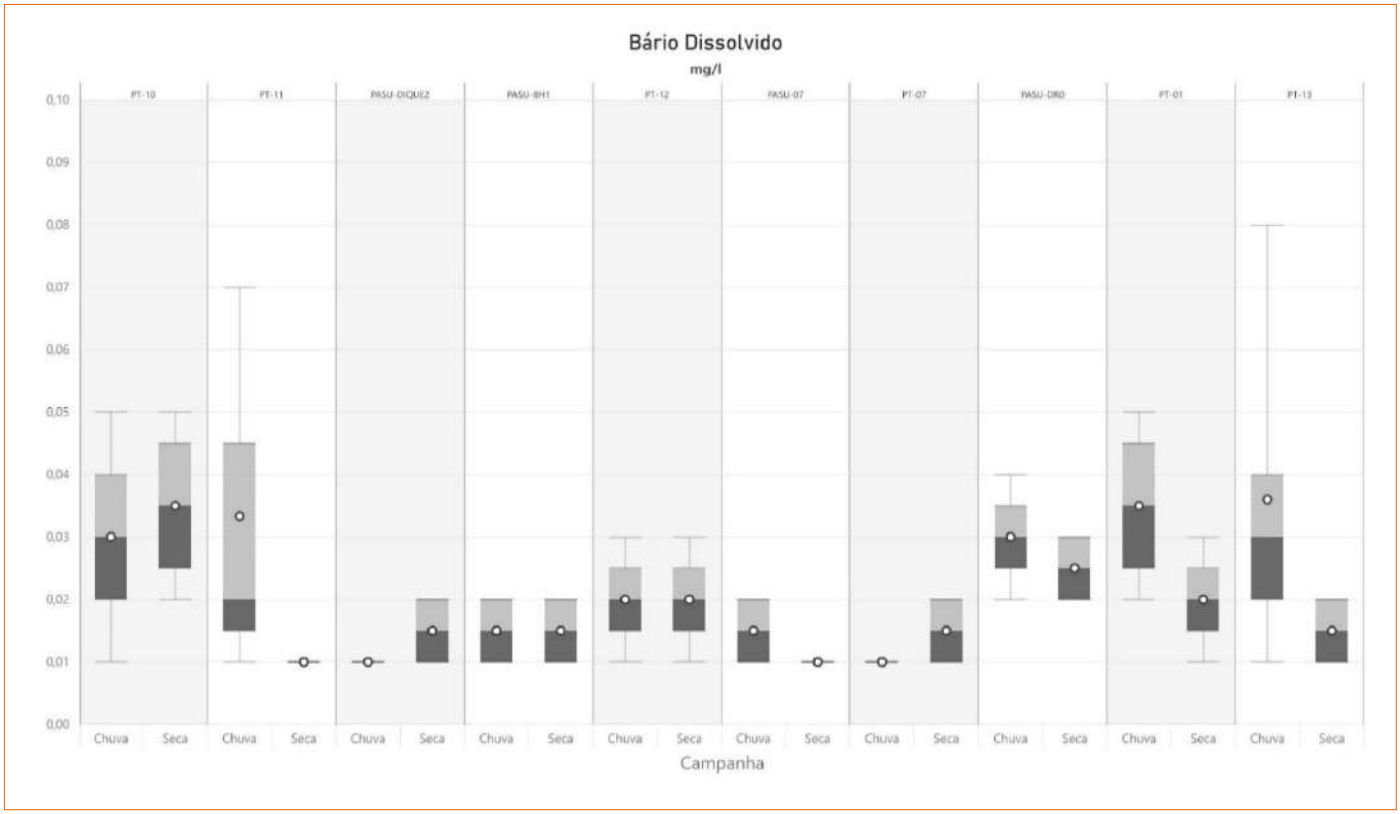


Figura 1-91 - Boxplot dos resultados de Bário Dissolvido nos pontos monitoramento de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

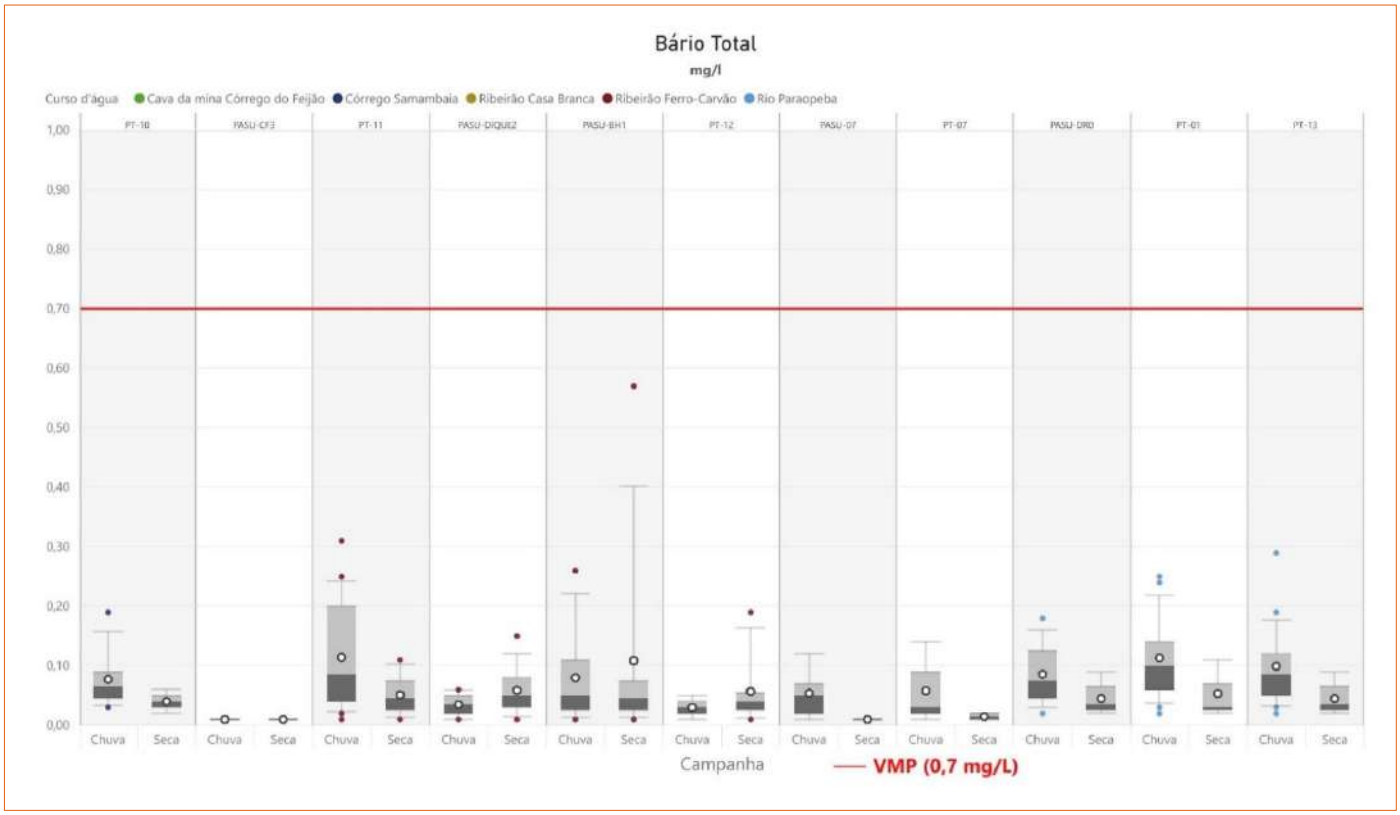


Figura 1-92 - Boxplot dos resultados de Bário Total nos pontos monitoramento de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

vii Cádmio

O cádmio é um metal encontrado na natureza associado a sulfitos de minérios de zinco, cobre e chumbo. As fontes naturais de cádmio na atmosfera são a atividade vulcânica, a erosão de rochas sedimentares e fosfáticas e os incêndios florestais. As fontes antropogênicas incluem as atividades de mineração, produção, consumo e disposição de produtos que utilizam cádmio e as fontes consideradas “inadvertidas” onde o cádmio é constituinte natural do material que está sendo processado ou consumido: metais não-ferrosos, ligas de zinco, chumbo e cobre, emissões de indústrias de ferro e aço, combustíveis fósseis (carvão, óleo, gás, turfa e madeira), cimento e fertilizantes fosfatados (CETESB, 2022).

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o valor máximo permitido para Cádmio Total de 0,001 mg/L. A maioria dos resultados se apresentou abaixo do limite de quantificação do método analítico e, por esse motivo, não foram representados graficamente. As concentrações quantificáveis ficaram abaixo do VMP e ocorreram majoritariamente nos meses relativos ao período seco.

Durante todo o período avaliado, houve ultrapassagem do VMP apenas no ponto PASU-BH1 (5 desvios em 260 amostras), nos valores de 0,039 mg/L, 0,0015 mg/L e 0,0014 mg/L e no ponto PASU-DIQUE2 (1 desvio em 90 amostras) no valor de 0,0101 mg/L. Verifica-se que as ultrapassagens ocorreram em pontos localizados no ribeirão Ferro- Carvão e os demais resultados estiveram em acordo com a legislação.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Para o Cádmio Dissolvido, a DN COPAM nº08/2022 não estabelece valor máximo permitido. Todos os resultados se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,0003 mg/L), portanto, o parâmetro também não está apresentado graficamente.

viii Chumbo

O chumbo é um metal cinza-azulado encontrado em pequenas quantidades na crosta terrestre, geralmente associado a minérios, principalmente aos que contêm zinco.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o VMP para Chumbo Total de 0,01 mg/L. Observa-se, a partir da Figura 1-93, que há grande variação dos resultados ao longo de todo o período analisado, com teores que ultrapassaram o limite máximo estabelecido pela legislação em todos os cursos d'água avaliados. De modo geral, o Chumbo Total, apresentou comportamento ao longo do tempo semelhante ao Ferro Total e Alumínio Total. As ocorrências de Chumbo Total podem estar relacionadas à geologia local, uma vez que esses metais estão presentes no solo e sedimento dessa região, conforme apresentado no Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba (ARCADIS, 2022), sendo disponibilizados nos aportes do período chuvoso e potencializados pelo processo de drenagem e lixiviação dos solos.

Observa-se que as maiores porcentagens de desvios ocorreram nos pontos representativos do ribeirão Ferro-Carvão e do rio Paraopeba. Dados da avaliação da constituição do rejeito confirmam que o chumbo estava presente no rejeito das barragens B-I, B-IV e B-IVA (Geoenviron, 2019), que pode ter influenciado nos resultados desconformes mais pronunciados nos referidos cursos d'água.

Para o Chumbo Dissolvido, a DN COPAM nº08/2022 não estabelece valor máximo permitido. Como maioria dos resultados se apresentou abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,002 mg/L), o parâmetro não está apresentado graficamente.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

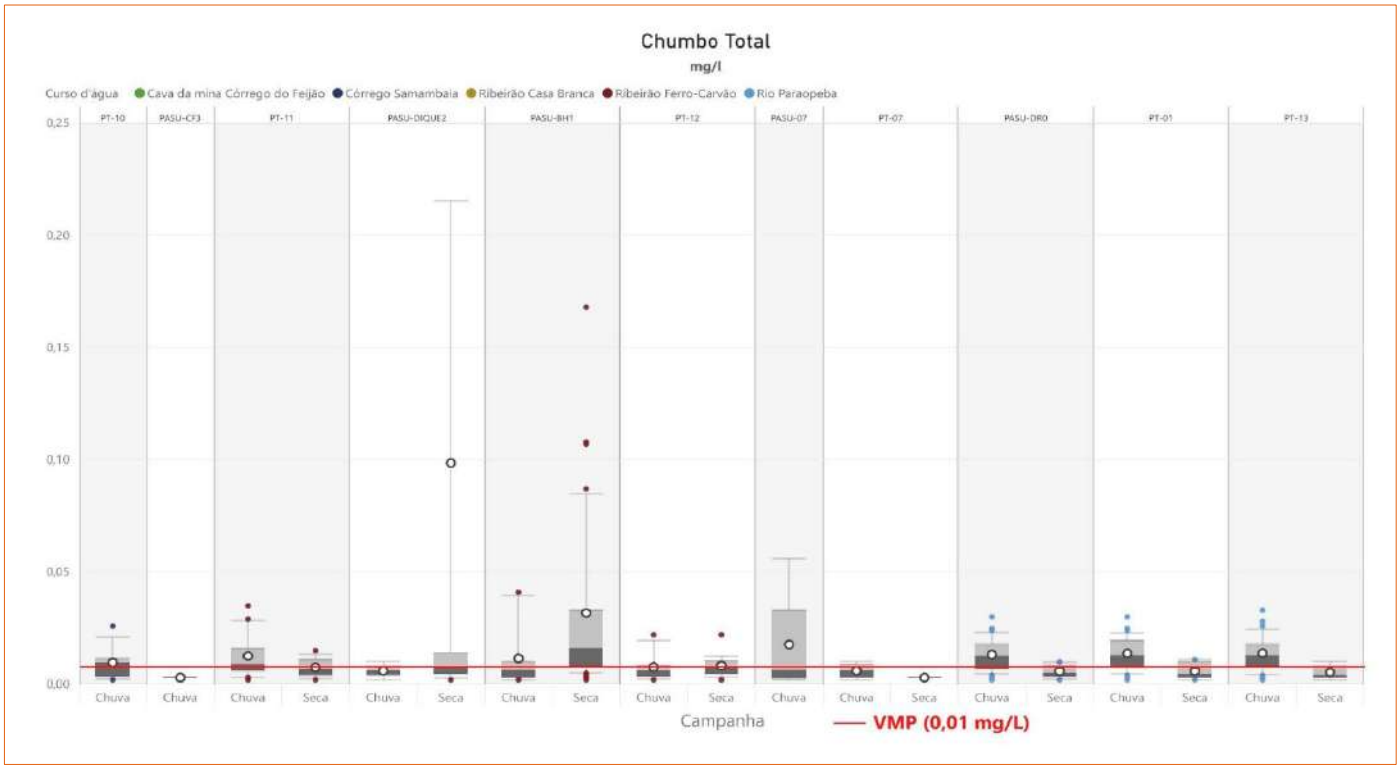


Figura 1-93 - Boxplot dos resultados de Chumbo Total nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

ix Cobalto

O cobalto é um elemento metálico relativamente raro, que ocorre na natureza associado a outros minérios, como prata, chumbo e cobre. A principal utilização é na produção de ligas metálicas. O cobalto é encontrado naturalmente em rochas, solos, águas, plantas e animais em quantidades-traço. As fontes naturais de emissão do composto para a atmosfera são vulcões e incêndios florestais. As fontes antropogênicas incluem queima de combustíveis fósseis, uso de biossólidos e fertilizantes fosfatados, mineração e fundição de minérios contendo cobalto e processos industriais que utilizam compostos de cobalto (CETESB, 2022).

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o valor máximo permitido para Cobalto Total de 0,05 mg/L. A maioria dos resultados se apresentou abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,01 mg/L), portanto, não estão apresentados graficamente. As concentrações quantificáveis ocorreram majoritariamente nos meses mais chuvosos. Durante todo o período avaliado, houve ultrapassagem do VMP apenas nos pontos PASU-BH1 (1 desvio em 88 amostras) e PASU-DIQUE2 (1 desvio em 90 amostras). Os desvios correspondem aos valores de 0,08 mg/L e 0,63 mg/L, respectivamente, e ocorreram em pontos localizados no ribeirão Ferro-Carvão. Todos os demais resultados estiveram em acordo com a legislação.

Para o Cobalto Dissolvido, a DN COPAM nº08/2022 não estabelece valor máximo permitido. Todos os resultados se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico, portanto, o parâmetro também não está apresentado graficamente.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

x Cobre

O cobre é um metal pesado, amplamente distribuído na natureza. Os compostos de cobre são usados na agricultura, no tratamento da água para controle de algas (sulfato de cobre pentahidratado), na preservação de madeira, couro e tecido e como aditivo em alimentos. É um elemento essencial para a vida, entretanto, em mesmo em baixas concentrações podem provocar respostas tóxicas à comunidade aquática, incluindo bactérias, fitoplâncton, larvas de caranguejo e copépodes (ESTEVES, 2011).

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o VMP de 0,009 mg/L para o Cobre Dissolvido e não estabelece VMP para Cobre Total. A maioria dos resultados se apresentou abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,001 mg/L) para ambas as frações de Cobre, portanto, não estão apresentados graficamente. As concentrações quantificáveis ocorreram nos períodos seco e chuvoso, porém, em maior proporção nos meses representativos de estações mais chuvosas.

Durante todo o período avaliado, foi observado apenas 1 desvio em 285 amostras avaliadas para Cobre Dissolvido, que corresponde a concentração de 0,017 mg/L e os demais resultados estiveram em acordo com a legislação, conforme apresentado na Figura 1-94. Dessa forma, a ultrapassagem é considerada pontual e ocorreu no ponto PT-13, localizado no rio Paraopeba, a aproximadamente 200 m a jusante do ribeirão Ferro-Carvão.

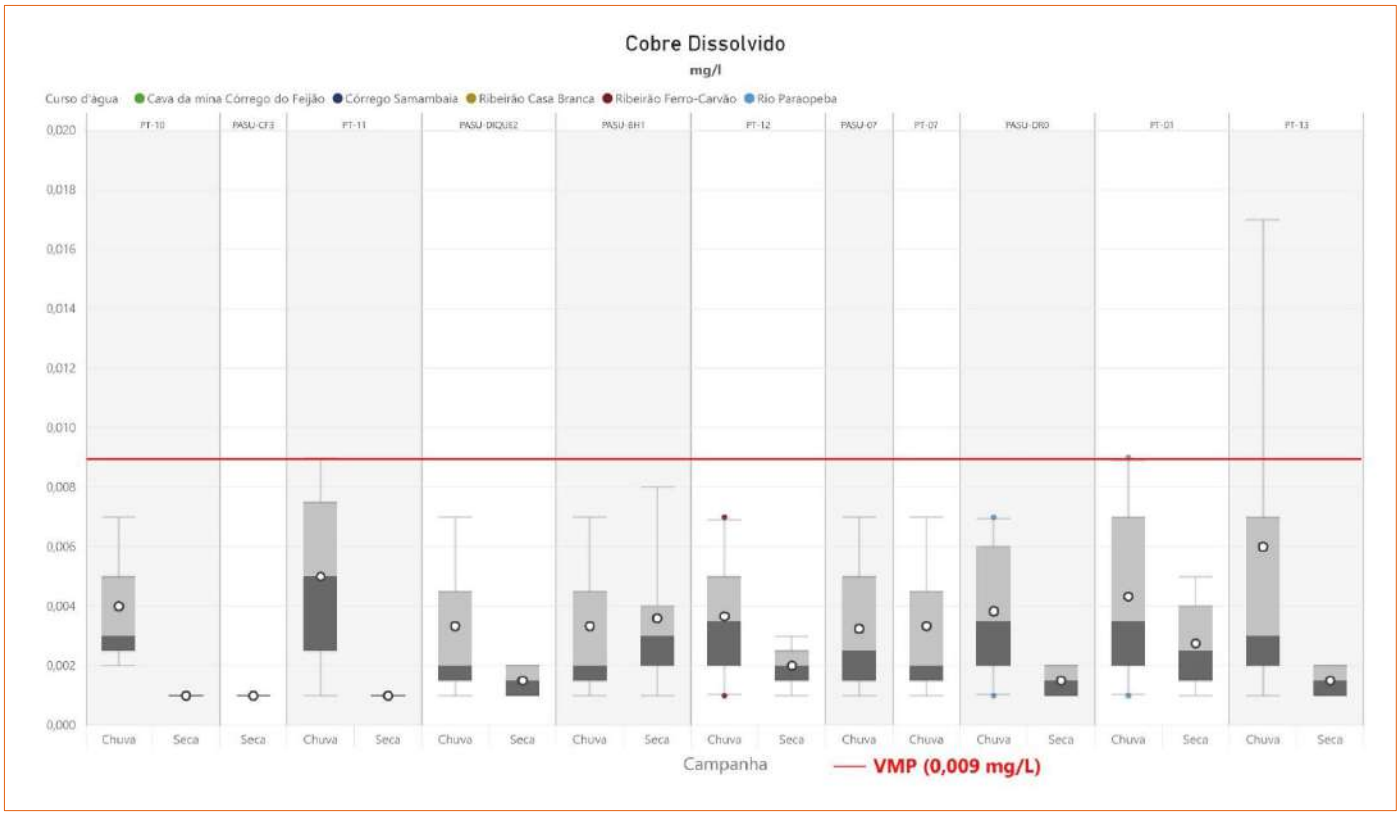


Figura 1-94 - Boxplot dos resultados de Cobre Dissolvido nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

xi Cromo

O cromo é um elemento metálico, encontrado principalmente nas formas trivalente e hexavalente. Sais de cromo são raramente encontrados nas águas naturais, de modo que, quando estão presentes na água, são oriundos de poluição por despejos industriais.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o VMP de 0,05 mg/L para o parâmetro Cromo Total. A maioria dos resultados se apresentou abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,01 mg/L), dessa forma, não estão apresentados graficamente. As concentrações quantificáveis ocorreram majoritariamente nos meses relativos ao período chuvoso. Durante todo o período avaliado, foi observado apenas 1 desvio em 513 amostras avaliadas, que corresponde ao valor de 0,07 mg/L. A ultrapassagem ocorreu no ponto PT-01, localizado no rio Paraopeba a montante da confluência do ribeirão Ferro-Carvão e a jusante do lançamento da ETAF2. Todos os demais resultados estiveram em acordo com a legislação, portanto, observa-se que se trata de um desvio pontual, pois não foi detectado de maneira recorrente.

Para o Cromo Dissolvido, a DN COPAM nº08/2022 não estabelece valor máximo permitido. Todos os resultados se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,01 mg/L), portanto, o parâmetro também não está apresentado graficamente.

xii Ferro

O ferro solubilizado nos corpos d'água não tem potencial tóxico em pequenas quantidades, porém pode causar interferência na coloração, sabor e odor das águas e ocasionar manchas. O ferro aparece principalmente em águas subterrâneas devido a dissolução do minério pelo gás carbônico da água e sua origem natural está relacionada à dissolução de compostos do solo e rochas.

De acordo com a Deliberação Normativa COPAM/CERH 01 de 2008, o Ferro Dissolvido deve ser encontrado em águas doces de classe 2 em teor máximo de 0,3 mg/L. A partir da Figura 1-95, observa-se que a maioria das concentrações obtidas esteve acima do limite estabelecido pela legislação ambiental, resultados que podem estar associados à dissolução do metal, que tem presença marcante nas rochas da região e são característicos do *background* natural de todo o Quadrilátero Ferrífero (VICQ *et al*, 2015).

Além disso, as chuvas também provocam aumento de nível e vazão dos cursos d'água, favorecendo a ressuspensão do material depositado no leito dos cursos d'água, incluindo o rejeito decorrente do rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA, que tem o ferro como elemento majoritário em sua composição. As amostras analisadas no Estudo de Caracterização Geoquímica do rejeito apresentaram cerca de 71 a 78% de óxido de ferro (Fe_2O_3) (Geoenviron, 2019).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

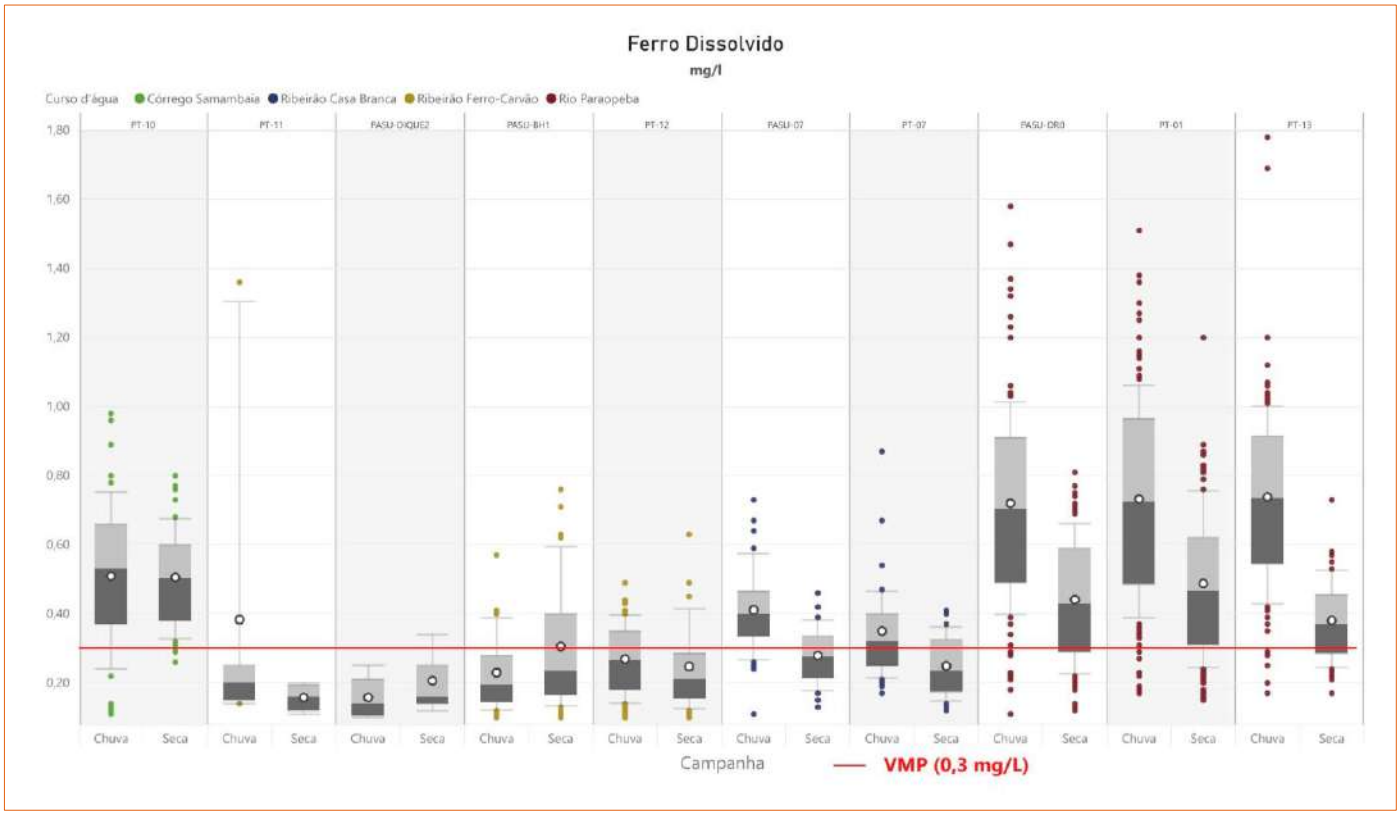


Figura 1-95 - Boxplot dos resultados de Ferro Dissolvido nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Ressalta-se que a Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022, não estabelece VMP para Ferro Total. O referido parâmetro também apresentou resultados mais expressivos de suas concentrações nos pontos avaliados no ribeirão Ferro-Carvão e no rio Paraopeba, principalmente nos meses relacionados ao período chuvoso, corroborando as concentrações observadas para Ferro Dissolvido.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

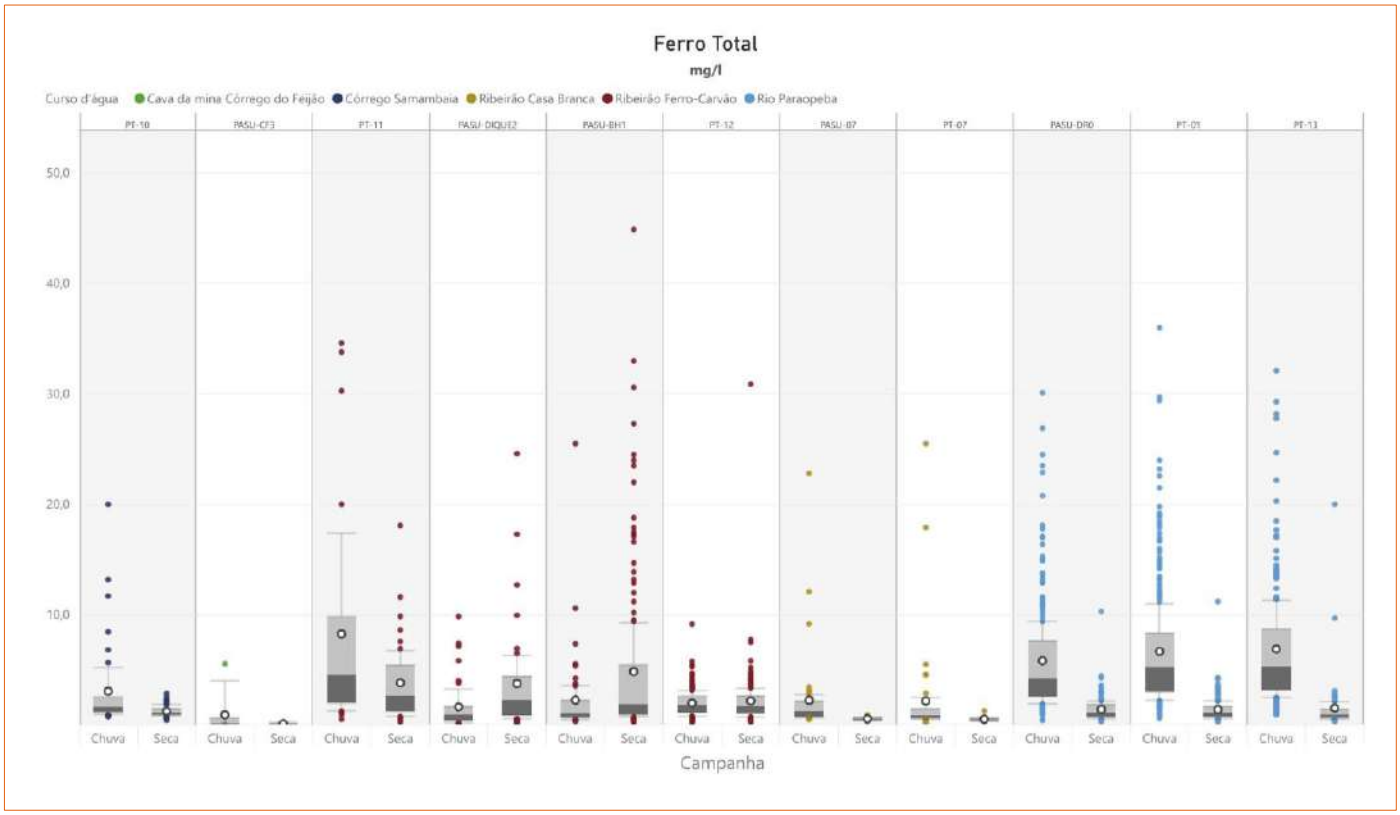


Figura 1-96 - Boxplot dos resultados de Ferro Total nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

xiii Manganês

Na água, o manganês ocorre nas formas dissolvida e suspensa, que variam conforme pH e potencial redox. A água subterrânea anaeróbia frequentemente contém níveis elevados de manganês dissolvido. Em rios, o manganês é transportado adsorvido a partículas suspensas dos sedimentos. Os aspectos relacionados à ocorrência do manganês nas águas naturais são muito semelhantes aos aspectos relacionados à ocorrência do ferro, pois ambos os metais originam-se da dissolução de rochas normalmente associadas. As não conformidades de manganês e ferro podem estar associadas às atividades minerárias e a contribuições de origem difusa.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o valor máximo para Manganês Total de 0,1 mg/L e não estabelece VMP para Manganês Dissolvido. Os resultados das análises estão apresentados na Figura 1-98 e na Figura 1-99, respectivamente. Observa-se que a maioria dos resultados se apresentou acima do VMP para Manganês Total. Segundo Viglio e Cunha (2018), o Manganês, assim como o Ferro, é naturalmente abundante nos solos e sedimentos na região do Quadrilátero Ferrífero, demonstrando a existência de contribuições relevantes desses metais na área de estudo, o que justifica os desvios observados em todo os pontos amostrais. Em situações análogas ao Ferro, a deposição de rejeitos também pode ter contribuído para elevação dos teores de Manganês além dos níveis de ocorrência natural no ribeirão Ferro-Carvão e no rio Paraopeba, regiões afetadas pelo rompimento das barragens B-I, B4 e B4-A. Observa-se também que há grande influência da sazonalidade nos resultados, em função do expressivo

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

volume pluvial e consequente aumento de vazão nos períodos chuvosos, que provocam ressuspensão do sedimento contendo rejeito depositado no leito dos cursos d'água.

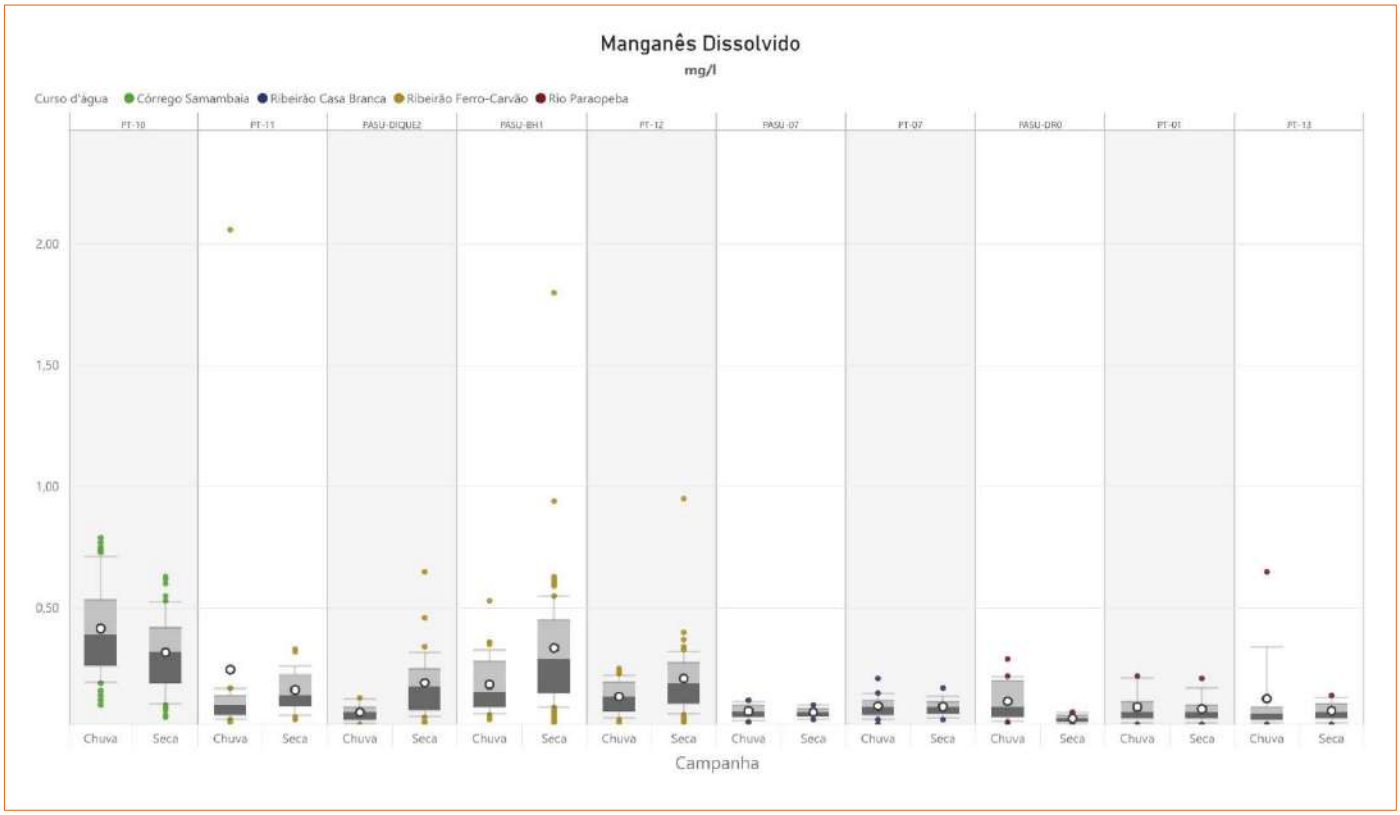


Figura 1-97 - Boxplot dos resultados de Manganês Dissolvido nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

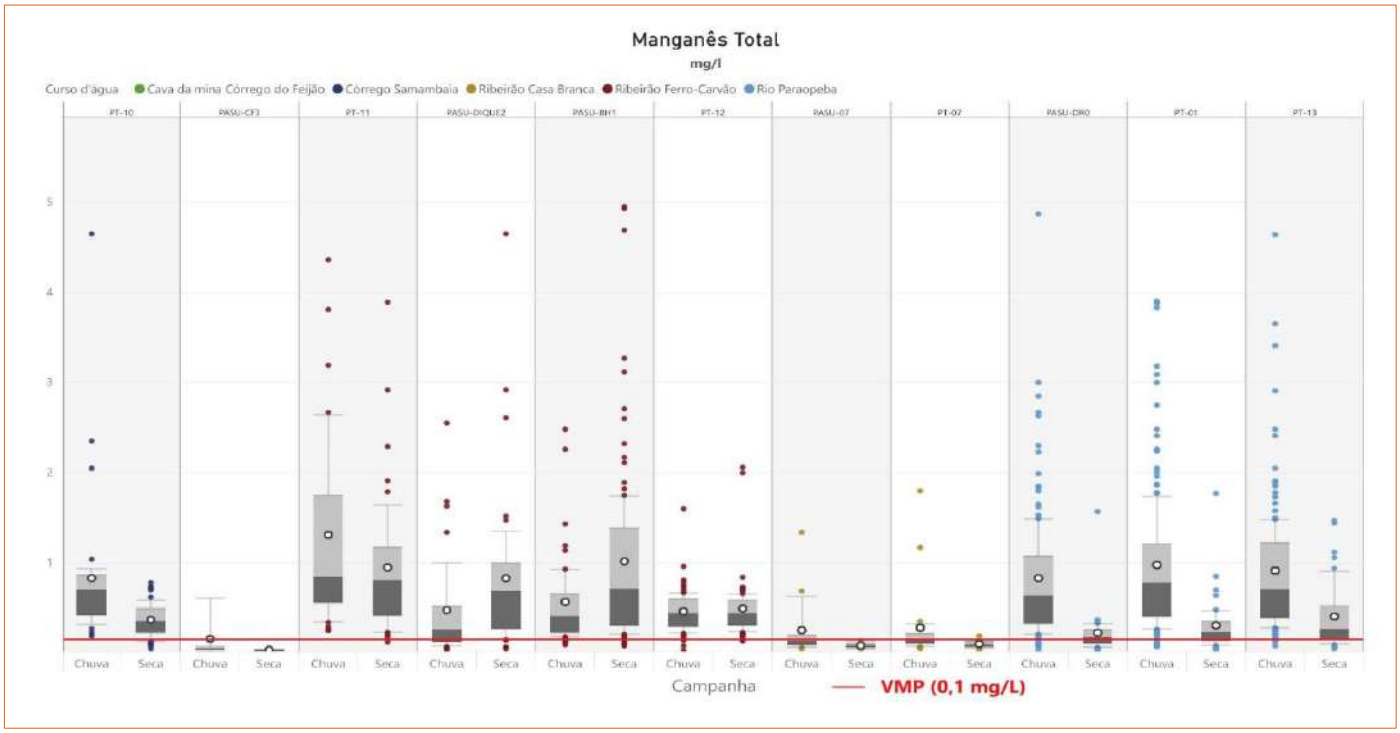


Figura 1-98 - Boxplot dos resultados de Manganês Total nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

xiv Mercúrio

Segundo CETESB (2022), o mercúrio é usado na produção eletrolítica do cloro, em equipamentos elétricos, amalgamas e como matéria prima para compostos de mercúrio. No Brasil também foi amplamente utilizado em garimpos para extração do ouro. As concentrações geralmente estão abaixo de 0,5 µg/L, embora depósitos de minérios possam elevar a concentração. Entre as fontes antropogênicas de mercúrio no meio aquático destacam-se as indústrias cloro-álcali de células de mercúrio, vários processos de mineração e fundição, efluentes de estações de tratamento de esgotos, indústrias de tintas etc.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o VMP de 0,0002 mg/L para o Mercúrio Total e não estabelece valor máximo permitido para o Mercúrio Dissolvido. Os parâmetros não estão apresentados graficamente, pois todos os resultados se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,0002 mg/L), portanto, em acordo com a legislação aplicável.

xv Níquel

O níquel e seus compostos são utilizados em galvanoplastia, na fabricação de aço inoxidável, manufatura de baterias Ni-Cd, moedas, pigmentos, entre outros usos. Concentrações de níquel em águas superficiais naturais podem chegar a 0,1 mg/L e valores elevados podem ser encontrados em áreas de mineração.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o VMP de 0,025 mg/L para o parâmetro Níquel Total. A maioria dos resultados se apresentou abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,01 mg/L), dessa forma, não estão apresentados graficamente. As concentrações quantificáveis ocorreram nos períodos seco e chuvoso, porém, em maior proporção nos meses representativos de estações mais chuvosas.

Durante todo o período avaliado, houve ultrapassagem do VMP no ponto PASU-BH1 (5 desvios em 260 amostras), nos valores de 0,03 mg/L, 0,06 mg/L e 0,09 mg/L, no ponto PASU-DIQUE2 (1 desvio em 90 amostras) no valor de 0,56 mg/L e no ponto PT-01 (1 desvio em 513 amostras) no valor de 0,05 mg/L. Verifica-se que as ultrapassagens ocorreram em pontos localizados no ribeirão Ferro- Carvão e no rio Paraopeba. Os demais resultados estiveram em acordo com a legislação, portanto, observa-se que se trata de um desvio pontual, pois não foram detectados de maneira recorrente.

Para o Níquel Dissolvido, a DN COPAM nº08/2022 não estabelece valor máximo permitido. Todos os resultados se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,01 mg/L), portanto, o parâmetro também não está apresentado graficamente.

xvi Zinco

Em águas superficiais, normalmente as concentrações de zinco estão na faixa de <0,001 a 0,10 mg/L. O zinco é largamente utilizado na indústria e pode entrar no meio ambiente através de processos naturais e antropogênicos, entre os quais destacam-se a produção de zinco primário, combustão de madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço, efluentes domésticos.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o VMP de 0,18 mg/L para o Zinco Total e não estabelece VMP para Zinco Dissolvido. A maioria dos resultados se apresentou abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,02 mg/L) para ambas as frações de Zinco, portanto, não estão apresentados graficamente. As concentrações quantificáveis ocorreram nos períodos seco e chuvoso, porém, em maior proporção nos meses representativos de estações mais chuvosas.

Durante todo o período avaliado, houve ultrapassagem do VMP no ponto PASU-CF3 (1 desvio em 50 amostras), no valor de 0,42 mg/L, no ponto PASU-DIQUE2 (1 desvio em 90 amostras) no valor de 0,31 mg/L, PT-12 (1 desvio em 430 amostras) no valor de 0,43 mg/L e no ponto PT-01 (2 desvios em 513 amostras) nos valores de 0,25 mg/L e 0,26 mg/L. Verifica-se que as ultrapassagens ocorreram em pontos localizados na cava da Mina Córrego do Feijão, no ribeirão Ferro- Carvão e no rio Paraopeba. Os demais resultados estiveram em acordo com a legislação, portanto, observa-se que se tratam de desvios pontuais, pois não foram detectados de maneira recorrente.

c. Série de sólidos, Cor verdadeira e Turbidez

Destaca-se que os parâmetros englobados nesse tópico são os principais indicadores de carreamento de sólidos e sedimentos para cursos d'água. Segundo CETESB (2022) os sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Os parâmetros Sólidos totais, Sólidos dissolvido totais e Sólidos suspensos totais estão diretamente associados às concentrações de Cor verdadeira e Turbidez. Vale ressaltar que no estado de Minas Gerais é comum o aumento na concentração de sólidos suspensos nas águas superficiais durante os meses de outubro a março, decorrente do período de chuvas intensas (SPERLING, 2014).

xvii Sólidos dissolvidos totais e Cor verdadeira

Os sólidos totais presentes nas águas naturais podem ser segregados em sólidos suspensos e dissolvidos. A parcela dissolvida dos sólidos haverá de conferir principalmente cor às águas naturais. Pode ser resultado da presença de íons dissolvidos nas águas (principalmente ferro e manganês) e de substâncias orgânicas dissolvidas (Ex.: ácidos fúlvicos e húmicos) CETESB (2022).

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o VMP de 500 mg/L para o parâmetro Sólidos Dissolvidos. Durante todo o período avaliado, apenas o ponto PT-12 apresentou desconformidade, onde foi observado 1 desvio em 454 amostras avaliadas para Sólidos Dissolvidos, que corresponde a concentração de 618 mg/L. Os demais resultados estiveram em acordo com a legislação, conforme apresentado na Figura 1-99. Dessa forma, a ultrapassagem é considerada como um outlier, uma vez que não ocorreu novamente, além de também ter sido um valor muito discrepante em relação aos demais. Observa-se ainda que as concentrações mais elevadas são referentes aos pontos localizados no ribeirão Ferro-Carvão e no rio Paraopeba.

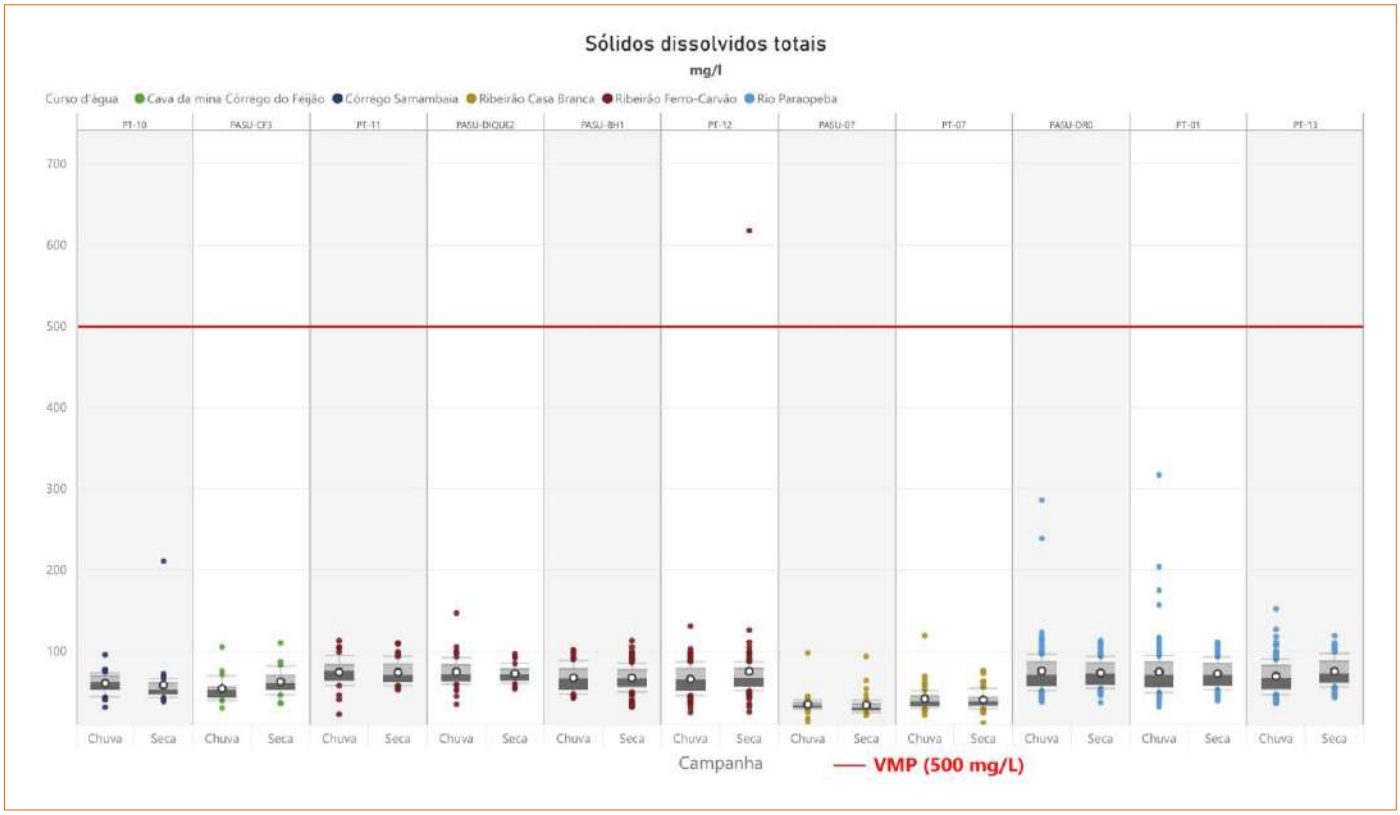


Figura 1-99 - Boxplot dos resultados de Sólidos Dissolvidos Totais nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Para o parâmetro Cor verdadeira, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o VMP de 75 mg/L. Observa-se, a partir da Figura 1-100, que a maioria dos resultados se encontra abaixo do VMP, com alguns valores, que embora também tenham sido considerados como outliers, ultrapassaram o limite máximo estabelecido principalmente nos pontos localizados no rio Paraopeba. De modo geral, a série histórica mostra uma tendência de aumento das concentrações no período de chuva e uma redução no período de estiagem, corroborando os resultados das frações dissolvidas de ferro e manganês, que também estiveram mais altos durante as chuvas.

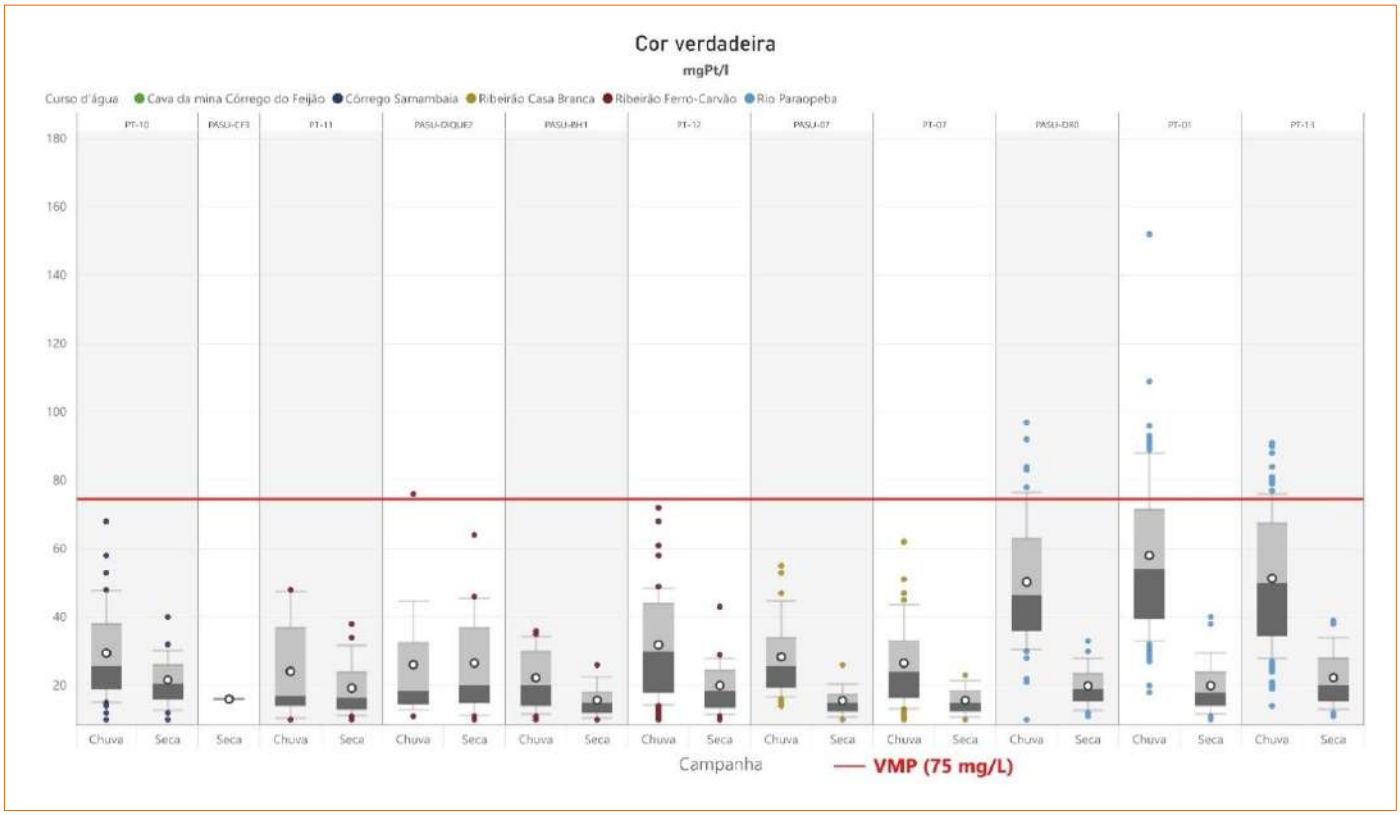


Figura 1-100 - Boxplot dos resultados de Cor Verdadeira nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

xviii Sólidos sedimentáveis

O parâmetro 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.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 não estabelece VMP para Sólidos Sedimentáveis Totais. Muitos valores se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico (0,3 mg/L), com medianas também próximas a esse valor em todos os pontos analisados. Conforme Figura 1-101, nos pontos PASU-DIQUE2 e PASU-BH1 ocorreram teores mais elevados do parâmetro, os quais foram considerados como outliers, uma vez que não foram recorrentes.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

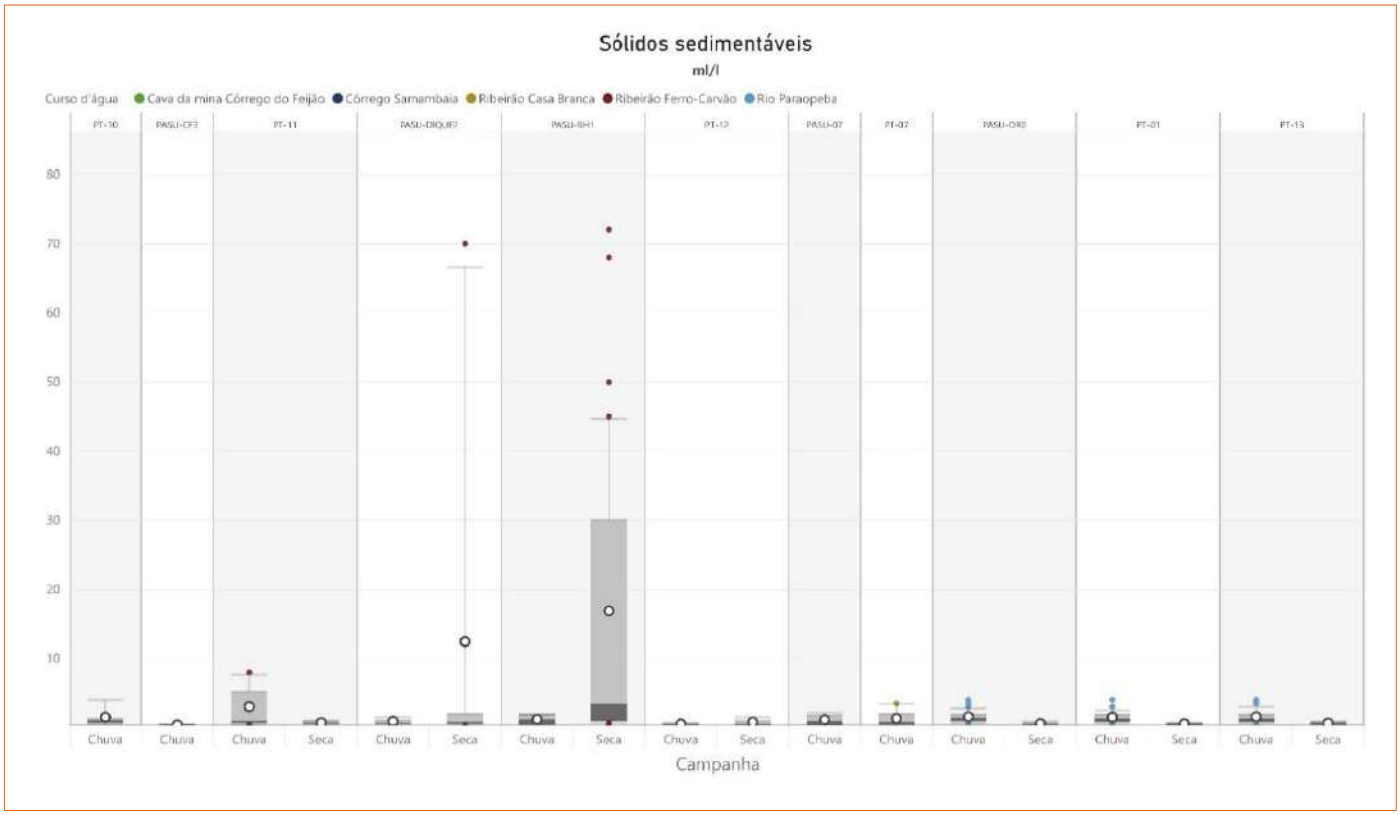


Figura 1-101 - Boxplot dos resultados de Sólidos Sedimentáveis nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

xix Sólidos suspensos totais (SST) e Turbidez

Segundo CETESB (2022), os sólidos suspensos totais estão relacionados a toda matéria que permanece como resíduo. A turbidez, por sua vez, representa o grau de interferência à passagem de luz que ocorre ao atravessar a água, devido a presença de sólidos em suspensão. A origem da turbidez e a presença de sólidos totais em suspensão estão relacionados, em sua maioria a processos naturais, tais como a erosão, atividade microbiana e a liberação de detritos orgânicos, embora a origem relacionada a processos antropogênicos, como lançamento de efluentes, não possa ser descartada.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o VMP de 100 mg/L para Sólidos suspensos totais. A série histórica do parâmetro está apresentada na Figura 1-102 a seguir. Em todos os pontos amostrais, foram observados valores que ultrapassaram o limite, além disso, nota-se que os resultados mais altos ocorreram, principalmente, nos em períodos chuvosos, quando usualmente ocorre aumento do carreamento de sólidos para os cursos d'água. Assim como observado em demais parâmetros, os pontos localizados no ribeirão Ferro-Carvão e o rio Paraopeba apresentaram maior porcentagem de desvios ao longo de todo o período avaliado.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

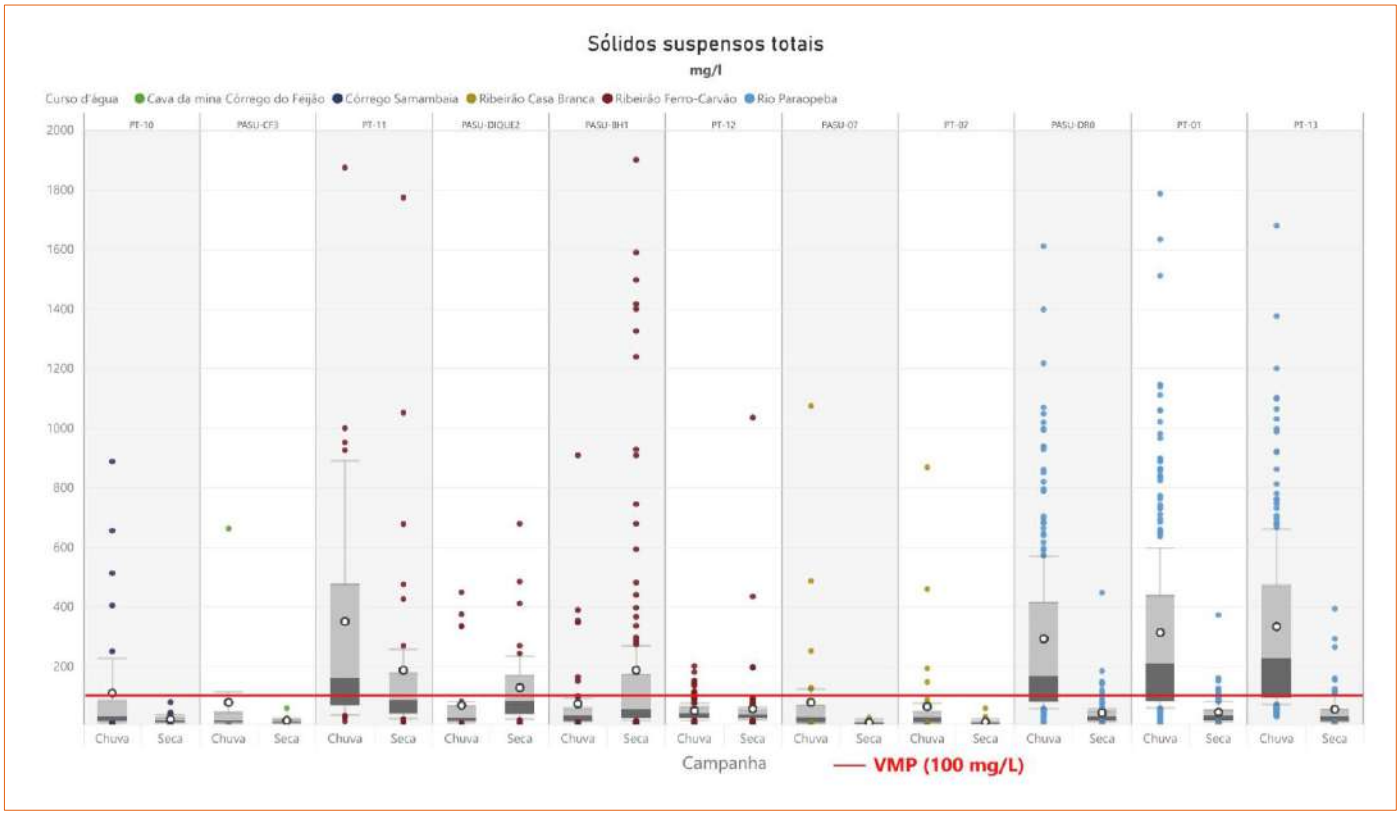


Figura 1-102 - Boxplot dos resultados de Sólidos Suspensos Totais (SST) nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 estabelece o VMP de 100 NTU para Turbidez. De acordo com a Figura 1-103, os resultados obtidos para o parâmetro turbidez apresentaram comportamento análogo ao parâmetro sólidos suspensos totais, conforme esperado.

Os parâmetros turbidez e sólidos suspensos totais estão correlacionados e têm seus resultados influenciados, principalmente, pela ocorrência de precipitações, que promove o aumento da vazão e consequentemente o turbilhonamento da coluna d'água, promovendo a ressuspensão do material particulado depositado no leito dos cursos d'água. Somado a isso, o ribeirão Ferro-Carvão foi o curso d'água mais impactado após o rompimento das barragens, o que alterou bastante os teores desses parâmetros devido à grande quantidade de sólidos presentes na água. O extravasamento do rejeito para o ribeirão Ferro-Carvão e, em sequência, para o rio Paraopeba, provocou alterações na qualidade da água que puderam ser acompanhadas temporal e espacialmente, principalmente a partir de elevações expressivas na turbidez, sólidos suspensos totais e das concentrações de alguns metais, especialmente alumínio, ferro e manganês.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

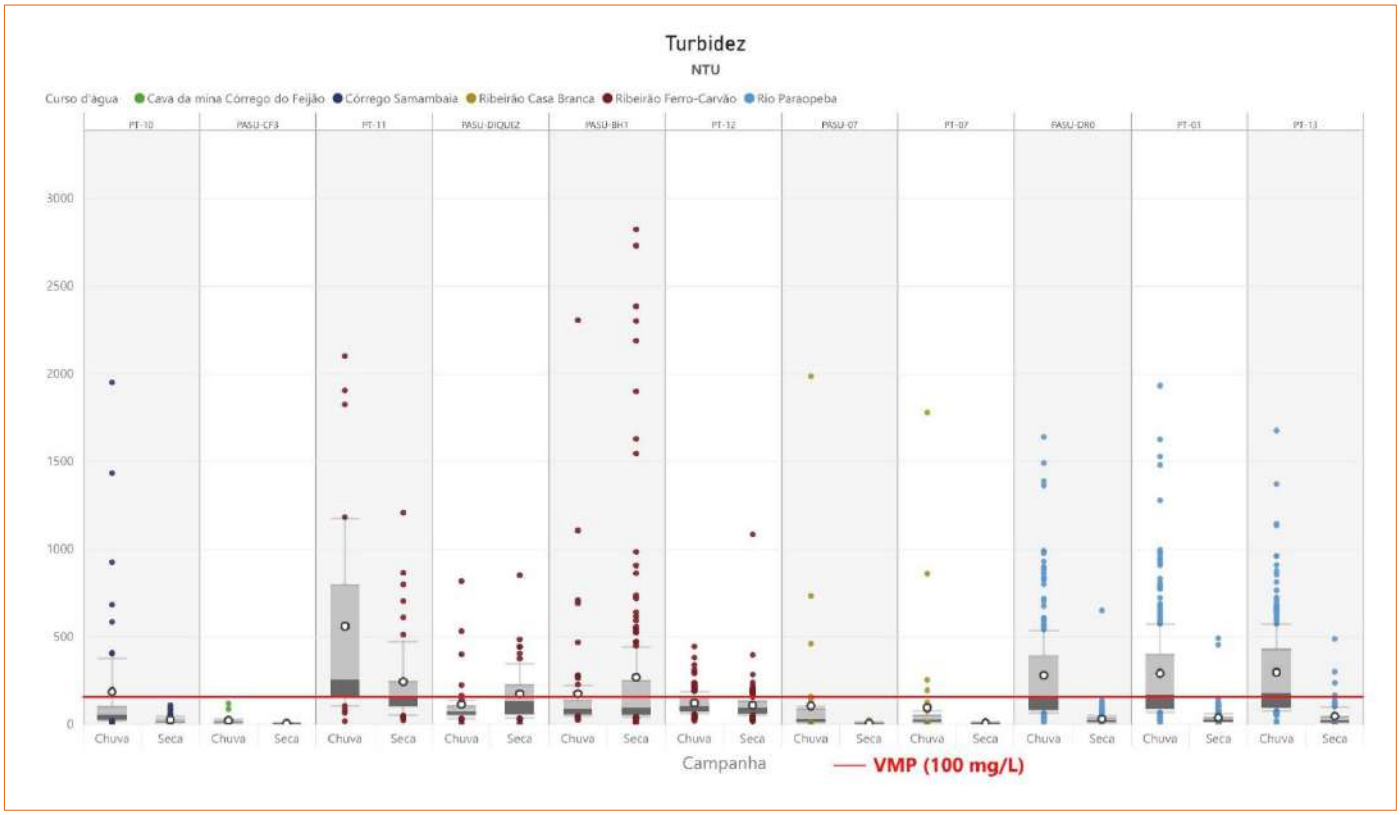


Figura 1-103 - Boxplot dos resultados de Turbidez nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

xx Sólidos totais

O parâmetro Sólidos totais é também denominado resíduo total. A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 não estabelece VMP para o parâmetro. A Figura 1-104 apresenta os resultados obtidos ao longo de todo o período avaliado.

O período chuvoso influencia fortemente a qualidade da água na bacia como um todo, de forma que os processos de escoamento superficial e lixiviação se intensificam, aumentando o aporte de material particulado, dissolvido e dos sedimentos nos cursos d'água, consequentemente, foram observados incrementos nos resultados de sólidos totais. Corroborando os resultados obtidos para a série de sólidos, as concentrações mais elevadas se deram no ribeirão Ferro-Carvão e rio Paraopeba.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

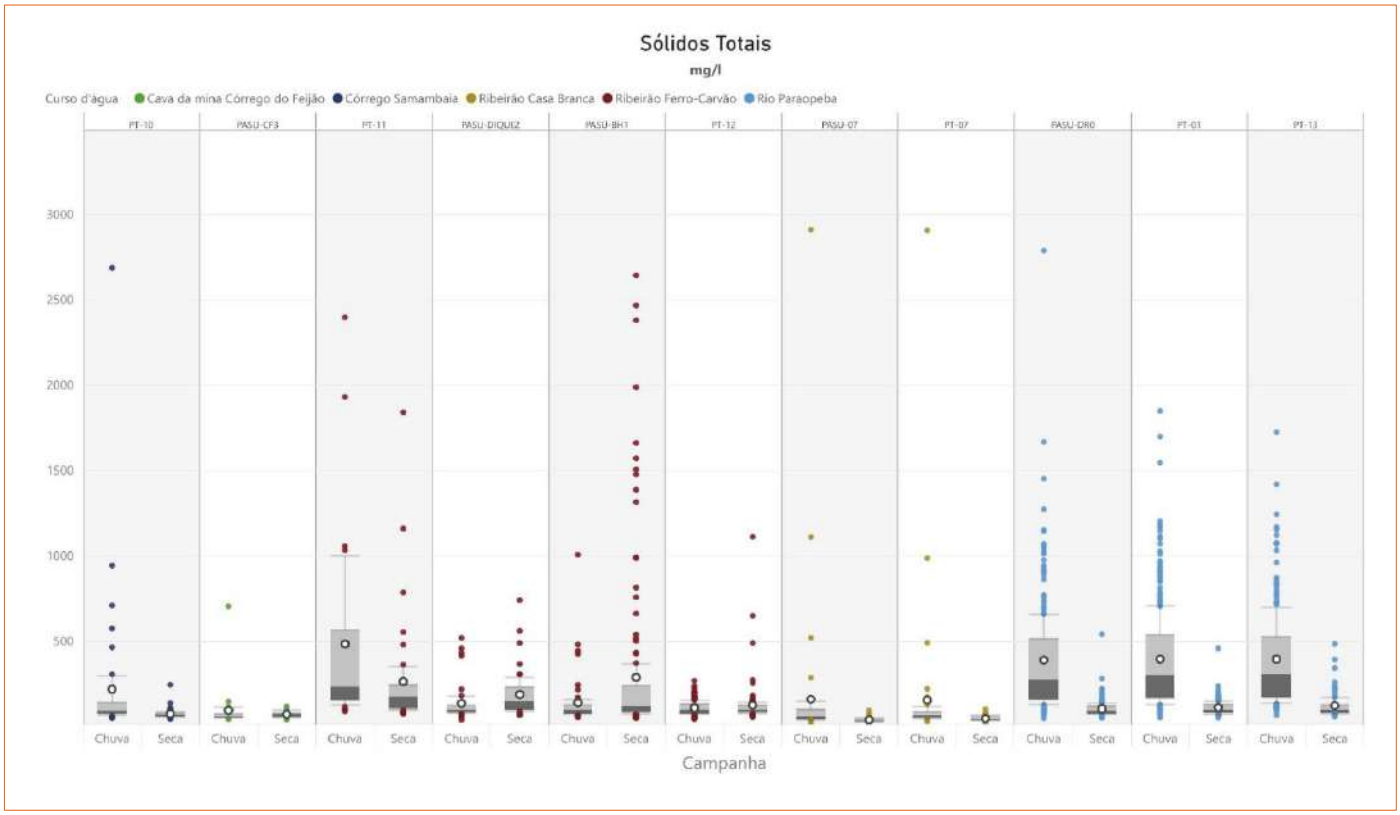


Figura 1-104 - Boxplot dos resultados de Sólidos Totais nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

d. Carga orgânica

xxi Demanda bioquímica de oxigênio

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de uma amostra de água está relacionada à quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por meio de decomposição biológica aeróbia, formando subprodutos na forma inorgânica estável. Nesse contexto, a DBO representa a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período, numa temperatura de incubação específica. Os maiores incrementos nos níveis de DBO nos cursos d'agua são provocados por lançamentos de origem orgânica (CETESB, 2022).

Desta forma, os valores de DBO representam de forma indireta a concentração de matéria orgânica, sendo um importante parâmetro para caracterização de qualidade da água, e consequente quantificação do grau de poluição delas, sendo muito utilizado para caracterização de águas brutas e tratadas e eficiência de tratamento de água para consumo humano. (SPERLING, 2014).

A Deliberação Normativa da COPAM nº 08/2022 estabelece o valor máximo permitido de 5 mgO_2/L para o parâmetro DBO. A maioria dos resultados se apresentou abaixo do limite de quantificação do método analítico (3,0 mgO_2/L), portanto, não estão apresentados graficamente.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Conforme apresentado na Figura 1-105, as concentrações quantificáveis ocorreram principalmente nos meses representativos de estações mais chuvosas e, durante todo o período avaliado, poucos valores ultrapassaram o VMP. Tais resultados podem ser reflexo do uso e ocupação do solo na bacia de contribuição do Córrego Samambaia, mas ainda assim, a porcentagem de desvios foi muito baixa, demonstrando que ocupação antrópica da região não exerce grande influência no aporte de carga orgânica aos cursos d'água analisados.

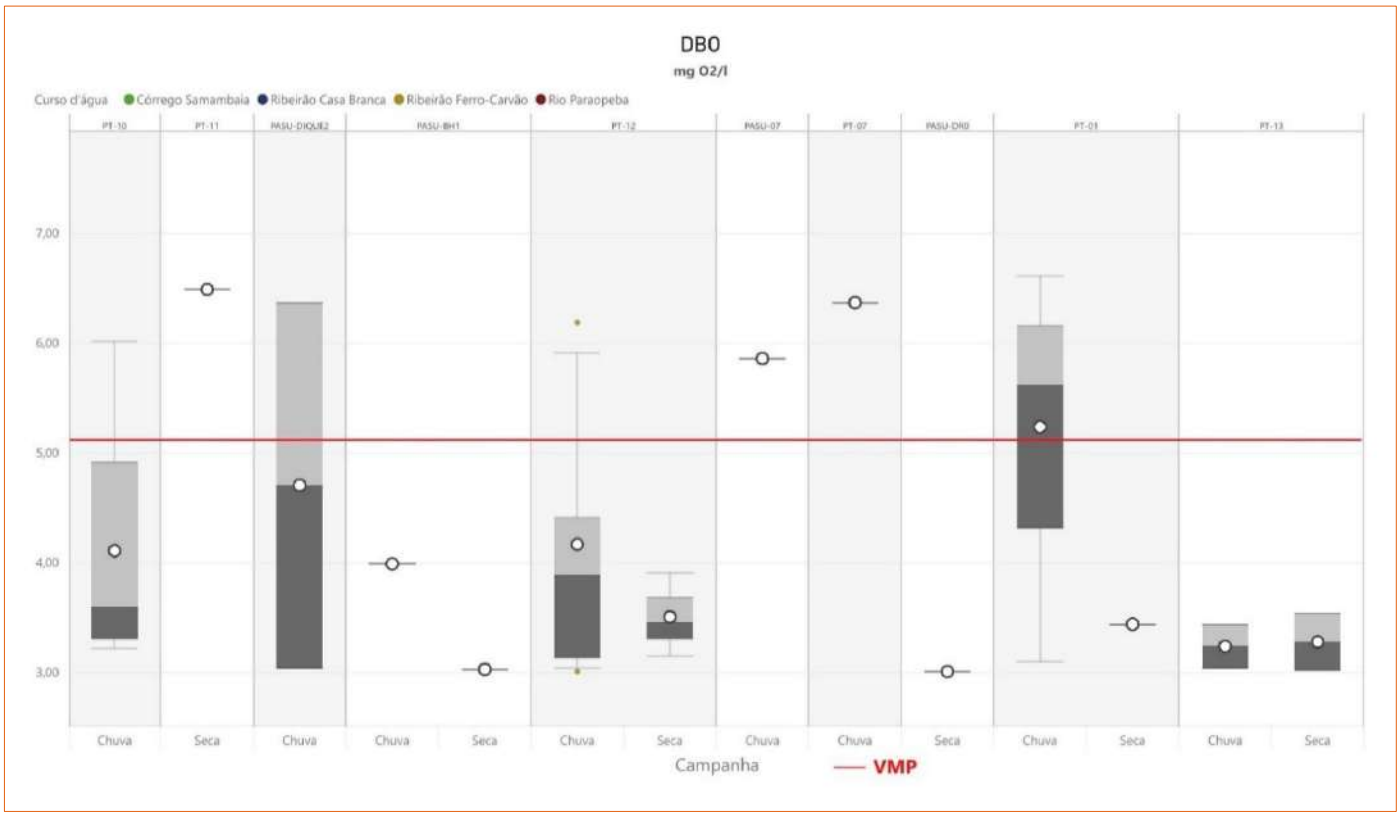


Figura 1-105 - Boxplot dos resultados de DBO nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

xxii Demanda química de oxigênio

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um indicador de matéria orgânica, que se baseia na concentração de oxigênio consumido para oxidar a matéria orgânica, biodegradável ou não, em meio ácido, por ação de um agente químico oxidante forte (CETESB, 2022).

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 não estabelece limite máximo para o parâmetro DQO. A Figura 1-106 a seguir apresenta o gráfico de distribuição dos resultados nos pontos de monitoramento de água superficial. Observa-se que os resultados oscilaram entre valores que se apresentaram abaixo do limite de quantificação (26 mg/l) e valores que ultrapassaram 100 mg/L.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

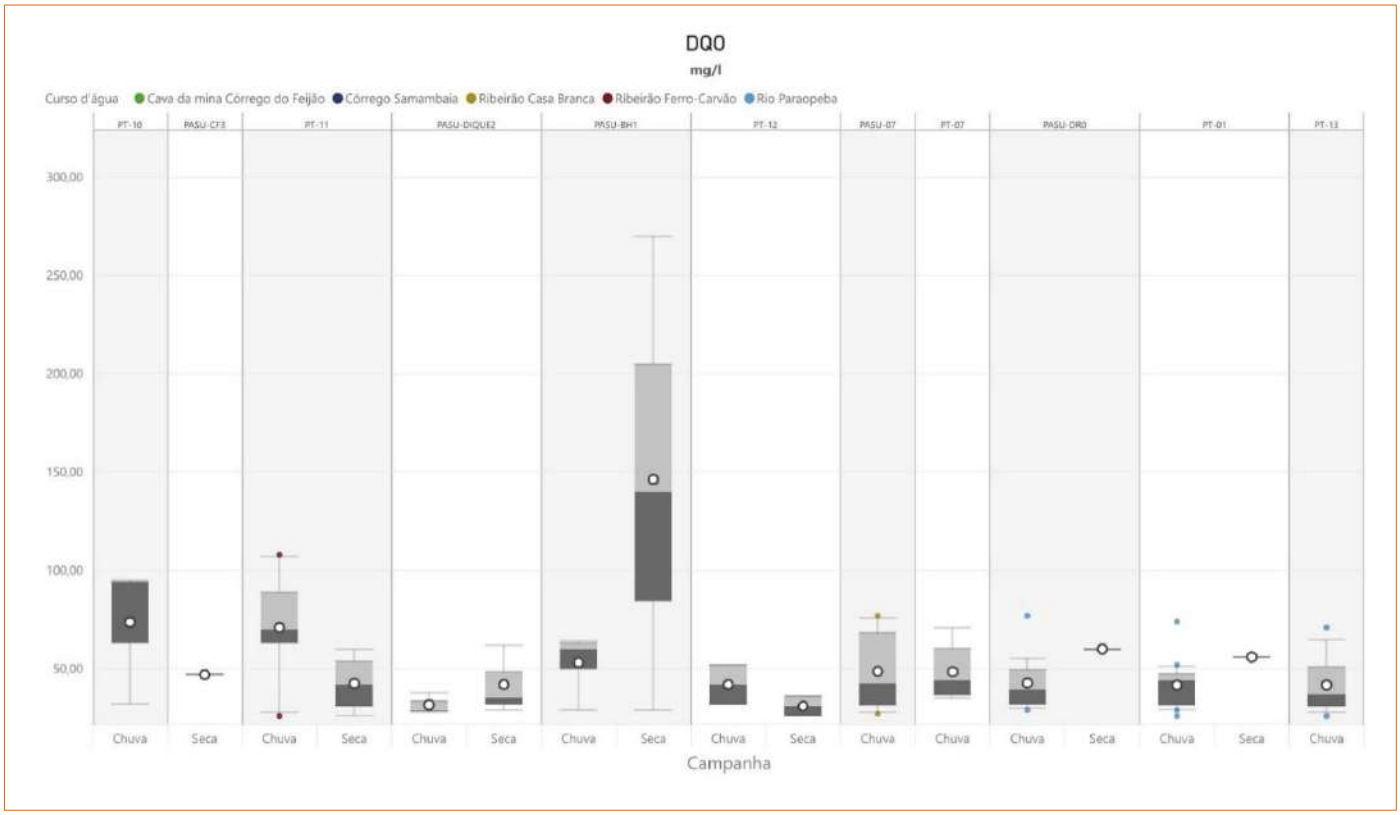


Figura 1-106 - Boxplot dos resultados de DQO nos pontos de água superficial (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

xxiii Óleos e graxas minerais

Os óleos e graxas correspondem às substâncias oleosas de origem mineral, vegetal ou animal. São normalmente oriundos de resíduos industriais, esgotos domésticos, efluentes de oficinas mecânicas, postos de gasolinas, estradas e vias. Na decomposição desses parâmetros, há redução do oxigênio dissolvido, devido à elevação da DBO e DQO, causando prejuízos à vida aquática. Além disso, estas substâncias promovem a formação de um filme e impedem a transferência de oxigênio do ar para a água, trazendo como consequência um aumento da carga orgânica em corpos d'água (CETESB, 2022).

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 não estabelece VMP para óleos e graxas minerais. O referido parâmetro não está apresentado graficamente, pois todos os resultados se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico (2,5 mg//L), portanto, em acordo com a legislação aplicável.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

B. Qualidade do Efluente

Para caracterizar a qualidade do efluente foi analisado o ponto FEI-BAR-02-E, para o período de janeiro de 2021 a dezembro de 2022, cujo monitoramento é realizado semanalmente no âmbito do Plano de Controle Ambiental de Obras Emergenciais. O ponto de monitoramento FEI-BAR-02-E objetiva monitorar a qualidade do efluente proveniente do vertedouro da barragem Menezes II, que está a jusante da barragem Menezes I.

Conforme apresentado na Tabela 1-36, entre os meses de janeiro de 2021 e dezembro de 2022, os resultados obtidos apresentaram superações aos limites de lançamento estabelecidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022 apenas para os parâmetros Manganês Dissolvido, Sólidos Suspensos Totais, Nitrogênio Amoniacal e pH, com percentuais de desvios baixos, com exceção do manganês dissolvido que mostrou frequente superação ao limite. Os demais parâmetros estiveram em acordo com a legislação e, no geral, a maioria dos resultados se apresentou abaixo do limite de quantificação do método de análise laboratorial, por esse motivo, optou-se pela apresentação dos resultados em forma de tabela.

Tabela 1-36 - Resultados obtidos para o monitoramento de efluente (2021 e 2022)

Parâmetro	VMP	Nº de Amostras	Nº de resultados abaixo do LQ	N° Desvios	% Desvios
Manganês Dissolvido	1	99	1	37	37,37%
Nitrogênio Amoniacal	20	98	96	1	1,02%
pH	-	102	-	10	9,80%
Sólidos suspensos totais	100	102	36	5	4,90%

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

C. Qualidade dos Sedimentos

Nesse tópico serão apresentados e discutidos os dados da qualidade dos sedimentos nas áreas de estudo. Destaca-se que as áreas de estudo regional e local estão inseridas na bacia do rio Paraopeba, e, portanto, recebem contribuições análogas das áreas de montante. Os resultados são apresentados seguindo a ordem dos parâmetros de cunho físico (granulometria), parâmetros químicos dos elementos metálicos e metaloides, série de sólidos e parâmetros orgânicos.

Os valores amostrados foram comparados com os valores orientadores segundo a Resolução Conama nº 454/2012 níveis 1 e 2 e Vicq (2015). A avaliação da série histórica dos resultados de sedimentos contemplou as campanhas secas e chuvosas realizadas nos anos de 2021 e 2022.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

b. Granulometria

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da porcentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Conforme CETESB (2021), quando identificada maior quantidade de sedimentos finos, representados por elevadas quantidades de silte, argila e areia fina, há maior possibilidade de se encontrar contaminantes que possibilitam verificar a qualidade do sedimento presente nos cursos d'água. Dito isso, a classificação, baseada na Escala Granulométrica de Wentworth (1922), é apresentada na Figura 1-107, para os pontos selecionados nas áreas de estudo.

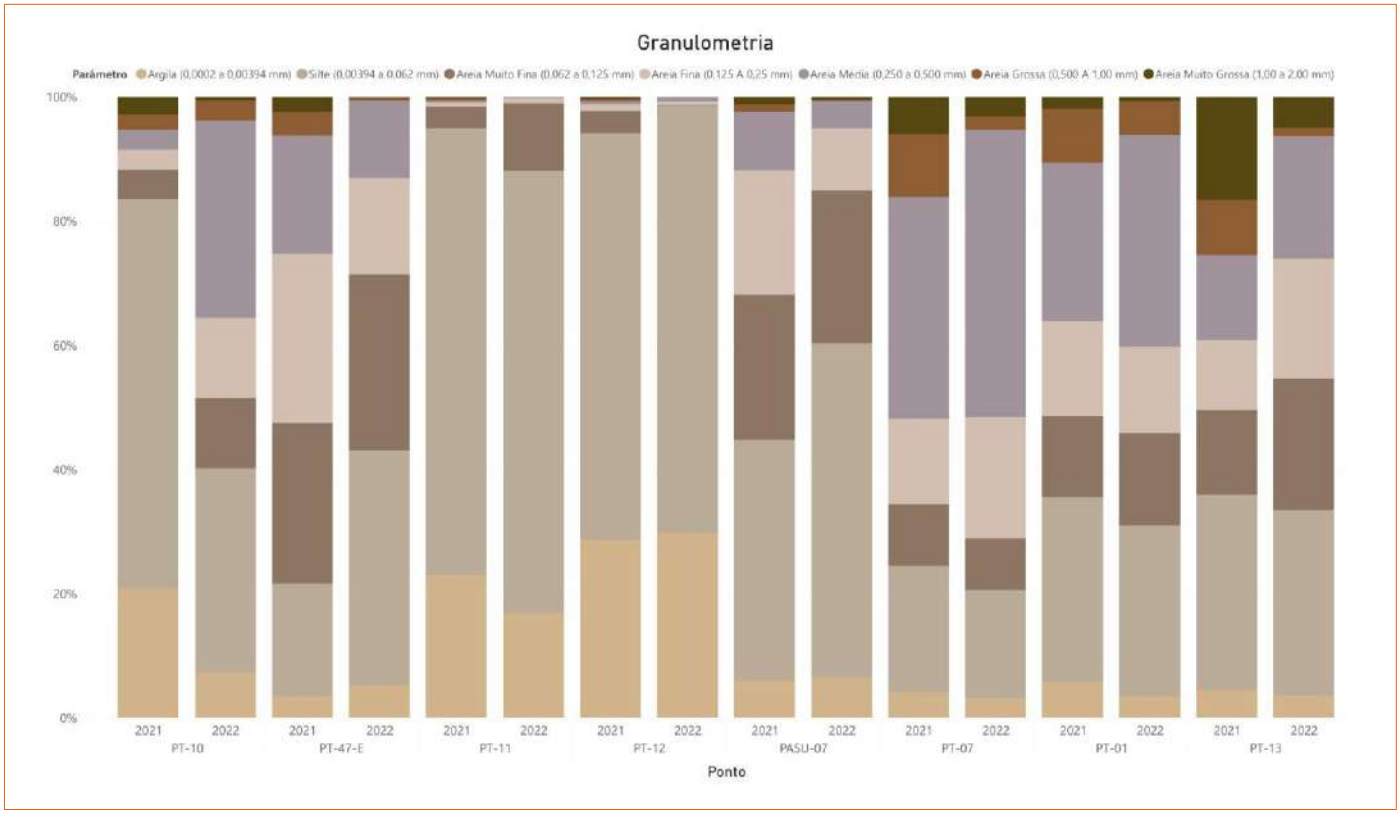


Figura 1-107 - Caracterização granulométrica nos pontos de monitoramento de sedimentos (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

As análises dos resultados em relação a faixa granulométrica dos sedimentos totais coletados nos pontos pertencentes a este diagnóstico, indicam pontos com comportamento granulométrico de domínio de sedimentos nas frações de silte, argila e areia média. Desta forma, estas proporções caracterizam o sedimento presente nas áreas de estudo como mais fino, siltoso e argiloso em maior proporção.

Tais comportamentos ocorrem em função de diferenças nos aspectos hidrológicos e processos de transporte sedimentar, onde a maior ou menor presença de sedimentos nas frações finas (argila e silte) e areia são respostas físicas aos processos atuantes e demais aspectos da bacia sedimentar.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

c. Metais e semimetais

A seguir, é apresentada uma síntese das principais variáveis analisadas, durante as campanhas de amostragem. Na representação gráfica, estão indicados, para cada ponto amostrado, os resultados, além do valor máximo permitido (VOR) pela Resolução CONAMA nº 454/2012 níveis 1 e 2 e os limites conforme Vicq (2015).

O entendimento acerca dos metais e semimetais presentes nas amostras é de extrema importância para a avaliação da qualidade dos sedimentos de fundo e controle da poluição hídrica, uma vez que estes são compostos químicos que podem ser tóxicos para organismos vivos e seres humanos quando presentes em concentrações muito elevadas nos corpos hídricos.

i Alumínio

O alumínio é o elemento metálico mais comum encontrado na crosta terrestre, ocorrendo na forma de silicatos, óxidos e hidróxidos, combinados com outros elementos como sódio e flúor, além de formar complexos com matéria orgânica (CETESB, 2017a).

Uma vez que a Resolução CONAMA nº 454/2012 não estabelece limite para este parâmetro, foi considerado o valor orientador de Vicq (2015), 45.200 mg/kg. Conforme Figura 1-108, observa-se que grande parte dos valores amostrados estão abaixo do limite orientado por Vicq (2015).

Considerando todas as análises realizadas, o analito alumínio na matriz de sedimentos, apresentou apenas dois resultados inconformes aos parâmetros de referência nos pontos PT-10 (período seco) e PT-12 (período chuvoso) localizados no córrego Samambaia e ribeirão Ferro-Carvão, respectivamente. Para este mesmo período nos pontos supracitados calculou-se as maiores medianas dentre os pontos analisados.

Destaca-se que todas as amostras coletadas estão acima do limite quantificável pelo laboratório (LQ). A presença do alumínio em todos os pontos avaliados pode ser justificada pelo fato de que esse elemento está naturalmente presente na matriz geológica local. Além disso, de acordo com o Estudo Caracterização Geoquímica de Rejeitos Fase I (GEOENVIRON, 2019) e Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba (ARCADIS, 2022), o óxido de alumínio (AL_2O_3) compõe cerca de 4,3% da média amostral dos rejeitos originais decorrentes do rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA, por isso a possibilidade de origem antropogênica, não pode ser descartada.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

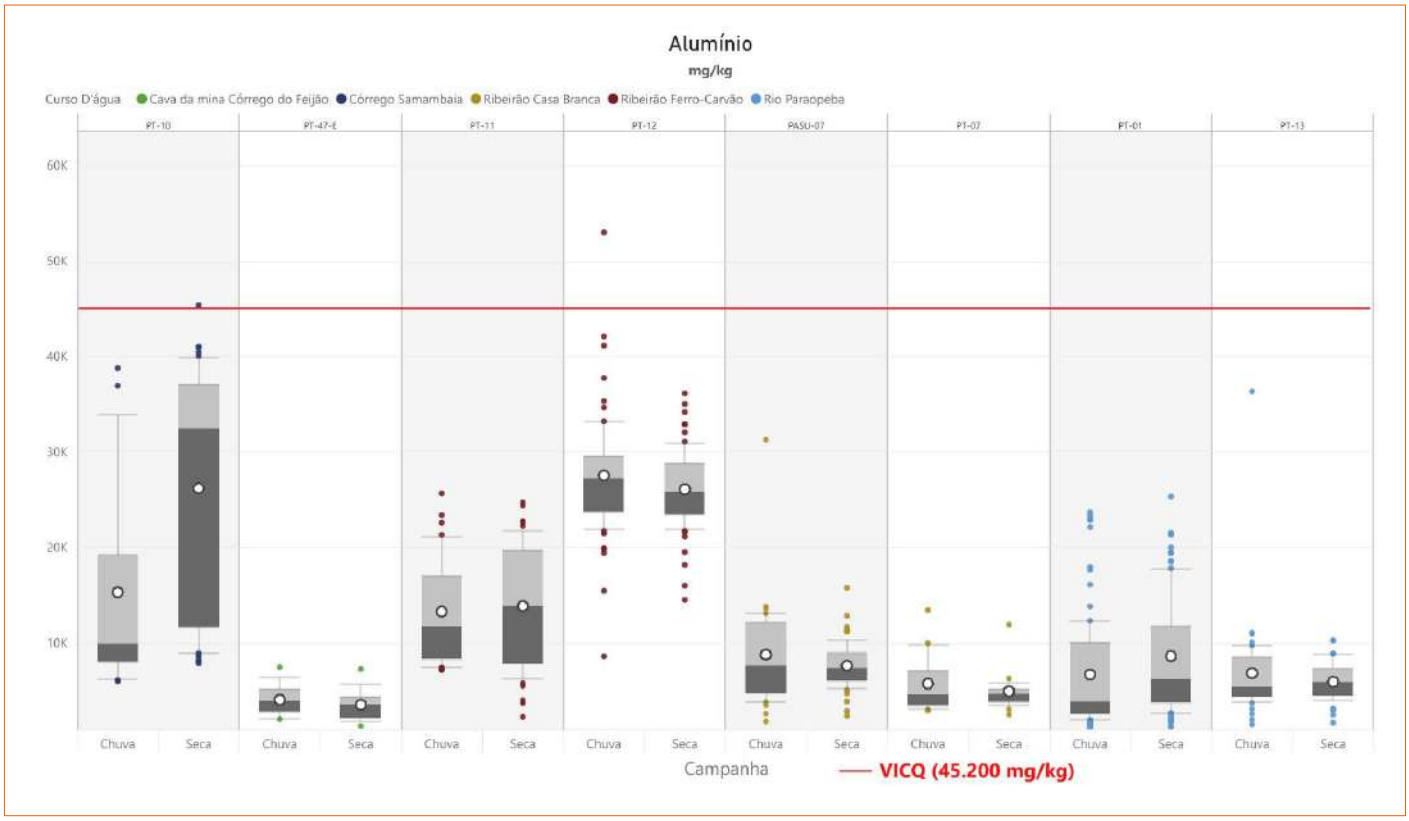


Figura 1-108 - Boxplot dos resultados de Alumínio nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

ii Arsênio

Segundo CETESB (2017b) o arsênio é um semimetal de ocorrência natural na crosta terrestre estando presente em mais de 200 minerais. Desta forma a Resolução CONAMA nº 454/2012 estabelece limite de 5,9 mg/kg e 17 mg/kg para níveis 1 e 2, respectivamente.

Conforme Figura 1-109, nota-se que o arsênio é um analito intensamente presente nas amostras coletadas e que todos os pontos de monitoramento apresentaram desvios em relação ao VMP 1 e/ou 2. É possível destacar que o ponto PT-47- E, localizado na cava da Mina Córrego do Feijão, foi o único dentre os pontos analisados que apresentou mediana abaixo dos VOR 1 e 2 no período seco e chuvoso e que o ponto PT 10 (córrego Samambaia) apresentou o maior desvio padrão e maior mediana.

É relevante ressaltar que as áreas de estudo em nível regional e local podem receber contribuições de materiais lixiviados originados de rochas locais, que contêm minerais como arsenopirita. Esses minerais possuem arsênio em sua composição, o qual, quando lixiviado e oxidado, pode ocasionar alterações na concentração deste semimetal nas áreas analisadas (ARCADIS, 2022). Contudo, deve-se levar em conta a hipótese de fonte antropogênica para o enriquecimento sedimentar deste analito, incluindo aquelas de provenientes de produtos agrícolas e atividades ligadas à mineração. Ainda, não pode ser descartada a possibilidade de origem antropogênica, principalmente relacionadas ao

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA, uma vez que nos estudos Estudo Caracterização Geoquímica de Rejeitos Fase I (GEOENVIRON, 2019) e Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba (ARCADIS, 2022), o analito foi observado em concentrações acima do nível 2 da resolução CONAMA 454, quanto a caracterização do rejeito.

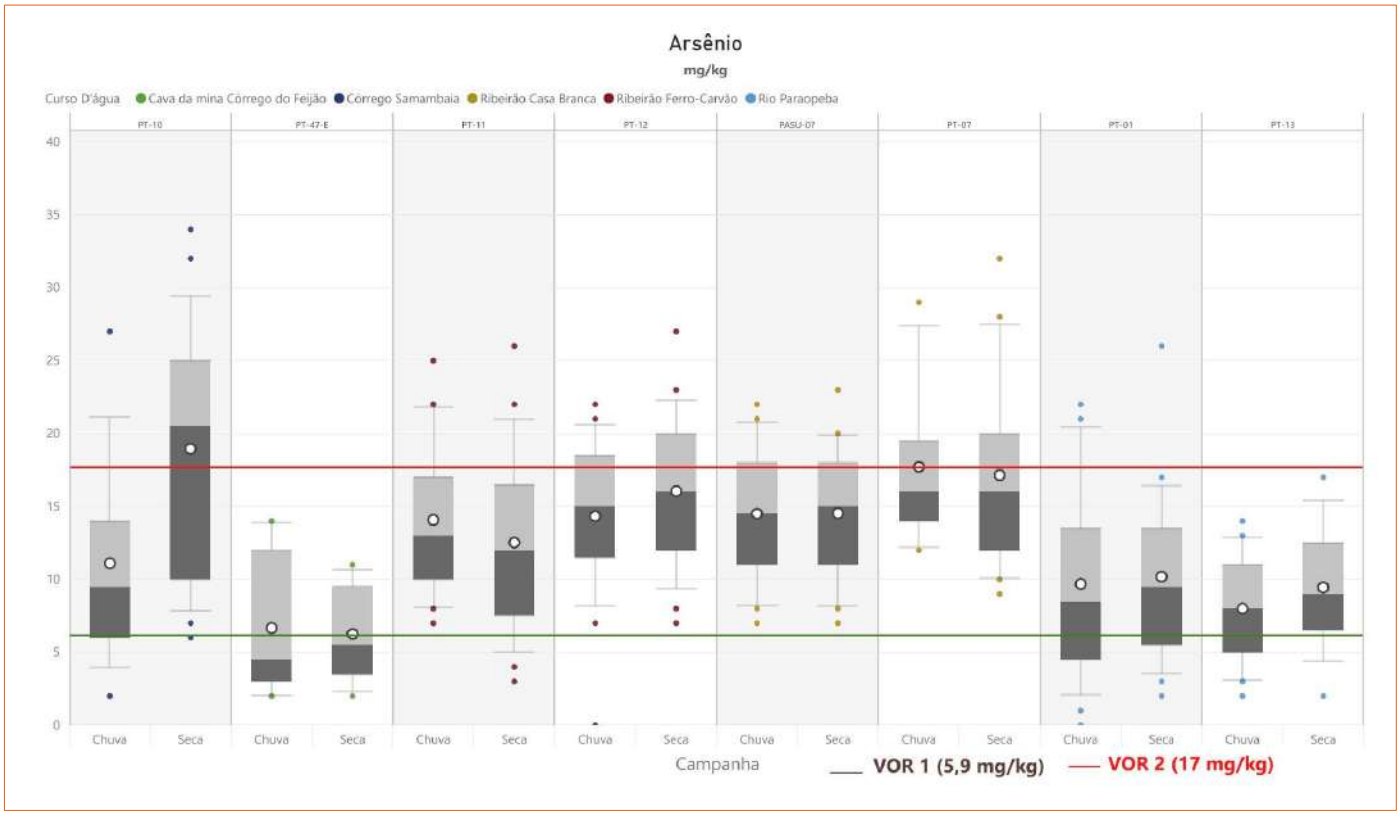


Figura 1-109 - Boxplot dos resultados de Arsênio nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

iii Bário

O bário é encontrado na natureza exclusivamente em formas combinadas, sendo as principais a barita (sulfato de bário natural) e a witherita (carbonato de bário natural). Ademais também é encontrado em quantidades mínimas em rochas ígneas e sedimentares (CETESB, 2017c).

Tanto a Resolução CONAMA nº 454/2012, como os estudos realizados por Vicq não possuem valores orientadores como referência para o elemento bário, desta forma, não é possível mensurar as não conformidades dentre os valores amostrados. Entretanto, é possível orientar-se conforme distribuição dos valores nos períodos secos e chuvoso.

Conforme Figura 1-110, nota-se que os pontos PT-10, PT-11 e PT-12, o primeiro localizado no córrego Samambaia e os outros dois no ribeirão Ferro-Carvão, possuem os maiores valores amostrados, bem como as maiores medianas. Os pontos PASU-07 e PT-07, ambos localizados no ribeirão Casa Branca e o ponto PT-47-E, localizado na cava da Mina Córrego do Feijão apresentam os menores valores e menores medianas dentre os pontos analisados.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

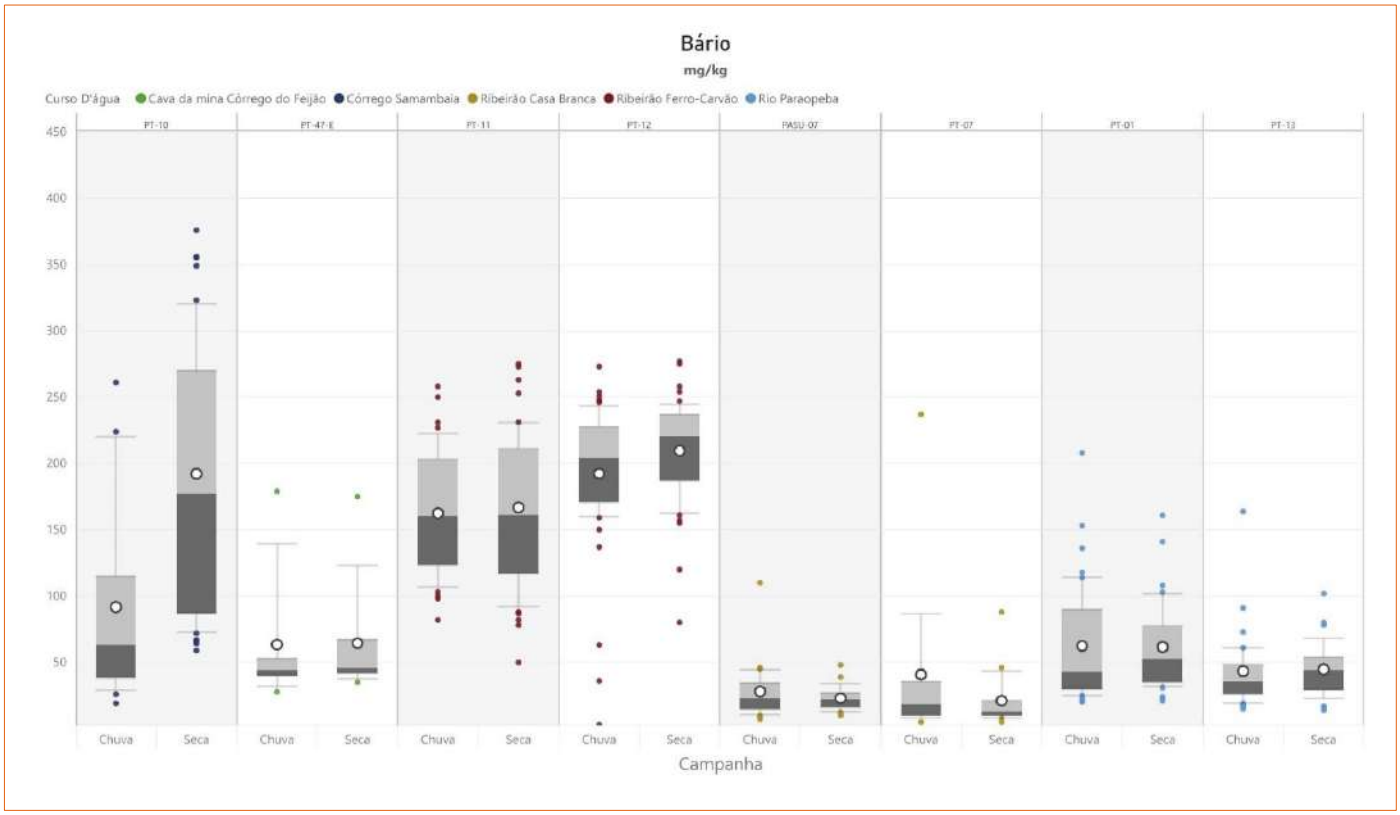


Figura 1-110 - Boxplot dos resultados de Bário nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

iv Cádmio

O cádmio é um metal que ocorre naturalmente no ambiente em associação com sulfilitos presentes em minérios de zinco, cobre e chumbo. A exposição a esse metal pode causar irritação estomacal, conforme relatado pela CETESB (2022a). Desta forma, a Resolução CONAMA nº 454/2012 estabelece limite de 0,6 mg/kg e 3,5 mg/kg para níveis 1 e 2 de Cádmio, respectivamente.

A *priori* é importante destacar que devido ao número limitado de amostras e a grande quantidade de valores abaixo do limite quantificável em laboratório (LQ), não foi possível exibir uma apresentação gráfica de forma visual ao leitor, desta forma não será apresentado BoxPlot para este parâmetro. Destaca-se que nenhum resultado ultrapassou o valor de orientação 2, entretanto os pontos PT-07, PT-10. PT-11 e PT-12 apresentaram desvios em relação ao VOR 1: 3,23%, 1,89%, 18,57% e 37,11%, respectivamente.

Os valores mais altos de cádmio observados nos sedimentos de corrente não podem ser atribuídos exclusivamente à origem geogênica, uma vez que embora este elemento seja encontrado em minérios de zinco, biotitas e anfibólios, os teores médios de cádmio apresentam pouca variação nos diferentes tipos litológicos (ARCADIS, 2022).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

v Chumbo

O chumbo é um metal de coloração cinza-azulada que ocorre em pequenas quantidades na crosta terrestre, geralmente associado a minérios, principalmente aqueles que contêm zinco (CETESB, 2022b).

Para o Chumbo, a Resolução CONAMA nº 454/2012 estabelece limite de 35mg/kg e 91,3mg/kg para níveis 1 e 2, respectivamente. Conforme Figura 1-111, nenhum resultado ultrapassou o valor de orientação 2, entretanto todos os pontos apresentaram desvios acima do VOR 1. Os pontos que mais apresentaram desvio em relação ao VOR 1 foram o PT-11 (17,14%) e PT-12 (46,39%), ambos no ribeirão Ferro-Carvão seguido pelo PT-47-E, localizado na cava da Mina Córrego do Feijão.

Tais desvios podem estar relacionados ao carreamento de material transportado de áreas mais elevadas que possuem rochas ácidas, metassiltitos e metargilitos em sua composição, uma vez que o chumbo apresenta maior afinidade com seus materiais e áreas compostas por coberturas detrito-lateríticas e que óxidos de ferro e alumínio possuem características de esponjas geoquímicas para elementos metálicos (ARCADIS, 2022).

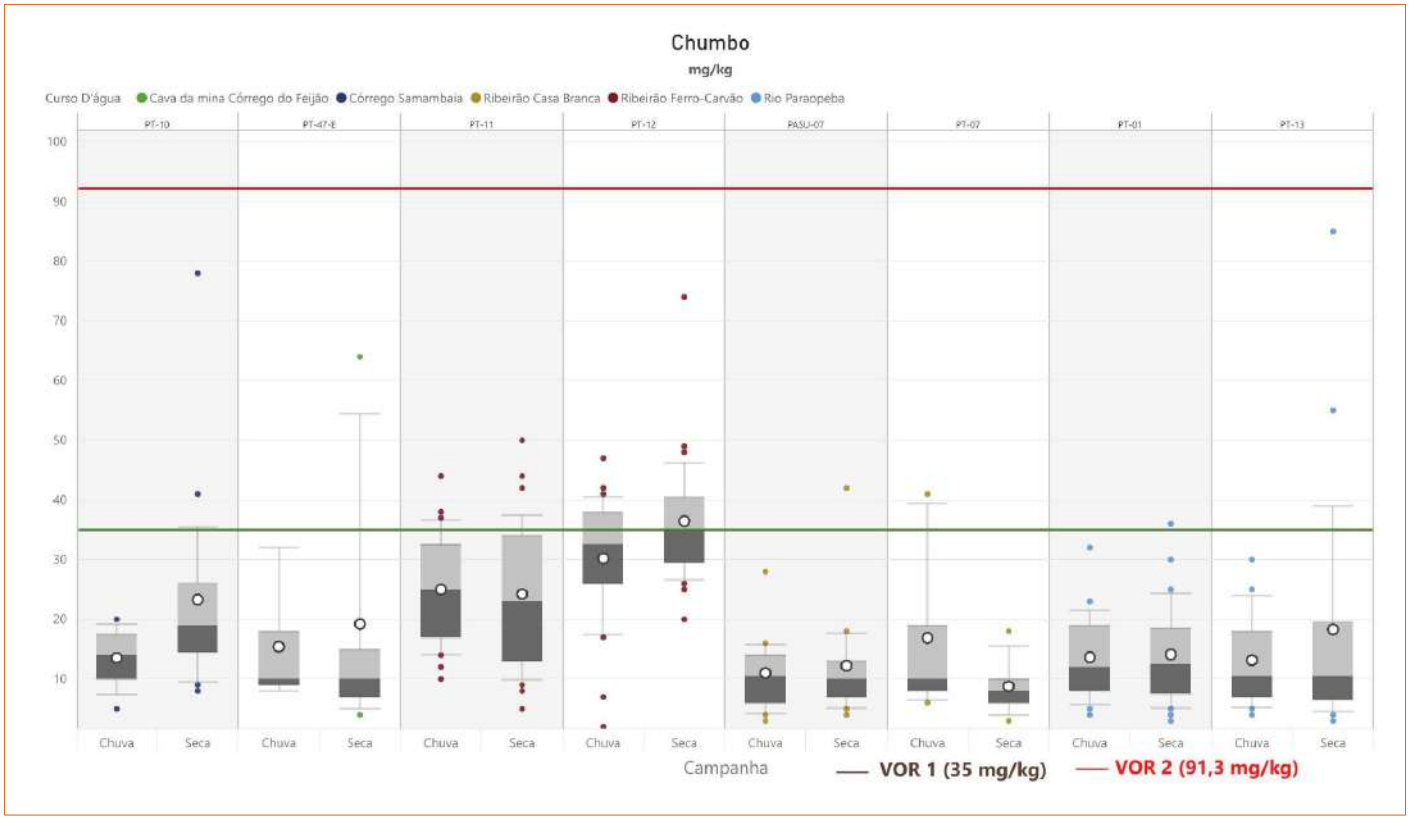


Figura 1-111 - Boxplot dos resultados de Chumbo nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

vi Cobalto

O cobalto é um elemento metálico de ocorrência relativamente escassa na natureza, geralmente encontrado associado a outros minérios como prata, chumbo e cobre, tendo como principal aplicação a produção de ligas metálicas (CETESB, 2022c).

Entretanto, tanto a Resolução CONAMA nº 454/2012, como os estudos realizados por Vicq não possuem valores orientadores como referência para o elemento Cobalto, desta forma, não é possível mensurar as não conformidades dentre os valores. Contudo, é possível orientar-se conforme distribuição dos valores nos períodos secos e chuvoso.

Conforme Figura 1-112, a maior parte dos valores ficaram abaixo de 50 mg/kg, com exceção de três amostras nos pontos PT-12 (60,2 mg/kg) e PT-13 (54,1 mg/kg e 300 mg/kg), localizados no ribeirão Ferro-Carvão e rio Paraopeba, respectivamente.

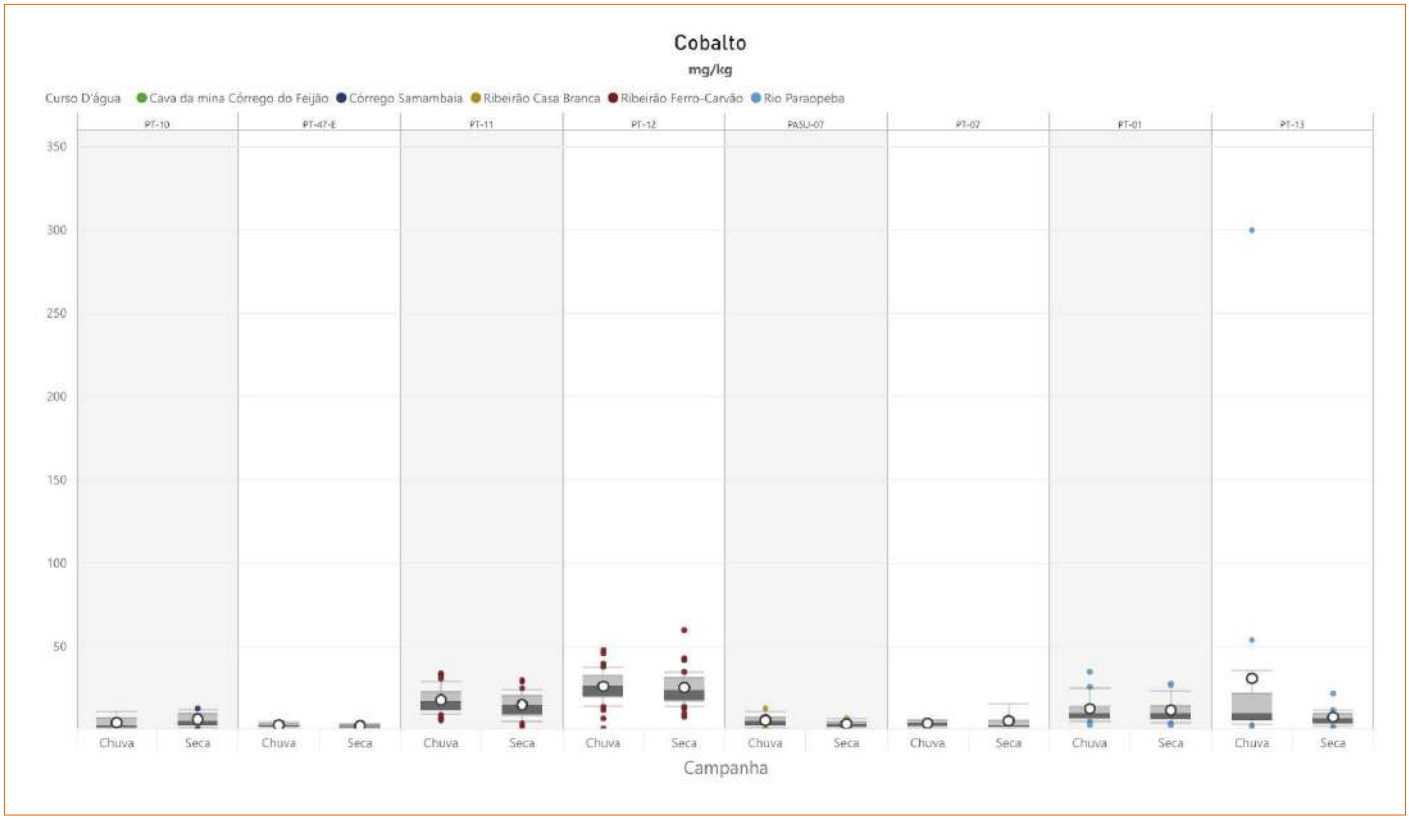


Figura 1-112 - Boxplot dos resultados de Cobalto nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

vii Cobre

O cobre é um elemento que se encontra abundantemente na natureza, que quando se encontra em seu estado puro, é amplamente utilizado na fabricação de moedas, fios elétricos, tubulações e encanamentos de água quente. Além disso, o cobre é combinado com outros metais para a produção de ligas e chapas metálicas (CETESB, 2022d).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 estabelece limite de 35,7 mg/kg e 197 mg/kg para níveis 1 e 2 de Cobre, respectivamente. Conforme Figura 1-113, nenhum resultado ultrapassou o valor de orientação 2, entretanto a maioria dos pontos, com exceção do PT-47-E (cava da Mina Córrego do Feijão) e PASU-07 (ribeirão Casa Branca) os pontos apresentaram desvios acima do VOR 1.

Os pontos que apresentaram as maiores medianas e valores absolutos foram o PT-11 e PT-12, ambos no ribeirão Ferro-Carvão. Os desvios podem apresentar relação com a geologia local e possibilidade de origem antropogênica, principalmente relacionadas ao rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA, já que o analito foi observado na composição do rejeito em concentrações acima do nível 2 da resolução CONAMA 454, de acordo com o Estudo Caracterização Geoquímica de Rejeitos Fase I (GEOENVIRON, 2019) e Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba (ARCADIS, 2022).

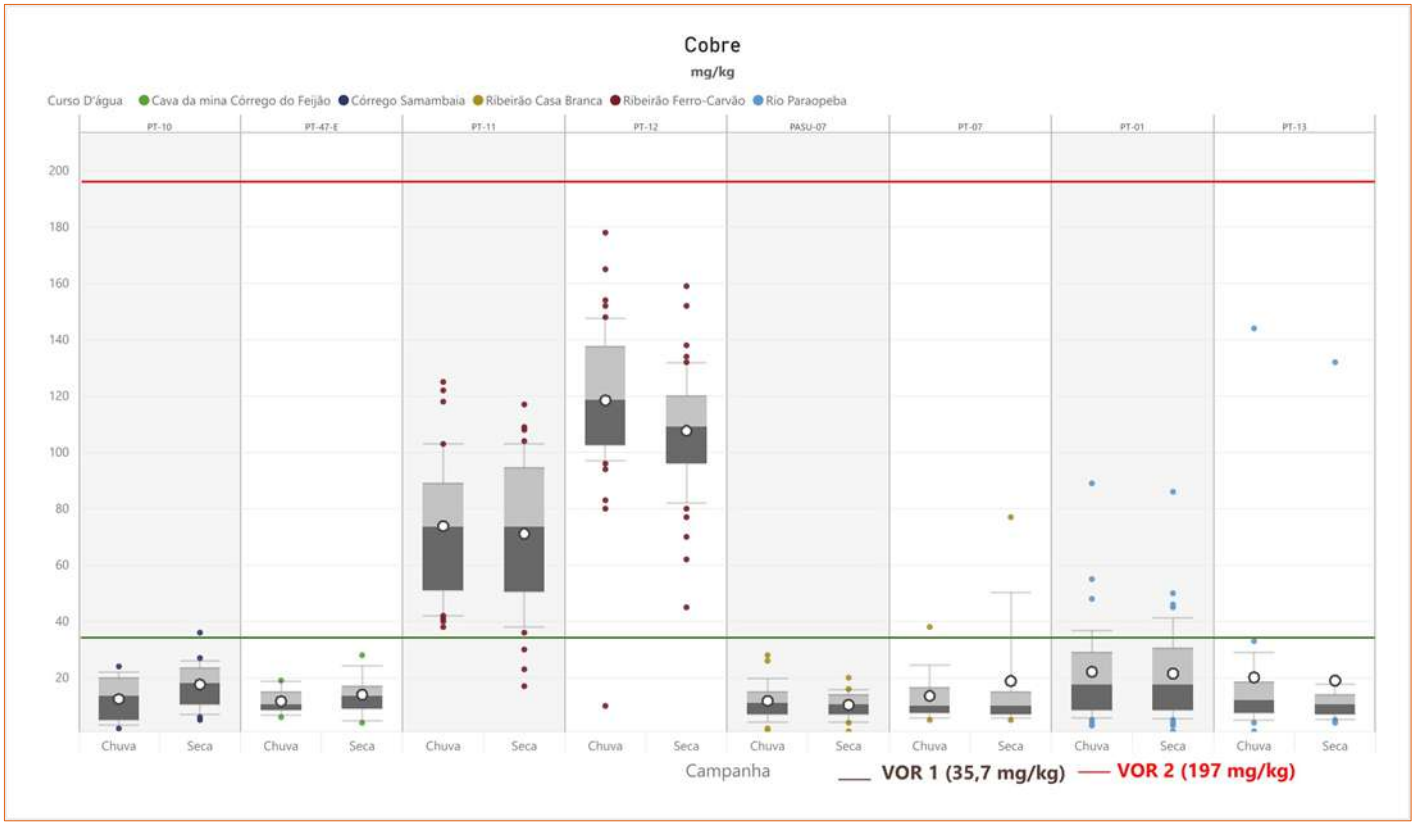


Figura 1-113 - Boxplot dos resultados de Cobre nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

viii Cromo

O cromo é um metal que possui diversos usos, incluindo a produção de ligas metálicas, estruturas da construção civil, fertilizantes, tintas, pigmentos, curtumes e preservativos para madeira, entre outros (CETESB, 2021). Desta forma, a Resolução CONAMA nº 454/2012 estabelece limite de 37,3mg/kg e 90 mg/kg para níveis 1 e 2 de Cromo, respectivamente. Conforme Figura 1-114, nenhum resultado ultrapassou o valor de orientação 2, entretanto a maioria dos pontos apresentaram desvios acima do VOR 1 (a exceção do ponto PT 10).

É possível destacar que o ponto PT-01, localizado no rio Paraopeba apresentou as maiores medianas e valores absolutos e que o ponto PT-47-E apresentou as menores medianas dentre os pontos analisados. Destaca-se que todas as amostras coletadas estão acima do limite quantificável pelo laboratório (LQ), confirmando que há expressiva presença de cromo na região estudada.

Segundo Arcadis (2022), embora seja comum encontrar este elemento em rochas da região, não é possível explicar completamente os valores encontrados apenas através da sua origem geogênica. Isso ocorre devido ao fato de o cromo ser imóvel ou apresentar pouca mobilidade em diferentes condições de potencial de oxirredução e pH, incluindo ambientes oxidantes, ácidos, neutros a alcalinos e redutores (ANDREW-JONES, 1968).

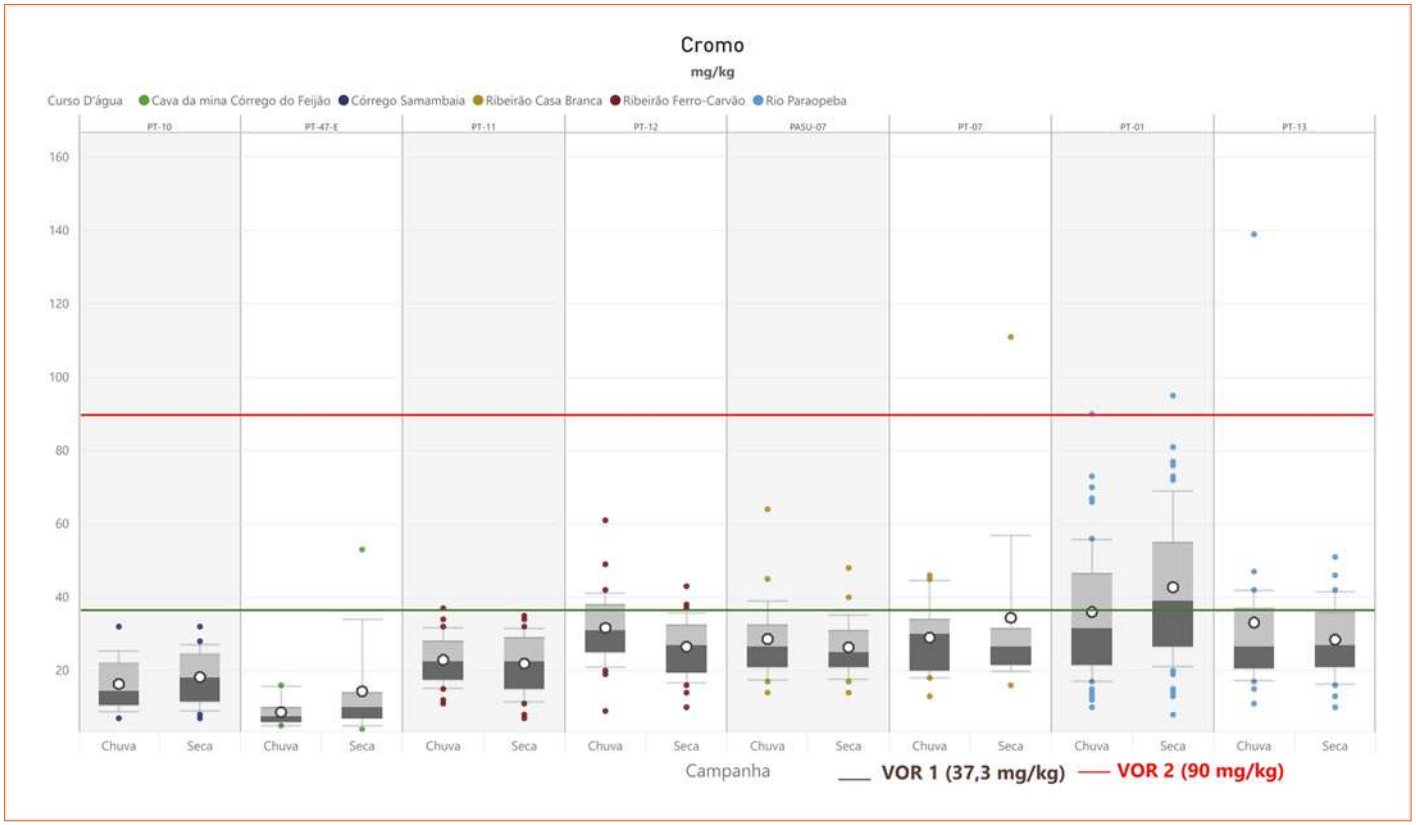


Figura 1-114 - Boxplot dos resultados de Cromo nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

ix Ferro

Embora o ferro não seja considerado tóxico, apresenta diversos desafios quando encontrado em cursos d'água e sedimentos de fundo. Este pode conferir cor e sabor à água, causando manchas em roupas e utensílios sanitários. Além disso, pode levar ao acúmulo de depósitos em canalizações e ao crescimento de ferro-bactérias, resultando em contaminação biológica na rede de distribuição de água (CETESB, 2021).

Desta forma, como a Resolução CONAMA nº 454/2012 não estabelece limite para este parâmetro, foi considerado o valor orientador de Vicq (2015), 281.000 mg/kg. Conforme Figura 1-115 observa-se que grande parte dos valores amostrais estão abaixo do limite orientado por Vicq (2015).

Foram observados um total de três amostras acima do valor orientador: uma no ponto PASU-07 (ribeirão Casa Branca), uma no ponto PT-11 (ribeirão Ferro-Carvão) e uma no PT-12 (ribeirão Ferro-Carvão).

É importante destacar que embora os resultados apresentem desvios em relação ao orientado por Vicq (2015), há presença de ferro em todos os pontos avaliados, o que pode ser explicado pela região amostrada receber contribuição sedimentar de materiais provenientes do Quadrilátero Ferrífero. assim como aportes provenientes das atividades realizadas no âmbito da mina Córrego do Feijão, da Vale S/A.

Além disso, cabe destacar que segundo o Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba (ARCADIS, 2022), estudos apontaram que o rejeito das barragens B-I, B-IV e B-IVA apresentou em sua composição química global o ferro com elevada presença (aproximadamente 70%), sendo, portanto, o ferro seu principal constituinte. Desta forma, a composição do rejeito também pode contribuir com os altos valores de ferro observados.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

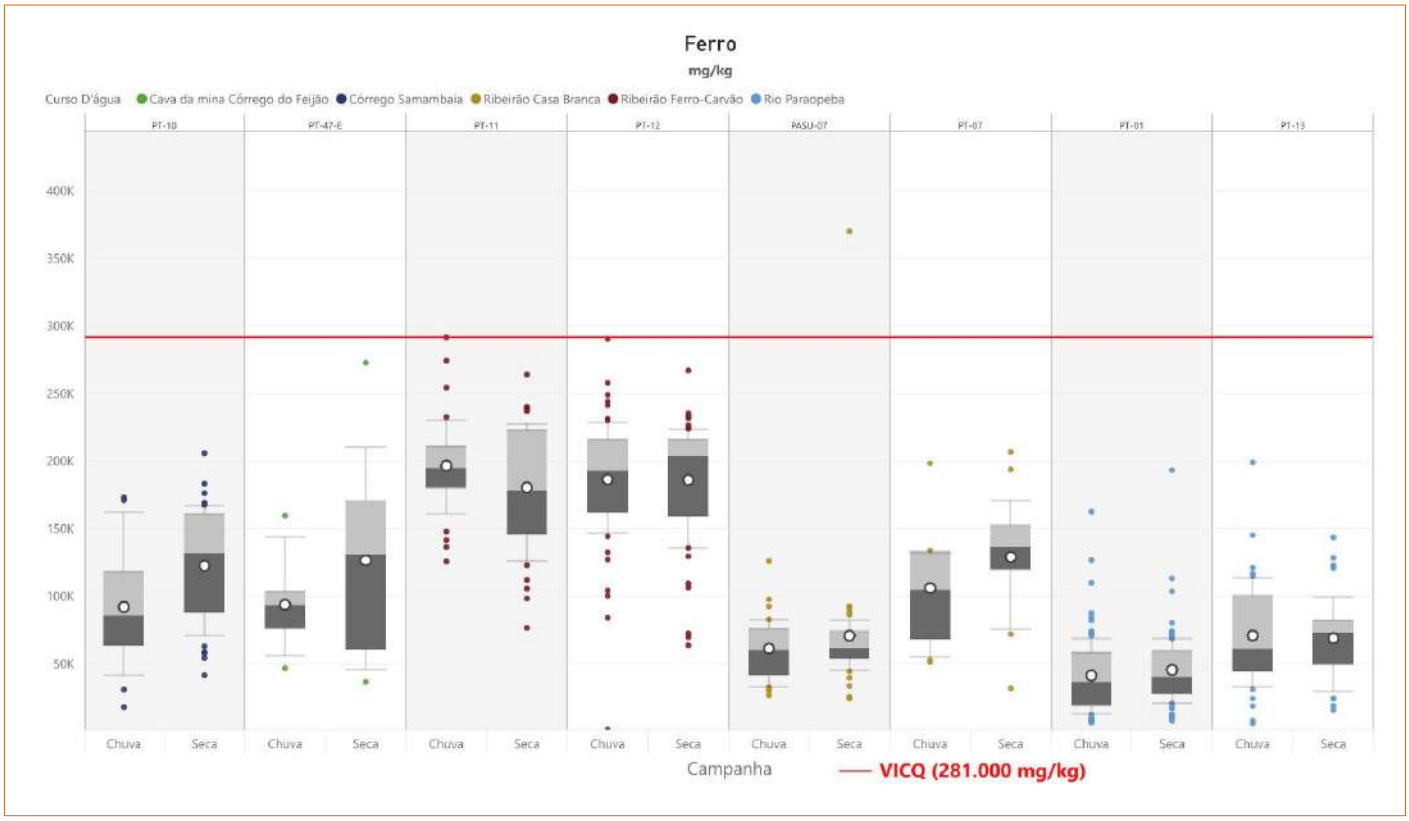


Figura 1-115 - Boxplot dos resultados de Ferro nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

x Manganês

O manganês e seus compostos possuem diversas aplicações industriais, como na indústria do aço, produção de ligas metálicas, baterias e outros. Embora ocorra naturalmente em cursos d'água, as atividades humanas também contribuem para a contaminação de corpos hídricos com esse elemento (CETESB, 2021).

Uma vez que a Resolução CONAMA nº 454/2012 não estabelece limite para este parâmetro, foi considerado o valor orientador de Vicq (2015), 3.300 mg/kg. Conforme Figura 1-116 observa-se que todos os pontos ultrapassaram o valor orientador de Vicq (2015), à exceção do ponto PASU 07.

Os pontos PT-11 e PT-12, situados no ribeirão Ferro-Carvão, demonstraram os desvios mais significativos dentre os pontos analisados. O PT-11 apresentou resultados acima do limite permitido em todas as amostras, enquanto o PT-12 ultrapassou o limite em 96,91% dos resultados.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Conforme Arcadis (2022), a massiva presença de manganês nas áreas de estudos pode ser justificada pelo carreamento de material das formações geológicas próximas, que apresentam nódulos de manganês em sua composição. As alterações provenientes de atividades minerárias, bem como o rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA, não podem ser descartadas. Ressalta-se que, de acordo com o Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba (ARCADIS, 2022), os rejeitos com características originais são relativamente mais ricos em ferro e manganês, o que pode justificar as maiores concentrações, principalmente, no ribeirão Ferro-Carvão.

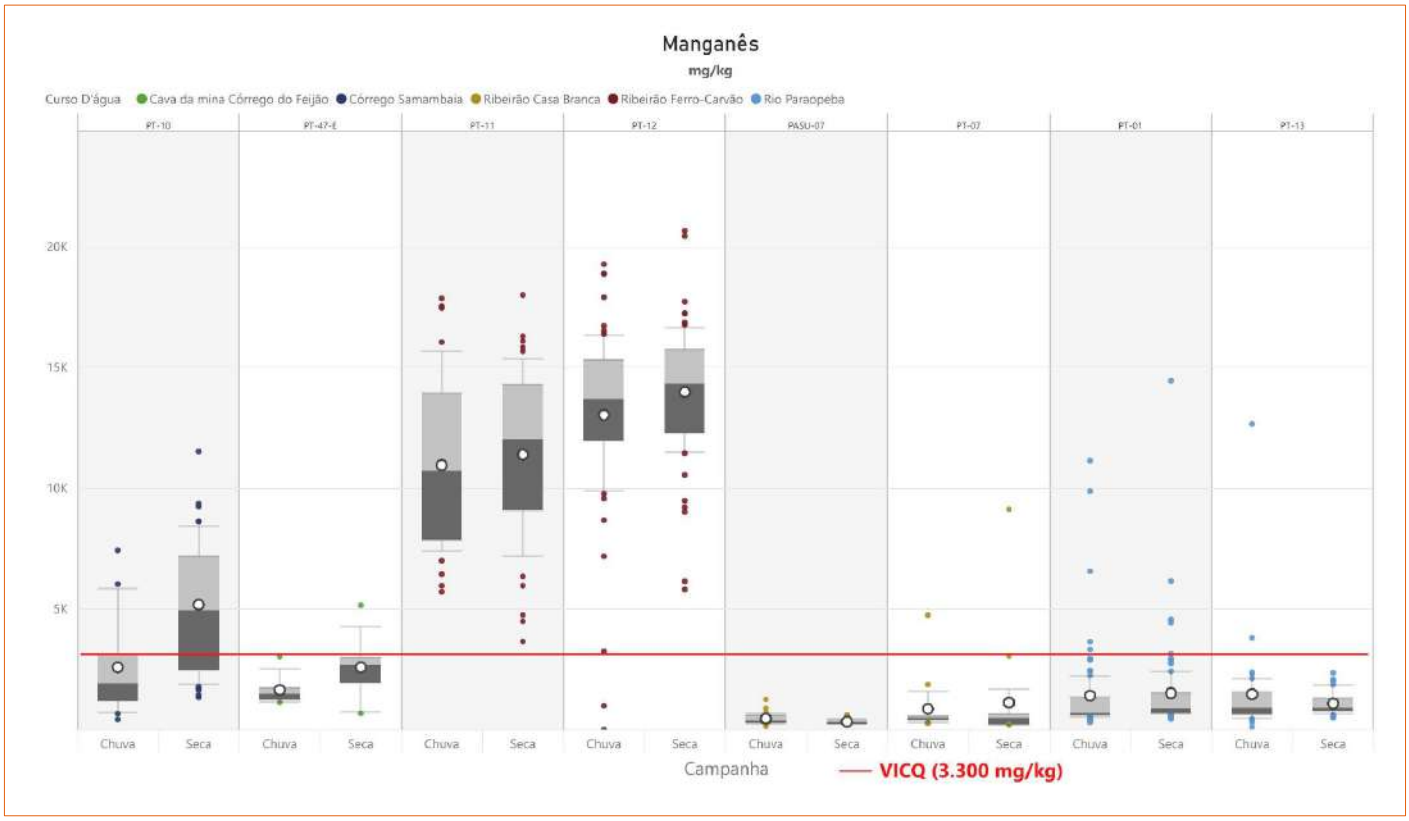


Figura 1-116 - Boxplot dos resultados de Manganês nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

xi Mercúrio

De acordo com CETESB (2022e), o mercúrio é relativamente incomum na crosta terrestre e é liberado por processos como erosão e atividade vulcânica, bem como mineração. Desta forma, a Resolução CONAMA nº 454/2012 estabelece limite de 0,17 mg/kg e 30,486 mg/kg para níveis 1 e 2 de Mercúrio, respectivamente.

A *priori* é importante destacar que devido ao número limitado de amostras e a grande quantidade de valores abaixo do limite quantificado em laboratório (LQ), não foi possível exibir uma apresentação gráfica de forma visual ao leitor, desta forma não será apresentado BoxPlot para este parâmetro. Destaca-se que nenhum resultado ultrapassou o valor de orientação 2, entretanto os pontos PT-11 e PT-12, ambos no ribeirão Ferro-Carvão apresentaram desvios em relação ao VOR 1: 4,29% e 10,31%, respectivamente.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Conforme descrito por Arcadis (2022), os valores anômalos coincidem com a região de inserção dos pontos amostrais, Quadrilátero Ferrífero, bem como com as áreas de mineração. Desta forma, a geoquímica dos sedimentos nesta área pode ser influenciada pelo aporte de materiais carreados por esse tipo de atividade antrópica e outras, bem como uso de fungicidas organomercuriais na agricultura (ARCADIS, 2022).

xii Níquel

O níquel é um metal cuja maior contribuição antropogênica para o meio ambiente incluem a queima de combustíveis fósseis, mineração, fundição do metal, dentre outras (CETESB, 2021).

Desta forma, a Resolução CONAMA nº 454/2012 estabelece limite de 18 mg/kg e 35,9 mg/kg para níveis 1 e 2 de Níquel, respectivamente. Conforme Figura 1-117, nota-se que todos os pontos de monitoramento apresentaram desvios em relação ao VMP 1 e/ou 2, à exceção do ponto PT-10 (Córrego Samambaia).

Os pontos PASU-07 (ribeirão Casa Branca), PT-01 (rio Paraopeba), PT-11 (ribeirão Ferro-Carvão) PT-12 (ribeirão Ferro-Carvão) e PT-13(rio Paraopeba), ultrapassaram o VOR 1 e VOR 2, estabelecidos pela legislação. Os pontos PT-07 (ribeirão Casa Branca) e PT-47-E (cava da mina Córrego do Feijão) ultrapassaram o limite VOR 1.

Segundo Arcadis (2022), a litologia local pode contribuir para as anomalias de níquel quantificadas nas amostras de sedimentos, uma vez que este metal tem a propensão de se associar a minerais ferromagnesianos como a olivina. Consequentemente, quando expostas à ação do intemperismo, essas litologias atuam como fonte para a formação desses sedimentos (ARCADIS, 2022). Ainda, não pode ser descartada a possibilidade de origem antropogênica, principalmente relacionadas ao rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA, uma vez que o Níquel está presente na composição do rejeito em concentrações acima do nível 2 da resolução CONAMA 454, de acordo com o Estudo Caracterização Geoquímica de Rejeitos Fase I (GEOENVIRON, 2019) e Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba (ARCADIS, 2022).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

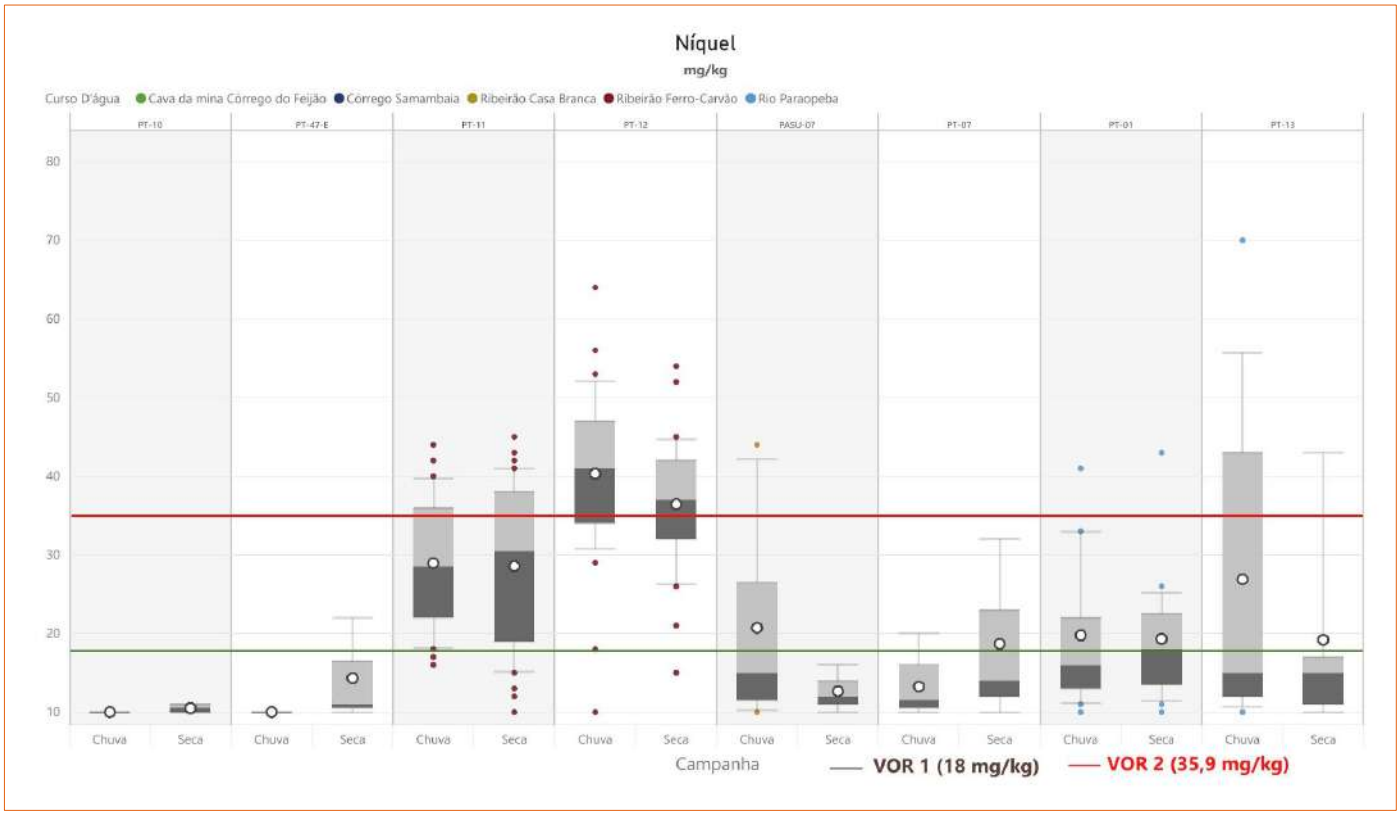


Figura 1-117 - Boxplot dos resultados de Níquel nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

xiii Zinco

O zinco é um metal amplamente utilizado na fabricação de ligas que são altamente resistentes à corrosão, além de ser empregado na galvanização de produtos feitos de ferro e aço (CETESB, 2022f).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 estabelece limite de 123 mg/kg e 315 mg/kg para níveis 1 e 2 de Ferro, respectivamente. Conforme Figura 1-118, nenhum resultado ultrapassou o VOR 1 e VOR 2. Os pontos PT-12 e PT-11 apresentaram as medianas e resultados absolutos mais elevados dentre as amostras analisadas, entretanto, como citado anteriormente não houve nenhum desvio em relação ao valor orientador para o analito Zinco.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

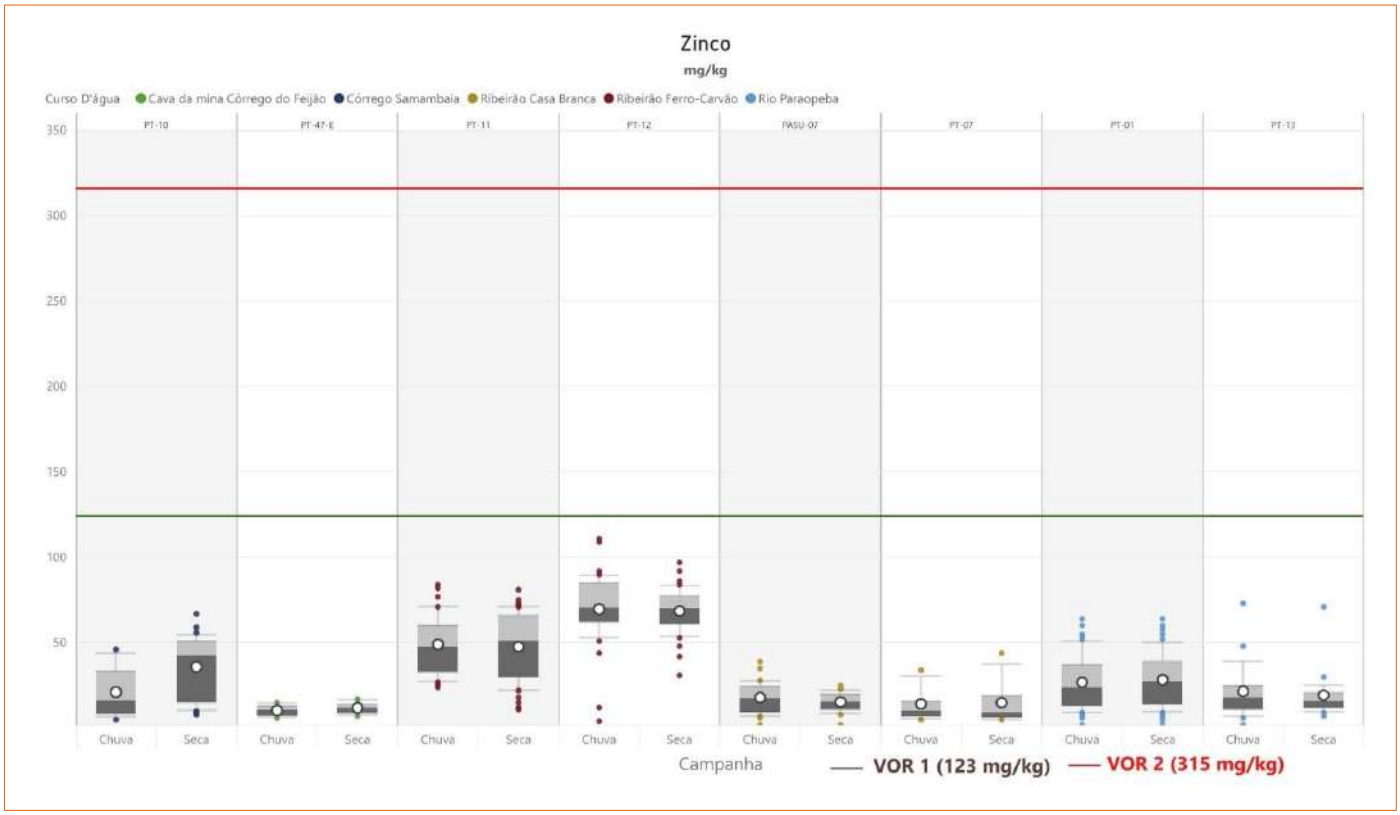


Figura 1-118 - Boxplot dos resultados de Zinco nos pontos de sedimentos (2021 e 2022)

Elaborado por Arcadis, 2023. Fonte: Vale S.A.

D. Síntese Conclusiva

No presente item será apresentada uma síntese dos principais resultados que compõem o diagnóstico da água superficial. Os resultados foram discutidos de acordo com a distribuição dos pontos de coleta no ribeirão Ferro-Carvão, ribeirão Casa Branca e rio Paraopeba e cava da Mina Córrego do Feijão.

De forma geral, observou-se que um percentual reduzido das amostras possui concentrações superiores ao Valor Máximo Permitido (VMP) em comparação com os limites estabelecidos para águas doces Classe 2 pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01/2008, classe na qual os corpos hídricos estão enquadrados.

No decorrer da análise dos monitoramentos realizados, a maior parte dos resultados permaneceu abaixo do limite de quantificação do método laboratorial. Para os resultados quantificáveis, houve ultrapassagem dos parâmetros OD, pH, DBO, Chumbo Total, Alumínio Dissolvido, Manganês Total, Ferro Dissolvido, Sólidos Dissolvidos Totais, Cor verdadeira, Sólidos Suspensos Totais e Turbidez. Os parâmetros Bário Total, Cádmio Total, Níquel Total e Cobalto Total também apresentaram resultados desconformes, porém tratam-se de desvios pontuais (outliers), uma vez que não foram recorrentes. Os parâmetros que mais frequentemente ultrapassaram os limites da referida normativa foram Alumínio Dissolvido, Manganês total, Fósforo Dissolvido, Sólidos Suspensos Totais e Turbidez. De modo geral, os resultados históricos mostram uma tendência de aumento das concentrações no período de chuva e uma redução no período de estiagem.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A análise dos resultados históricos indica a maior porcentagem de desvios dos parâmetros mencionados para os pontos representativos do ribeirão Ferro-Carvão (PT-11, PASU-DIQUE2, PASU-BH1 e PT-12) e do rio Paraopeba (PASU-DR0, PT-01 e PT-13). Destaque especial deve ser dado aos parâmetros Manganês, Ferro, Alumínio e Chumbo (em menor proporção), constantemente em desacordo com os limites estabelecidos pela DN Conjunta COPAM/CERH-MG n° 08/2022, que possuem relação não só com o contexto geoquímico regional, bem como com a composição geoquímica dos rejeitos oriundos das barragens B-I, B-IV e B-IVA. A presença de áreas expostas contendo rejeito e solo ao longo de todo o curso do ribeirão Ferro-Carvão, aliada às intervenções de maquinários para implantação das obras emergenciais, favorece o aumento Sólidos Suspensos Totais e, consequentemente da Turbidez, que também ultrapassaram os limites da referida normativa com frequência, principalmente durante os períodos mais chuvosos, quando ocorrem processos de remobilização do rejeito depositado no leito dos cursos d'água, além do escoamento superficial.

Por sua vez, os desvios observados para os parâmetros DBO e Oxigênio Dissolvido resultam, possivelmente, da carga aportada ao ribeirão Ferro-Carvão, diretamente influenciada pelo uso e ocupação do solo nas redondezas, principalmente na bacia de contribuição do Córrego Samambaia (áreas com ocupação antrópica).

Os pontos localizados no ribeirão Casa Branca, estão em local fora do impacto do rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA. A análise dos resultados históricos para os pontos indica comportamento tipicamente sazonal, com maiores concentrações no período de chuvas e menores no período de estiagem. Ao se comparar os resultados de água superficial obtidos nos pontos de montante (PASU-07) e jusante (PT-07) do lançamento da ETAF1, observa-se um comportamento análogo entre eles, indicando que as desconformidades observadas não possuem relação direta com o lançamento da ETAF1.

Quanto ao ponto de monitoramento PASU-CF3, localizado na cava da Mina Córrego do Feijão, observou-se que, embora o monitoramento tenha apontado parâmetros fora dos limites, a frequência com que os resultados estão desconformes é baixa e varia de acordo com a sazonalidade.

Com relação ao ponto de monitoramento FEI-BAR-02-E, ponto de monitoramento de efluente proveniente da barragem Menezes II, observou-se que a maioria dos resultados se encontra em acordo com os valores máximos permitidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº08/2022. Os parâmetros que se apresentaram em desconformidade foram o Manganês Dissolvido, Sólidos Suspensos Totais, Nitrogênio Amoniacal e pH em baixas porcentagens. Ao longo de todo o período avaliado, apenas o Manganês Dissolvido mostrou frequente superação ao limite. Tais resultados indicam que o efluente proveniente do vertedouro da barragem Menezes II não exerce grande impacto na qualidade da água a jusante a barragem.

Considerando todos os parâmetros analisados para caracterização dos sedimentos que possuem limites estabelecidos pela CONAMA 454/2012 (VOR Nível I e Nível II) e por Vicq (2015), somente o Zinco não apresentou resultados acima do valor máximo permitido. De forma geral, todos os cursos d'água analisados apresentam pontos com desvios em relação aos valores orientadores. Entretanto cabe citar os pontos PT-11 e PT-12, localizados no ribeirão Ferro-Carvão, que apresentaram maiores valores e desvios quando comparados com os demais pontos amostrais.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Importante ressaltar que as características geogênicas das áreas de estudo regional e local favorecem as alterações de concentração desses analitos nas amostras coletadas. Contudo, não se pode descartar a hipótese de fonte antropogênica para o enriquecimento sedimentar destes elementos, incluindo aquelas de provenientes de produtos agrícolas, atividades ligadas à mineração e ao rompimento das barragens B-I, B-IV e B-IVA (referente a ferro, manganês, arsênio, cobre e níquel).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.10 Recursos Hídricos Subterrâneos

1.1.10.1 Metodologia

A caracterização dos recursos hídricos subterrâneos apresentada pautou-se na análise de dados e informações secundários oriundos de órgãos oficiais, como mapeamentos hidrogeológicos da CPRM, dados de usos da água registrados junto ao IGAM, além de estudos de referência sobre a região e dados disponibilizados pela Vale S.A. A avaliação foi baseada nas escalas de análise regional e local, conforme definição apresentada no item I - Áreas de Estudo.

1.1.10.2 Contextualização da Área de Estudo Regional

A Figura 1-119 representa as classes de aquíferos observadas nas áreas de estudo regional, conforme mapeamento hidrogeológico da CPRM referente à folha SF 23 - Rio de Janeiro, em escala 1:1.000.000, elaborado no âmbito do "Projeto de Disponibilidade Hídrica do Brasil". Observa-se que a área de estudo se encontra majoritariamente na classe fraturada com produtividade geralmente muito baixa, porém localmente baixa. Nesta classe, os fornecimentos contínuos de água são dificilmente garantidos (CPRM, 2015). Em porções a nordeste e leste da AER ocorre a classe fraturada com produtividade geralmente baixa, porém localmente moderada, definida como aquela em que há fornecimento de água suficiente para suprir abastecimentos locais ou consumos privados (CPRM, 2015).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

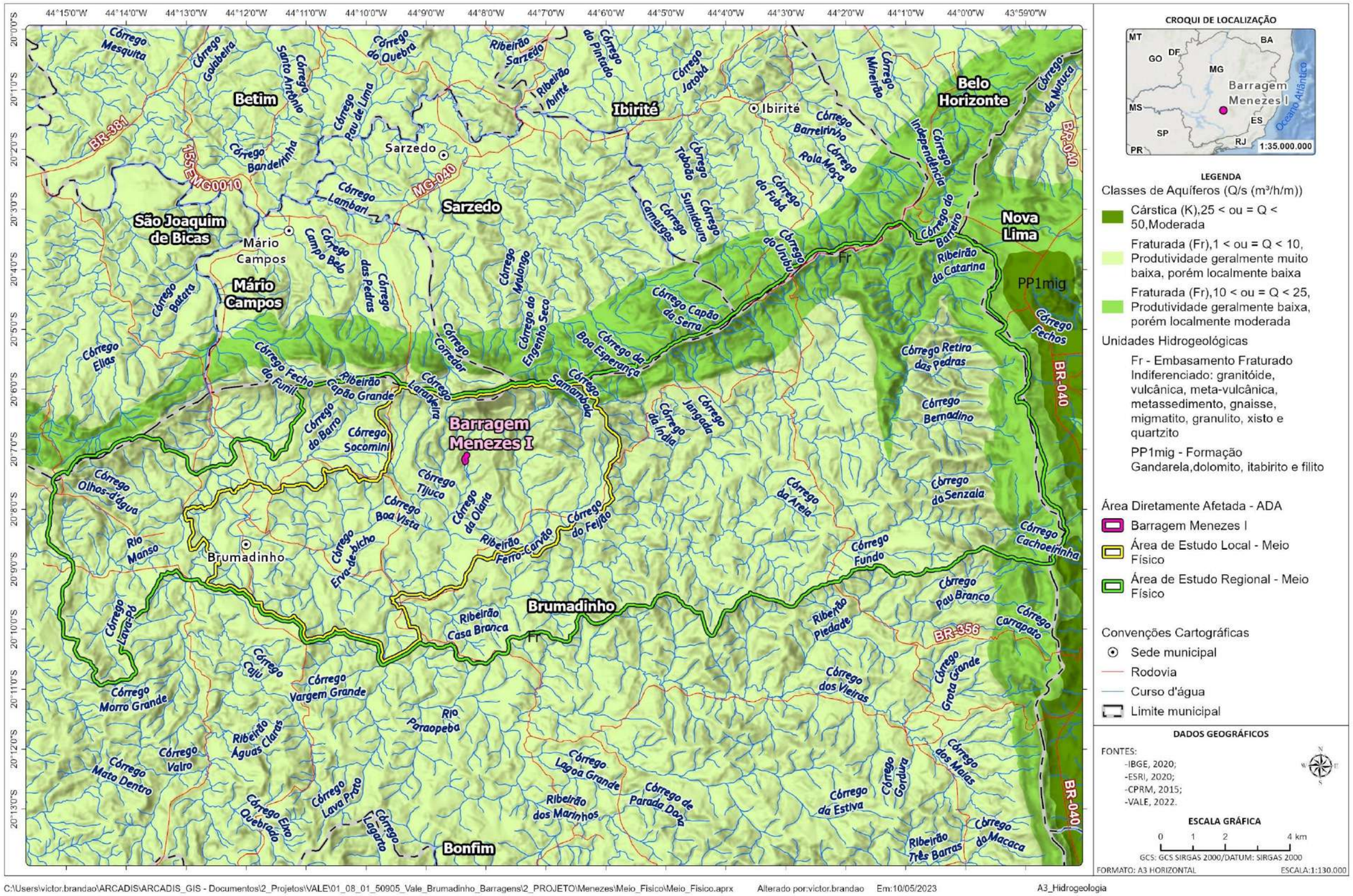


Figura 1-119 - Mapa Hidrogeológico da Área de Estudos

Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Segundo CPRM (2015), o Embasamento Fraturado Indiferenciado, presente em toda a área de estudo, engloba uma série de tipos litológicos abrangendo ora metassedimentos, ora rochas do embasamento cristalino, tais como granitos, rochas vulcânicas, metavulcânicas, gnaisses, migmatitos, granulitos, xistos e quartzitos. Com extensão regional, caráter dominantemente livre e grande heterogeneidade, configura uma única unidade hidrogeológica devido à sua produtividade condicionada à presença de fraturas. Sua composição heterogênea se reflete numa produtividade variável, ocorrendo produtividades classificadas como "geralmente baixas, porém localmente moderadas"; e "geralmente muito baixas, porém localmente baixas". Assim, embora pontualmente possam ocorrer valores superiores, no geral esta unidade apresenta baixas vazões, geralmente menores que 10 m³/h. Em menor proporção ocorrem áreas pouco produtivas ou não aquíferas. Quanto à qualidade da água, está é geralmente adequada para o consumo.

1.1.10.3 Contextualização da Área de Estudo Local

Os aspectos hidrogeológicos da Área de Estudo Local foram descritos com base na caracterização elaborada pela empresa Amplo Engenharia para a bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão, no âmbito do Estudo de Impacto Ambiental para as Obras Emergenciais decorrentes do rompimento da barragem B-I (2019). Esta caracterização baseou-se no mapeamento da Carta Brumadinho, que integra o Projeto APA Sul RMBH (Beato et al., 2005), e possibilitou a definição de sistemas e zonas hidrogeológicas através da compartimentação de acordo com os aspectos e propriedades físicas das unidades litoestratigráficas presentes na área. Cabe ressaltar que a bacia do ribeirão Ferro-Carvão compõe parte significativa da Área de Estudo Local do presente diagnóstico.

Neste contexto, conforme Amplo (2019), na bacia do ribeirão Ferro-Carvão foram identificadas zonas aquíferas, não aquíferas e aquíferos pobres. Na Tabela 1-37 é possível observar a correlação entre as zonas aquíferas e as unidades litoestratigráficas observadas na bacia do ribeirão Ferro-Carvão. O mapa apresentado no Anexo IV (AMPLO, 2019) demonstra a espacialização dos sistemas aquíferos associados a cada uma das zonas. Na sequência são descritas as principais características referentes às unidades identificadas.

Tabela 1-37 - Correlação entre as zonas aquíferas e unidades litoestratigráficas da sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão

Zona	Unidade litoestratigráfica	Sistema hidrogeológico
Zona Aquífera	Coberturas Superficiais - Depósitos Coluviais, Cangas, Aluviões	Sistema Aquífero Coberturas/Granular
	Supergrupo Minas - Grupo Itabira - Formação Cauê	Sistema Aquífero Itabirítico
	Supergrupo Minas - Grupo Caraça - Formação Moeda	Sistema Aquífero Quartzítico
Zona Não Aquífera	Supergrupo Minas - Grupo Itabira - Formação Gandarela	Sistema Aquífero Dolomito
	Supergrupo Minas - Grupo Caraça - Formação Batatal	Sistema Aquífero Filítico/Aquitardo
Zona de Aquíferos Pobres	Complexo Bonfim - Gnaisse Souza Noschese	Sistema Aquífero Granito-Gnáissico

Fonte: Adaptado de Amplo (2019).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.10.3.1 Zona Aquífera

A Zona Aquífera na bacia do ribeirão Ferro-Carvão abrange litologias com alto potencial hidrogeológico, uma vez que apresentam maiores capacidades de armazenamento e condução de águas subterrâneas. Esta se estabelece nos Sistemas Aquíferos Coberturas/Granular, Itabirítico e Quartzítico, se concentrando em uma estreita faixa de direção aproximada leste-oeste situada na porção norte, na vertente sul da Serra Três Irmãos (AMPLO, 2019).

O **Sistema Aquífero Coberturas/Granular** abrange depósitos recentes, constituídos por colúvios, aluviões e cangas. As características apresentadas por este sistema são de aquíferos granulares e, por serem compostos por materiais inconsolidados, são descontínuos e livres. As recargas ocorrem em função principalmente da infiltração por águas pluviais, o que gera oscilações sazonais nos níveis d'água. Nas áreas de aluviões, além da precipitação pluvial, a recarga também pode ocorrer pelo aporte de água dos cursos d'água. Os exutórios naturais são a recarga aos aquíferos subjacentes, por meio de fraturas, diáclases e falhas conectadas hidraulicamente, e através de nascentes de contato. A capacidade de armazenamento geralmente é baixa. Os níveis estáticos neste sistema são rasos e a espessura saturada é pequena, sendo que dados disponíveis para a área indicam poços de até 120m. A qualidade da água é considerada boa, com condutividades elétricas frequentemente baixas (mediana 17 S/cm) e pH mediano de 6,4 (AMPLO, 2019).

O **Sistema Aquífero Itabirítico** é fraturado e granular, livre a confinado e com descontinuidades, ocorrendo nos metassedimentos das Formações Ferríferas Bandadas da Formação Cauê. A espessura saturada é bastante variável e os níveis estáticos têm mediana de 49m. Os poços tubulares têm profundidades de até 350 m (mediana 150 m) e vazões geralmente boas, que, no entanto, já se encontram alteradas em função da atividade minerária instalada na região. As condutividades elétricas são frequentemente baixas (mediana 12 S/cm) e o pH é mediano, usualmente de 6,1 (AMPLO, 2019).

A recarga se dá pela infiltração de águas pluviais diretamente sobre os espessos horizontes intemperizados, sendo mais eficiente quando recoberto por coberturas lateríticas de elevada porosidade. A descarga natural ocorre de forma pontual ou através de um conjunto de nascentes (AMPLO, 2019).

Quanto aos parâmetros hidrodinâmicos, conforme Silva et al (1994 apud AMPLO, 2019) os valores de transmissividade (T) identificados neste sistema variam entre 50 m²/dia e 500 m²/dia. Os coeficientes de armazenamento (S), por sua vez, refletem a presença de aquíferos livres, com valores de até 0,15, e de aquíferos confinados, com um mínimo de 10^{-6}, sendo os primeiros predominantes.

O **Sistema Aquífero Quartzítico** é caracterizado como fraturado, descontínuo, livre a confinados, com níveis estáticos em torno dos 11 metros, variando de 0 a 98 metros. A vazão específica média é de 0,35 L/s.m (mínimas e máximas de 0 a 7,48 L/s.m) e a vazão máxima explotável está entre 0,4 e 29,6 L/s, com média de 7,2 L/s. As águas são de boa qualidade, com condutividades elétricas frequentemente altas (média de 328,85 µS/cm) e pH médio de 7,29, variando de 4,95 a 8,31 (SOUZA, 1995 apud AMPLO, 2019)

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

A recarga neste sistema ocorre por meio da infiltração pluvial sobre o manto intempérico com características silto-arenosas que estão conectadas com fraturas. A conexão hidráulica com diferentes aquíferos é favorecida pela estruturação tectônica, e a circulação de água ocorre de acordo com as principais estruturas de acamamento e faturamento, com fluxos que tendem a baixos topográficos. A circulação de água subterrânea se faz segundo as direções das principais estruturas de fraturamento e de acamamento. O fluxo tende aos baixos topográficos, onde se encontram os cursos d'água perenes que drenam o sistema. Os exutórios naturais são nascentes ao longo dos vales. (AMPLO, 2019).

1.1.10.3.2 Zona Não Aquífera

A Zona Não Aquífera também se manifesta na porção norte da bacia do ribeirão Ferro-Carvão, compreendendo o Sistema Aquífero Filítico/Aquitardo e o Sistema Aquífero Dolomito. Seus aquíferos apresentam baixas capacidades de armazenamento e transmissividade, admitindo-se características de aquicludes e aquitardos.

O **Sistema Aquífero Filítico/Aquitardo** abrange os metassedimentos da Formação Batatal, apresentando espessura variada e pouca permeabilidade, o que configura características de aquiclude e aquitardo. Além disso, esta camada forma uma barreira hidráulica separando fisicamente os sistemas aquíferos Itabiríticos e Quartzíticos da Formação Moeda (AMPLO, 2019).

O **Sistema Aquífero Dolomito** engloba a Formação Gandarela, que está sobreposta em contato gradacional aos itabiritos. Seus aquíferos são descontínuos e fraturados (falhas, juntas e diaclases) e cársticos devido à dissolução de carbonatos. Assim, a porosidade e permeabilidade são secundárias. São livres e podem ser confinados por regolitos argilosos. De modo geral a recarga ocorre por águas pluviais, mas também pode ser influenciada pelos Sistemas Aquíferos Itabirítico, Quartzítico e de Coberturas com comportamento Granular (AMPLO, 2019).

1.1.10.3.3 Zona de Aquíferos Pobres

Por fim, a Zona de Aquíferos Pobres ocorre de forma predominante na sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão. Esta apresenta baixo potencial hidrogeológico, com baixas capacidades de armazenamento e transmissividade e é constituída por um único sistema aquífero, denominado Granito-Gnaíssico.

O **Sistema Aquífero Granito-Gnáissico** abrange as rochas cristalinas do Complexo Bonfim e sua suíte Gnaisse Souza Noschese, que formam aquíferos fraturados com o fluxo subterrâneo ocorrendo em planos de falhas, fraturas ou juntas que se intercomunicam em uma complexa rede hidráulica. As capacidades de armazenamento e transmissividade da água subterrânea dependem dos graus de faturamento, extensão e interligação hidráulica das descontinuidades.

A alteração das rochas deste sistema forma reservatórios de característica granular, como explicado no Sistema Aquífero Coberturas/Granular. As áreas de descarga estão relacionadas com os níveis de base do rio Paraopeba e ribeirão Ferro-Carvão. Uma vez que a água atinge o contato solo-rocha, o fluxo passa a ser horizontal e controlado pela porosidade secundária das unidades (AMPLO, 2019).

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.10.4 Potenciometria das Áreas de Estudo

O mapa potenciométrico é elaborado a partir da união de linhas equipotenciais e linhas de fluxo. As linhas equipotenciais representam os locais de uma área que apresentam a mesma carga hidráulica, ou seja, mesma cota do nível d'água. A proximidade ou distanciamento das equipotenciais remetem o gradiente hidráulico do aquífero, e podem indicar condições de condutividade hidráulica em sub-superfície. As linhas de fluxo são dispostas de forma perpendicular às equipotenciais, indicando o sentido do escoamento subterrâneo.

O mapa da Figura 1-120 exibe o esboço da potenciometria nas áreas de estudo. Esta análise foi elaborada a partir das cotas de nascentes cadastradas em mapeamentos conduzidos pela empresa MDGeo no ano de 2022, associadas às cotas hidráulicas dos poços e piezômetros presentes, cujos dados foram disponibilizados pelo portal Siagas e pela Vale S/A. De maneira geral, as linhas de fluxo apresentadas indicam escoamento de nordeste para sudoeste, alimentando o aquífero livre existente, cujo nível d'água aflora nas nascentes e drenagens locais tendo como direção preferencial o rio Paraopeba.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

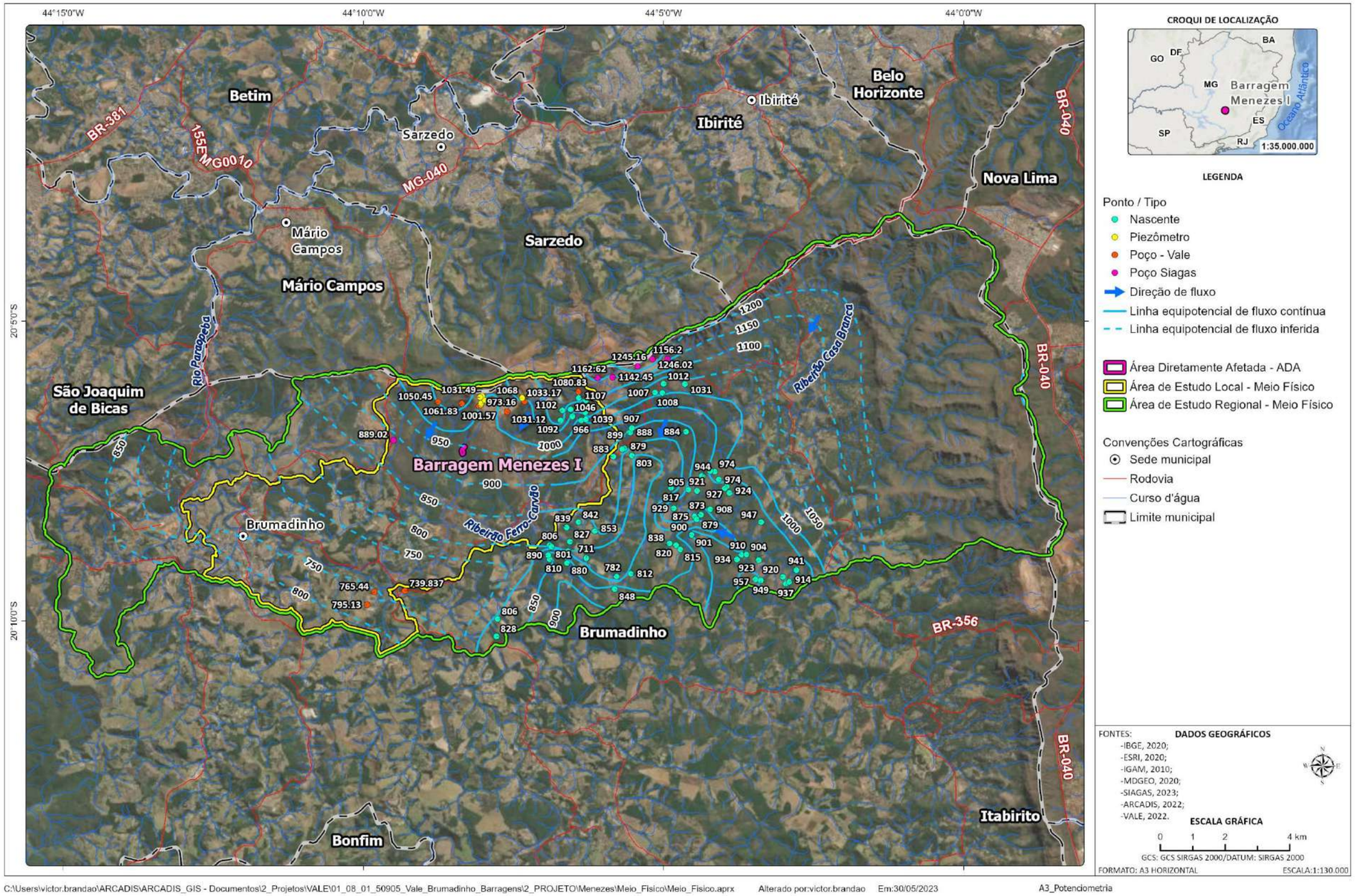


Figura 1-120 - Mapa potenciométrico da área de estudo.

Elaboração: Arcadis, 2023. Fonte: Siagas (2023); MDGeo, 2020.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

1.1.10.5 Uso das águas subterrâneas

Os usos das águas subterrâneas foram verificados com base em dados de outorgas e usos insignificantes disponibilizados pelo IGAM através do portal IDE-Sisema. Também foi avaliado cadastro de usuários realizado pela Vale na região.

Conforme dados consultados, existem 57 usuários de águas subterrâneas, dos quais 42 situam-se na Área de Estudos Regional e 15 na Área de Estudos Local. Do total, 41 registros são outorgas e 16 usos insignificantes. A figura a seguir ilustra a localização dos usuários identificados.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

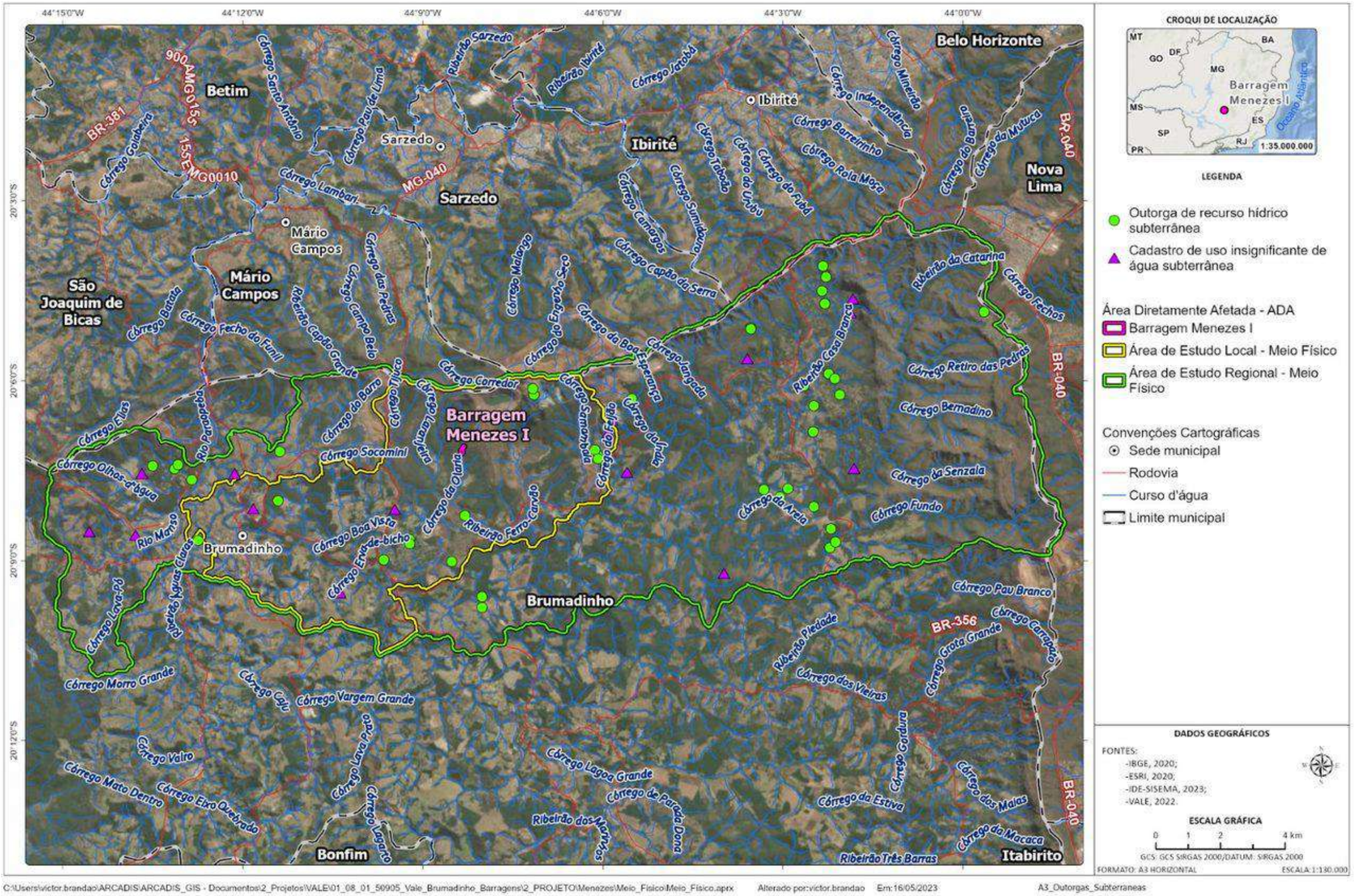


Figura 1-121 - Mapa de localização com outorgas e uso insignificantes na área de estudo.

Elaborado por Arcadis,2023. Fonte: Ide-Sisema, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

No que se refere às finalidades, foram identificadas 12 tipologias de uso dos recursos hídricos dentre os registros levantados, sendo elas: Abastecimento público, Aquicultura, Aspersão de Vias, Combate a incêndio, Consumo humano, Consumo industrial, Dessedentação de animais, Extração mineral, Irrigação, Lavagem de veículos, Paisagismo e Rebaixamento de lençol freático para fins de mineração. Alguns registros não apresentavam finalidade cadastrada no banco de dados, sendo tratados pela denominação "Sem Informação". A quantidade de finalidades por registro encontra-se apresentada na Figura 1-122, a seguir.

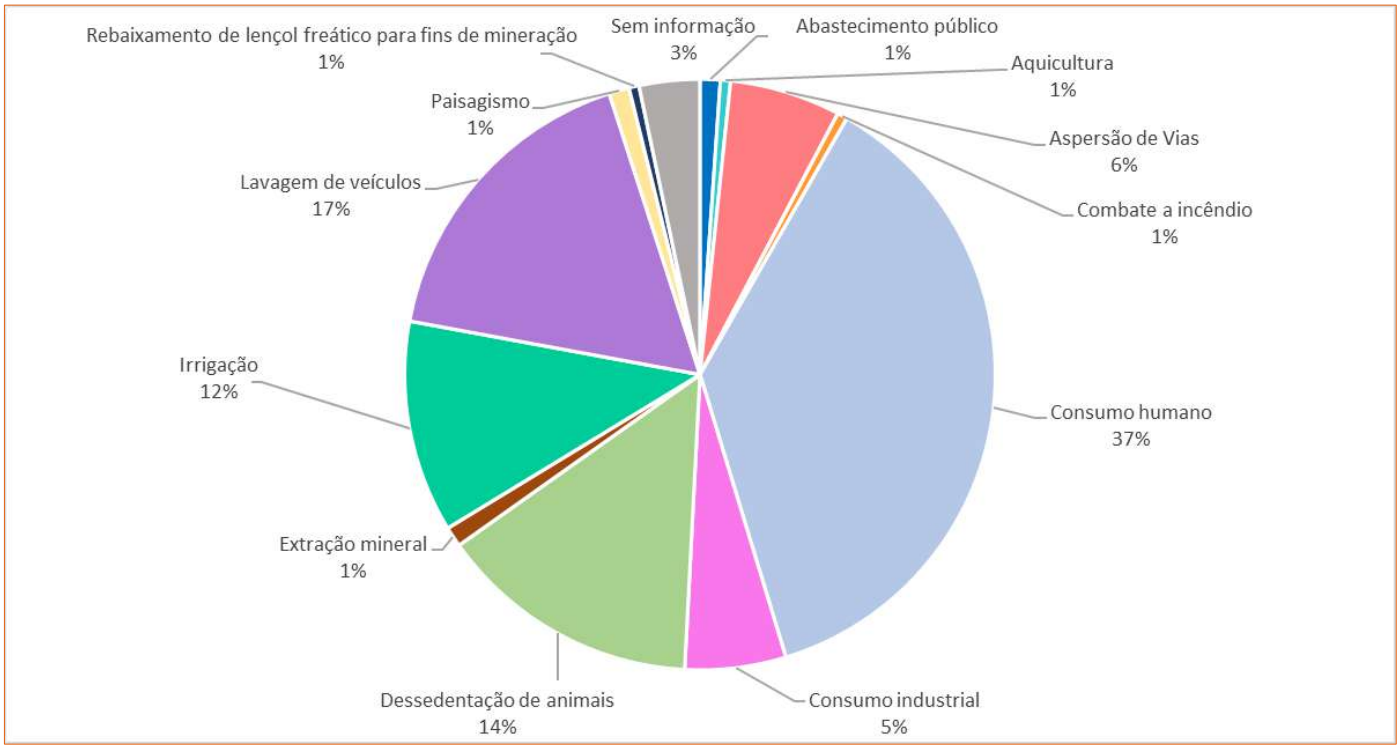


Figura 1-122. Finalidades de usos de água subterrânea na área de estudo.

Elaborado por Arcadis,2023. Fonte: Ide-Sisema, 2023.

Avaliando as finalidades é possível observar que consumo humano, lavagem de veículos, dessedentação de animais e irrigação são as que possuem maior número de registros nas áreas de estudos regional e local. Entretanto, observa-se que as finalidades que demandam maior vazão são consumo humano, rebaixamento de lençol freático para fins de mineração e abastecimento público. A Tabela 1-38 demonstra as vazões consumidas por finalidade, em ordem decrescente. Destaca-se que foram consideradas no cômputo dos valores de vazão apenas as finalidades enquadradas como "1" no banco de dados, consideradas como os principais usos referentes aos registros.

Tabela 1-38 - Vazões obtidas nas outorgas e cadastros de usos insignificantes.

Finalidades	Vazão m³/h
Consumo humano	402,895
Rebaixamento de lençol freático para fins de mineração	400,000
Abastecimento público	60,480
Sem informação	9,500

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Finalidades	Vazão m³/h
Extração mineral	7,000
Dessedentação de animais	5,090
Irrigação	2,000
Lavagem de veículos	2,000
Consumo industrial	0,090
Aquicultura	-
Aspersão de Vias	-
Combate a incêndio	-
Paisagismo	-

Elaborado por Arcadis,2023. Fonte: Ide-Sisema, 2023.

1.1.10.6 Síntese Conclusiva

Conforme mapeamento hidrogeológico da CPRM referente à folha SF 23 - Rio de Janeiro, em escala 1:1.000.000, elaborado no âmbito do “Projeto de Disponibilidade Hídrica do Brasil”, observa-se que as áreas de estudo se encontram majoritariamente na classe de aquíferos denominada fraturada, com produtividade geralmente muito baixa, porém localmente baixa. Nesta classe, os fornecimentos contínuos de água são dificilmente garantidos (CPRM, 2015). Em porções a nordeste e leste da Área de Estudo Regional ocorre a classe fraturada com produtividade geralmente baixa, porém localmente moderada, em que há fornecimento de água suficiente para suprir abastecimentos locais ou consumos privados.

Os aspectos hidrogeológicos da Área de Estudo Local foram descritos com base na caracterização elaborada pela empresa Amplo Engenharia para a bacia hidrográfica do ribeirão Ferro-Carvão, no âmbito do Estudo de Impacto Ambiental para as Obras Emergenciais decorrentes do rompimento da barragem B-I (2019). Esta caracterização baseou-se no mapeamento da Carta Brumadinho, que integra o Projeto APA Sul RMBH (Beato et al., 2005), e possibilitou a definição de sistemas e zonas hidrogeológicas através da compartimentação de acordo com os aspectos e propriedades físicas das unidades litoestratigráficas presentes na área. Neste contexto, para a bacia do ribeirão Ferro-Carvão foram identificadas três zonas: zonas aquíferas, não aquíferas e aquíferos pobres.

A Zona Aquífera abrange litologias com alto potencial hidrogeológico, apresentando maiores capacidades de armazenamento e condução de águas subterrâneas. Esta se estabelece nos Sistemas Aquíferos Coberturas/Granular (formado por coberturas superficiais), Itabirítico (constituído por litologias da Formação Cauê) e Quartzítico (formado por litologias da Formação Moeda). Sua manifestação se dá principalmente na porção norte da bacia do ribeirão Ferro-Carvão.

A Zona Não Aquífera também se encontra na porção norte da bacia, compreendendo o Sistema Aquífero Filítico/Aquitardo (Formação Batatal) e o Sistema Aquífero Dolomito (Formação Gandarela). Seus aquíferos apresentam baixas capacidades de armazenamento e transmissividade, admitindo-se características de aquicludes e aquitardos.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Por fim, a Zona de Aquíferos Pobres apresenta baixo potencial hidrogeológico, com baixas capacidades de armazenamento e transmissividade e é constituída por um único sistema aquífero, denominado Granito-Gnaíssico (Complexo Bonfim - Gnaisse Souza Noschese). Esta ocorre de forma predominante na sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão.

Quanto aos usos da água subterrânea nas áreas de estudo, observa-se que a maior parte dos registros se referem a Usos Insignificantes. Avaliando as finalidades é possível observar que consumo humano, lavagem de veículos, dessedentação de animais e irrigação são as atividades que possuem maior número de registros. Entretanto, no que se refere às vazões observa-se que as finalidades com maiores volumes captados são consumo humano, rebaixamento de lençol freático para fins de mineração e abastecimento público.

1.1.11 Qualidade das Águas Subterrâneas

1.1.11.1 Metodologia

Neste item será apresentada a avaliação da qualidade das águas subterrâneas nas áreas de estudo, desenvolvida a partir da análise de dados obtidos em pontos de monitoramento implementados pelo empreendedor no entorno da Mina de Feijão que distam entre aproximadamente 1,3km e 3,7km da ADA. Este monitoramento ocorre em atendimento à condicionante 04 da Licença Ambiental Simplificada nº 462/2019 que licencia a disposição, na cava da Mina de Feijão, de rejeitos oriundos das obras emergenciais para reparação do dano ambiental ocasionado pelo rompimento da barragem B-I. Ressalta-se que não foram identificados impactos potenciais nas águas subterrâneas em decorrência das obras de descaracterização, sendo a presente análise realizada apenas para fins de *background* e caracterização geral da área.

Diante deste contexto, a Tabela 1-39 apresenta a relação dos pontos de monitoramento avaliados e sua localização, bem como formação geológica em que estão inseridos. A distribuição espacial dos pontos também está demonstrada na Figura 1-123. Ressalta-se que o recorte temporal analisado se refere aos anos de 2021 e 2022, contemplando os três últimos períodos chuvosos e de estiagem.

Tabela 1-39 - Pontos analisados de Água Subterrânea.

Ponto*	Formação geológica	Coordenadas SIRGAS 2000	
		UTM E (m)	UTM N (m)
PMP-01	Formação Batatal	589976,00	7776533,00
PMP-02	Formação Cauê	590466,00	7776447,00
PMP-03	Formação Batatal	591286,00	7776269,00
PMP-04*	Formações Batatal/Cauê	591792,00	7776586,00
PMP-07	Formação Batatal	589286,00	7776582,00
PMP-10	Formação Cauê	593353,00	7776877,00

** O PMP-04 apresenta características litológicas de ambas as formações (Cauê e Batatal) no intervalo em que foi instalada a seção filtrante.*

Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

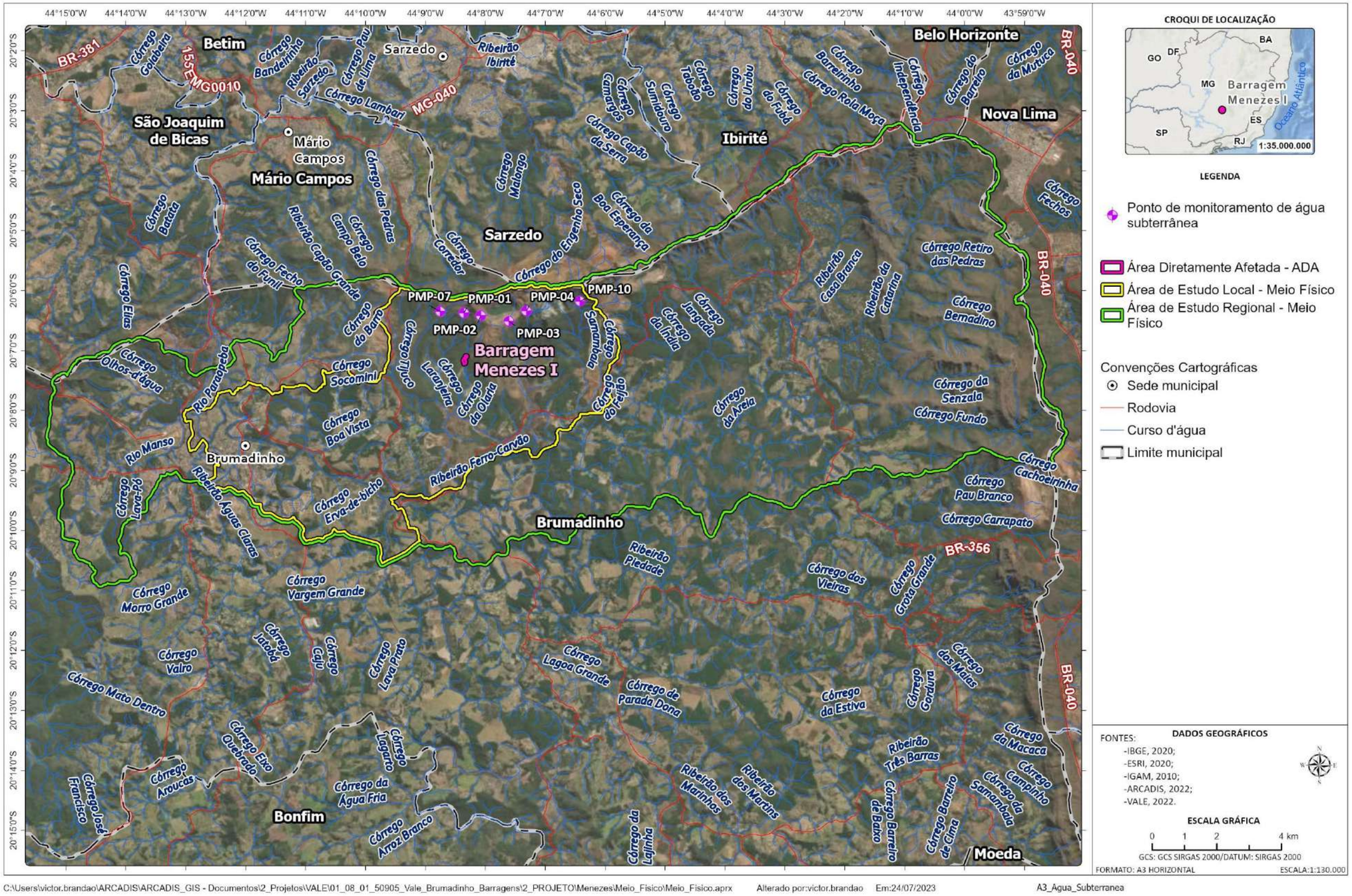


Figura 1-123 - Localização dos pontos de monitoramento analisados de água subterrânea.

Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

O laboratório contratado para o monitoramento das águas subterrâneas no entorno da Cava de Feijão para o período analisado foi o SGS Geosol, acreditado pelo INMETRO no escopo da norma ISO 17025. As análises seguem as diretrizes estabelecidas pela ANA em conjunto com a CETESB, em 2011, no “Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos”, e as normas ABNT NBR 15847:2010 e ABNT NBR 16435:2015 que versam sobre amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento e controle de qualidade (respectivamente).

Os parâmetros de interesse avaliados neste estudo foram Alumínio total e dissolvido, Arsênio total e dissolvido, Bário total e dissolvido, Cádmio total e dissolvido, Chumbo total e dissolvido, Cobalto total e dissolvido, Cobre total e dissolvido, Condutividade elétrica, Cor aparente, Cromo total e dissolvido, Ferro total e dissolvido, Manganês total e dissolvido, Mercúrio total e dissolvido, Níquel total e dissolvido, Oxigênio Dissolvido, pH, Sólidos Dissolvidos Totais, Turbidez e Zinco total e dissolvido.

Foram analisadas as médias mensais dos resultados obtidos, que foram posteriormente comparadas com os limites de referência estabelecidos, no âmbito Estadual, pela Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011, que trata dos padrões de referência para solos e água subterrânea. No âmbito Federal, a legislação utilizada como referencial foi a Resolução CONAMA nº 420/2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo e água subterrânea quanto à presença de substâncias químicas. Os valores referenciados por ambas as normativas são iguais, com exceção do Cobalto, que a nível estadual é 5 µg/L e a nível federal é 70 µg/L. As referidas legislações não fazem distinção quanto às frações dissolvida e total e, por esta razão, adotou-se no presente relatório o mesmo limite para ambas. A Tabela 1-40 apresenta os valores de referência para os parâmetros analisados.

Tabela 1-40 - Valores de referência para os parâmetros analisados.

Parâmetros	Valores orientadores Investigação (COPAM 166/11)	Valores Orientadores Investigação (CONAMA 420/09)
Alumínio total e dissolvido (µg/L)	3500	3500
Arsênio total e dissolvido (µg/L)	10	10
Bário total e dissolvido (µg/L)	700	700
Cádmio total e dissolvido (µg/L)	5	5
Chumbo total e dissolvido (µg/L)	10	10
Cobalto total e dissolvido (µg/L)	5	70
Cobre total e dissolvido (µg/L)	2000	2000
Condutividade elétrica (µS/cm)	-	-
Cor aparente (CU)	-	-
Cromo total e dissolvido (µg/L)	50	50
Ferro total e dissolvido (µg/L)	2450	2450
Manganês total e dissolvido (µg/L)	400	400
Mercúrio total e dissolvido (µg/L)	1	1
Níquel total e dissolvido (µg/L)	20	20
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	-	-
pH (un)	-	-

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Parâmetros	Valores orientadores Investigação (COPAM 166/11)	Valores Orientadores Investigação (CONAMA 420/09)
Sólidos Dissolvidos Totais (µg/L)	-	-
Turbidez (NTU)	-	-
Zinco total e dissolvido (µg/L)	1050	1050

Elaborado por Arcadis, 2023.

Além das legislações citadas, também foram consultados, quando pertinente, resultados de concentrações de baseline relativos às duas principais unidades aquíferas representativas do local em que a Cava de Feijão está inserida (Formação Cauê e Formação Batatal). Os valores foram obtidos a partir de estudo elaborado por Arcadis (2020) e protocolado junto à Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) (Protocolo SEI nº 13900044 - processo 1370.01.0015586/2020-43). Este estudo passou por revisões subsequentes, também protocoladas junto ao órgão ambiental. Sendo assim, no presente diagnóstico são considerados os valores apresentados no Relatório Anual de Atendimento ao PCA e ao LAS (Plano de Controle Ambiental - Obras Emergenciais e Disposição de Rejeito em Cava), protocolado em março de 2023 (ARCADIS, 2023).

1.1.11.2 Contextualização da Área de Estudo Local

1.1.11.2.1 Resultados

A. Metais e semimetais

a. Alumínio

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelecem VMP de 3500,00 µg/L para Alumínio em águas subterrâneas. As figuras a seguir (Figura 1-124 e Figura 1-125), apresentam os resultados médios mensais de Alumínio para as frações total e dissolvida nos pontos avaliados. Cabe ressaltar que os valores que se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico laboratorial não foram representados graficamente.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

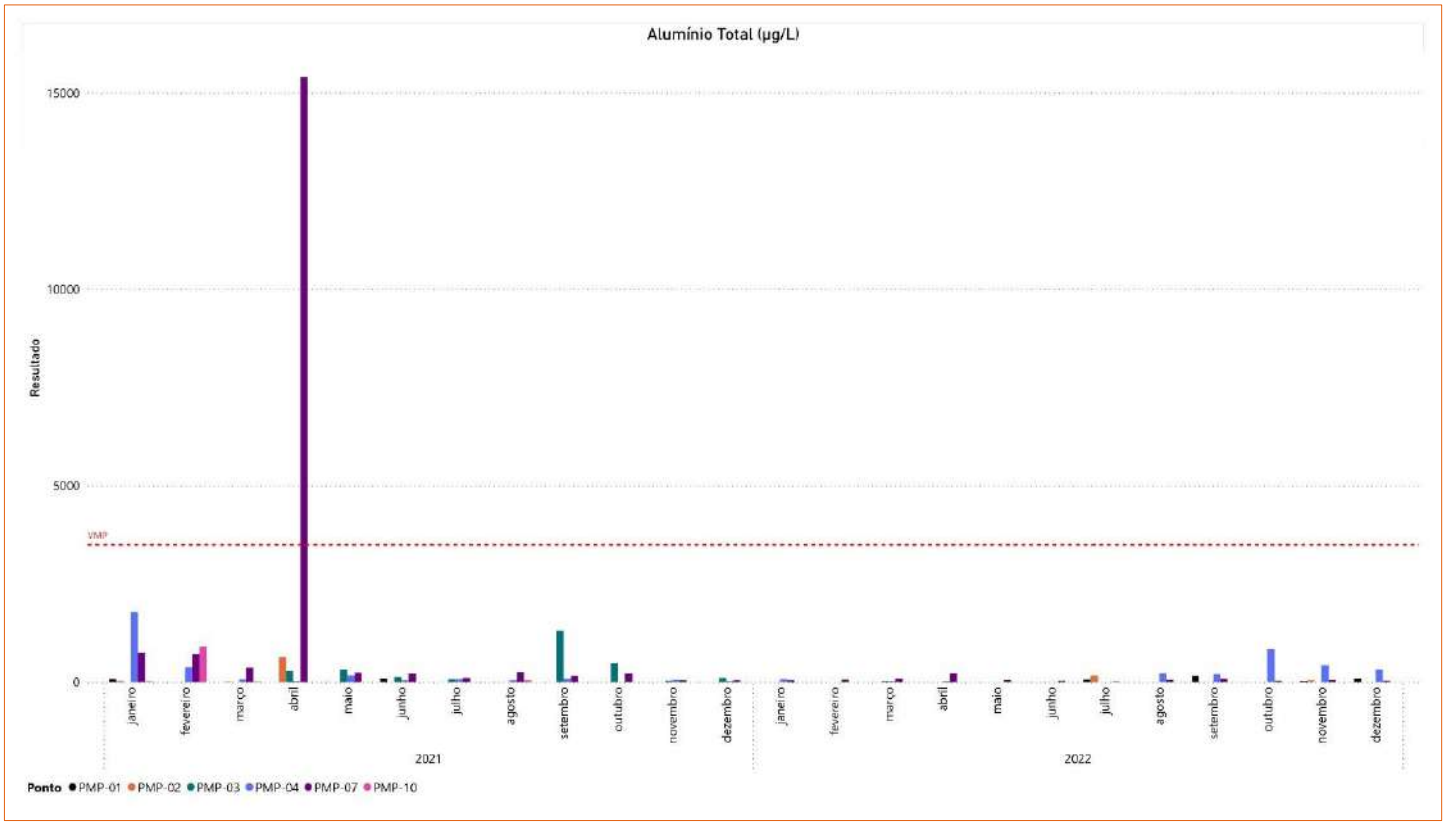


Figura 1-124 - Distribuição dos resultados de Alumínio Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Analisando os resultados médios obtidos para o parâmetro Alumínio total, observa-se que houve desvio quanto ao limite estipulado pelas legislações apenas no mês de abril de 2021, para o ponto PMP-07. Os demais resultados apresentaram-se em acordo com o VMP, sendo parte deles abaixo do limite de quantificação do método analítico laboratorial. Considera-se, assim, que o desvio observado trata-se de um resultado pontual, compreendido como um *outlier*.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

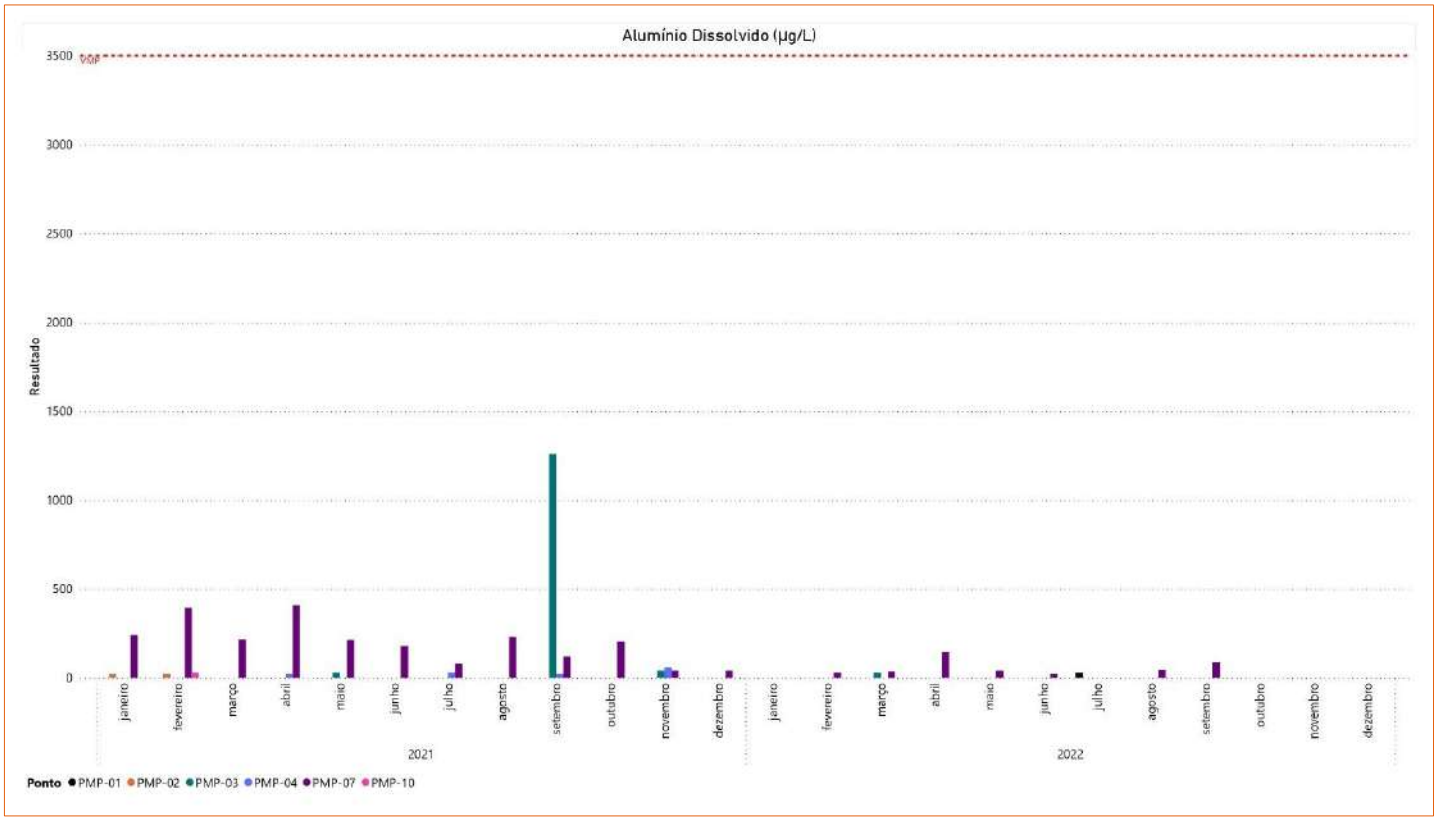


Figura 1-125 - Distribuição dos resultados de Alumínio Dissolvido nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Para o parâmetro alumínio dissolvido não foram observados resultados que ultrapassem o VMP. O maior valor médio mensal identificado ocorreu no ponto PMP-03, no mês de setembro, estando ainda abaixo dos limites estipulados pela legislação. Ressalta-se que parte significativa dos resultados obtidos se encontrou abaixo do limite de quantificação laboratorial, com destaque para os meses de janeiro, outubro e novembro de 2022, quando nenhum dos resultados obtidos foi detectável.

b. Arsênio

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelecem VMP de 10,00 µg/L para Arsênio. A Figura 1-126 e Figura 1-127, a seguir, apresentam os gráficos de distribuição dos resultados nos pontos avaliados para as frações total e dissolvida.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

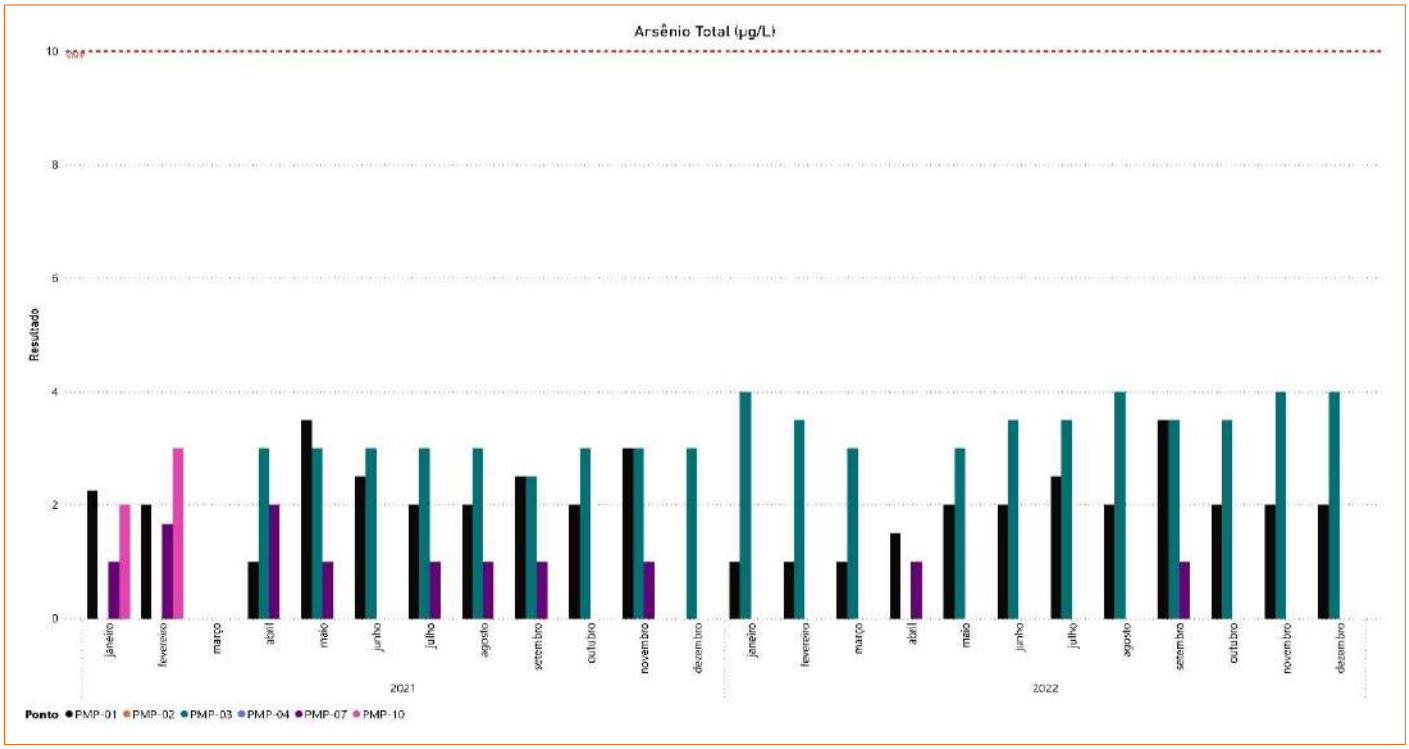


Figura 1-126 - Distribuição dos resultados de Arsênio Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea do entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

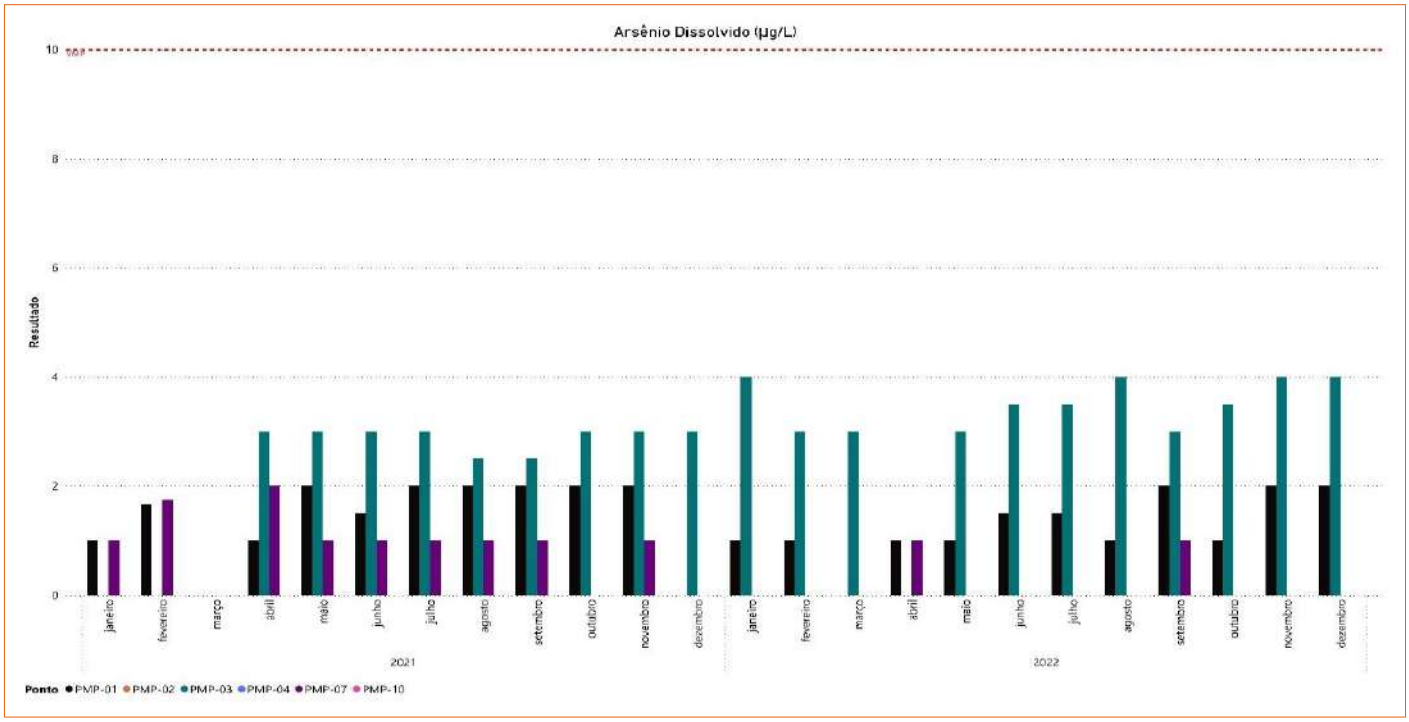


Figura 1-127 - Distribuição dos resultados de Arsênio Dissolvido nos pontos de monitoramento de água subterrânea do entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

No que se refere aos resultados obtidos para arsênio total, nenhum ultrapassou o VMP estipulado pelas legislações em análise. Ressalta-se que parte significativa dos valores mantiveram-se abaixo do limite quantificável do método analítico laboratorial, com destaque para os pontos PMP-02 e PMP-04, que não apresentaram qualquer valor detectável durante o período analisado. Resultados semelhantes foram observados para o arsênio dissolvido, não sendo identificadas quaisquer ultrapassagens do VMP. Parte significativa dos resultados também se apresentaram abaixo do limite quantificável pelo método laboratorial para esta fração..

c. Bário

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelecem VMP de 700,00 µg/L para Bário. A Figura 1-128 e Figura 1-129, a seguir, apresentam os gráficos de distribuição dos resultados nos pontos avaliados.

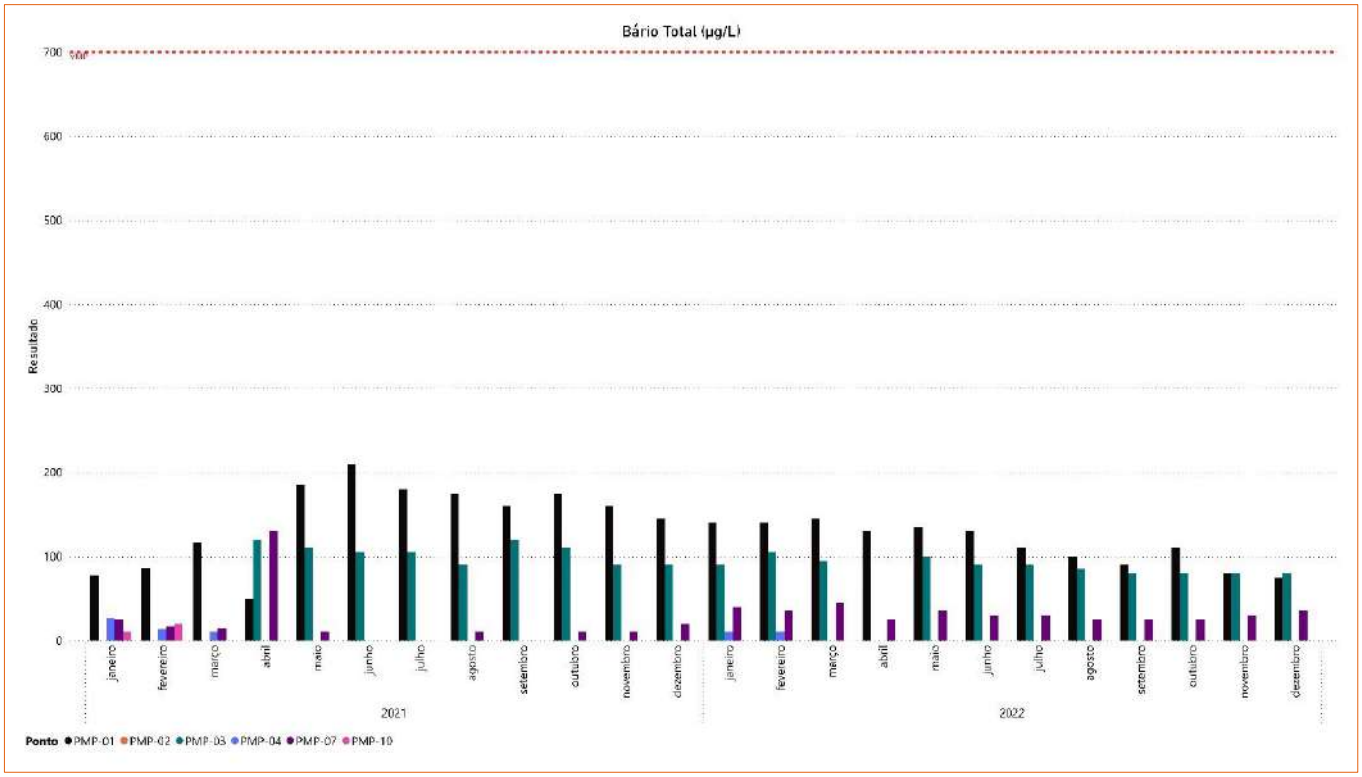


Figura 1-128 - Distribuição dos resultados de Bário Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

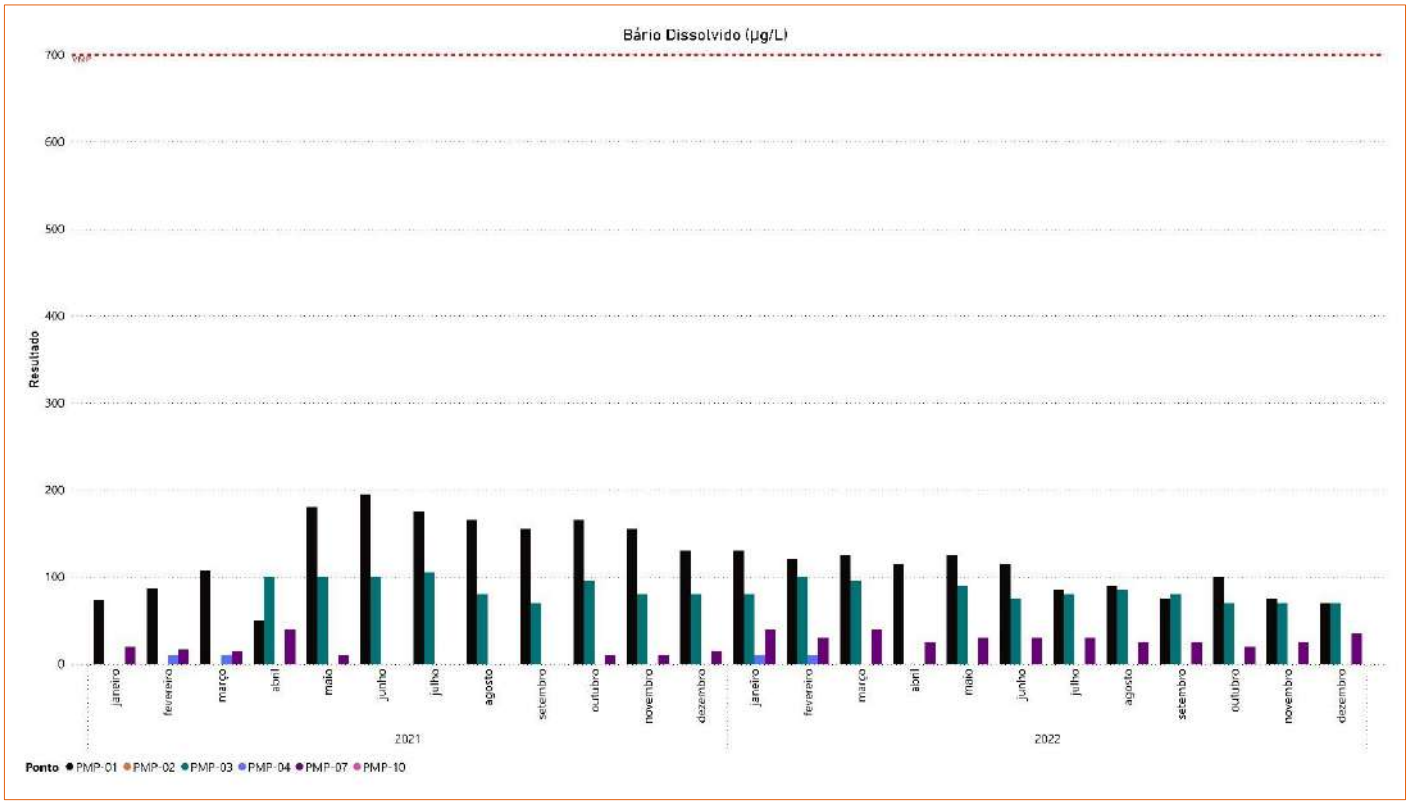


Figura 1-129 - Distribuição dos resultados de Bário Dissolvido no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

A partir dos resultados obtidos para o Bário nas frações total e dissolvida, observa-se que não ocorreram desvios em relação VMP definido nas legislações. Ressalta-se que parte significativa dos resultados encontraram-se abaixo do limite quantificável pelo método analítico laboratorial.

d. Cádmio

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelecem VMP de 5,00 µg/L para Cádmio. Todos os valores obtidos durante o período avaliado se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico e, portanto, de acordo com o VMP. Por esse motivo, os resultados não foram representados graficamente.

e. Chumbo

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelecem o VMP de 10,00 µg/L para chumbo. A Figura 1-130, a seguir, representa a distribuição dos resultados nos pontos avaliados para o parâmetro chumbo total.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

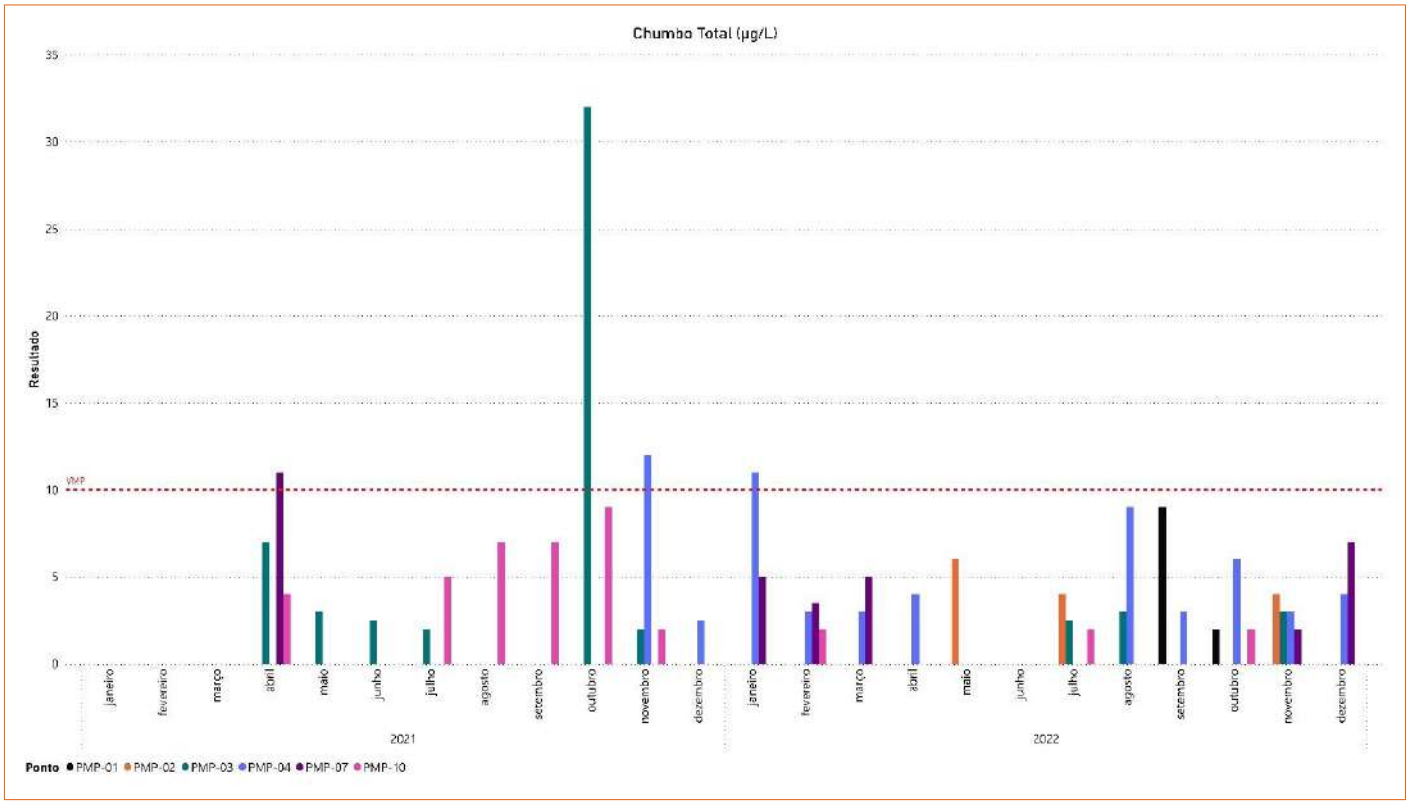


Figura 1-130 - Distribuição dos resultados de Chumbo Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Os resultados apresentados demonstram que ocorreram desvios para chumbo total nos pontos PMP-07, em abril de 2021; PMP-03, no mês de outubro de 2021; e no ponto PMP-04 nos meses de novembro de 2021 e janeiro de 2022. Apesar dos desvios, ressalta-se dos resultados obtidos nestes pontos permaneceram majoritariamente abaixo do VMP estipulado pelas legislações analisadas. De forma geral, parte significativa dos valores obtidos não ultrapassou o limite de quantificação do método analítico laboratorial, destacando-se os meses de janeiro, fevereiro e março de 2021, e o mês de junho de 2022.

Os resultados obtidos para chumbo dissolvido apresentaram-se iguais ao limite quantificável do método analítico laboratorial na maior parte das análises enquadrando-se, portanto, dentro dos limites de VMP estabelecidos. A exceção se deu em três ocasiões nos pontos PMP 01, PMP 02 e PMP 07, no mês de março de 2021, quando os limites foram quantificáveis, mas ainda assim estavam de acordo com o VMP. Por esta razão, os resultados não foram apresentados graficamente.

f. Cobalto

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelecem os VMPs de 5,00 µg/L e 70,00 µg/L para o Cobalto em águas subterrâneas, respectivamente. A Figura 1-131 e Figura 1-132 demonstram os resultados obtidos em comparação aos VMPs.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

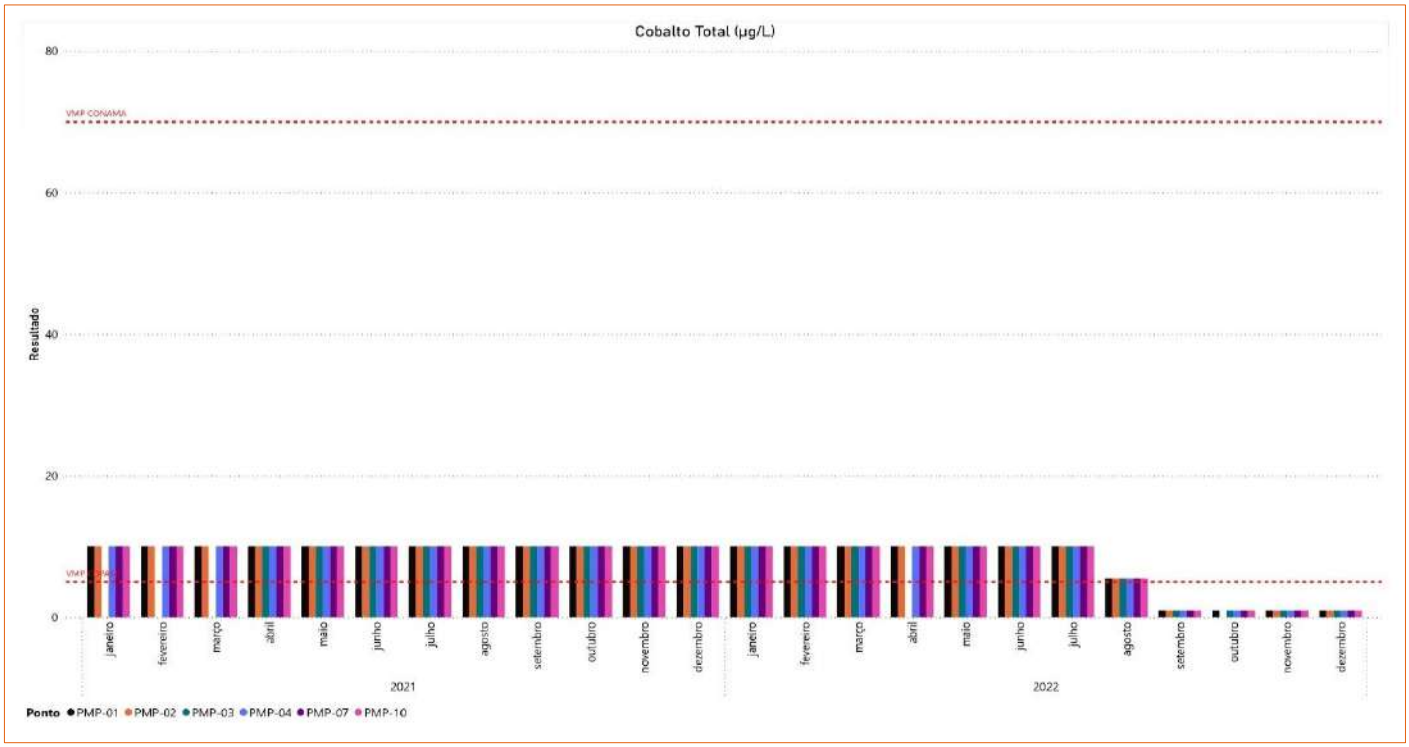


Figura 1-131 - Distribuição dos resultados de Cobalto Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

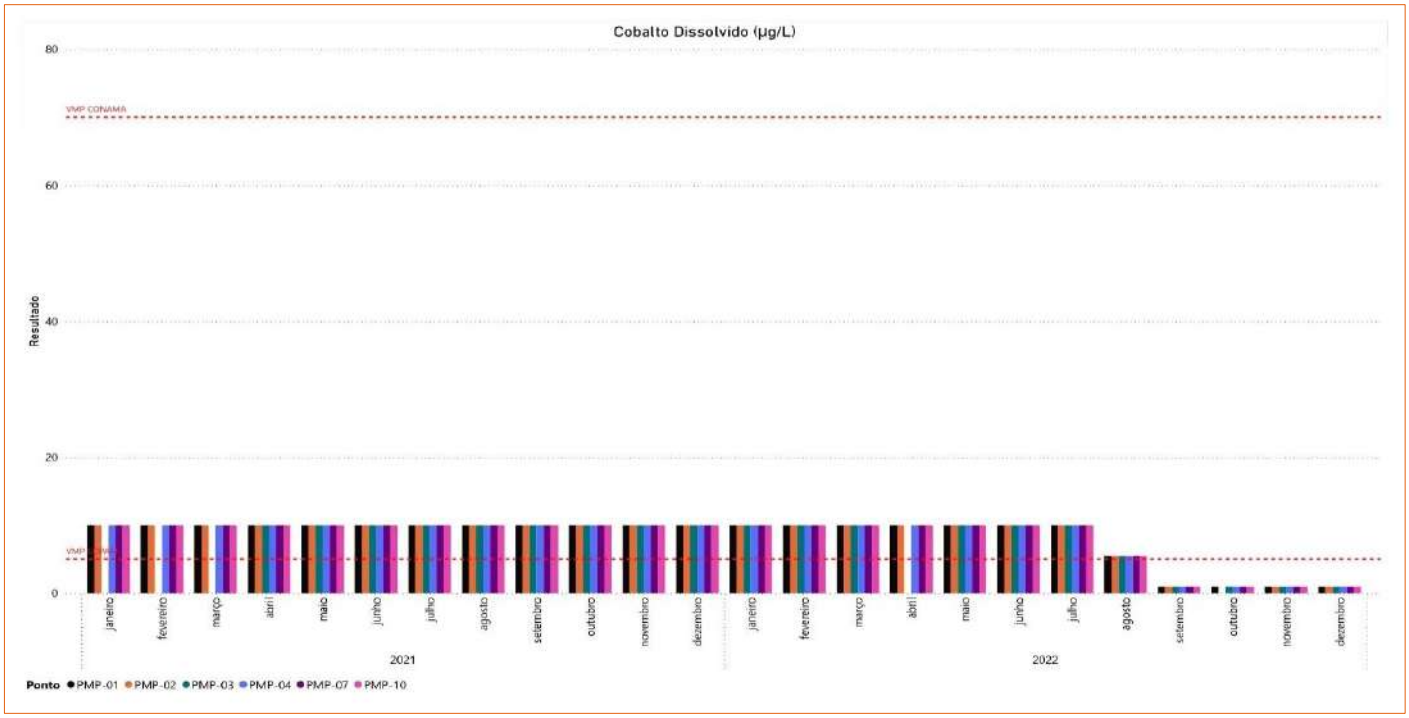


Figura 1-132 - Distribuição dos resultados de Cobalto Dissolvido nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Todos os resultados obtidos durante o período avaliado se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico laboratorial. Este limite de quantificação, entretanto, excede o limite de máximo estabelecido na COPAM nº 166/11. Para a Resolução CONAMA Nº 420/09, a nível federal, que considera o limite de 70 µg/L, o valor de LQ está em conformidade.

g. Cobre

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelecem VMP de 2000,00 µg/L para Cobre. Todos os resultados obtidos durante o período avaliado se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico laboratorial e, por este motivo, não foram apresentados graficamente.

h. Cromo

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelecem VMP de 50,00 µg/L para Cromo. Todos os resultados obtidos durante o período avaliado se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico laboratorial e, portanto, dentro do VMP pelas legislações consideradas.

i. Ferro

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelecem VMP de 2450,00 µg/L para Ferro em águas subterrâneas. A Figura 1-133 e Figura 1-134, a seguir, apresentam a distribuição dos resultados nos pontos avaliados para Ferro Total e Dissolvido.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

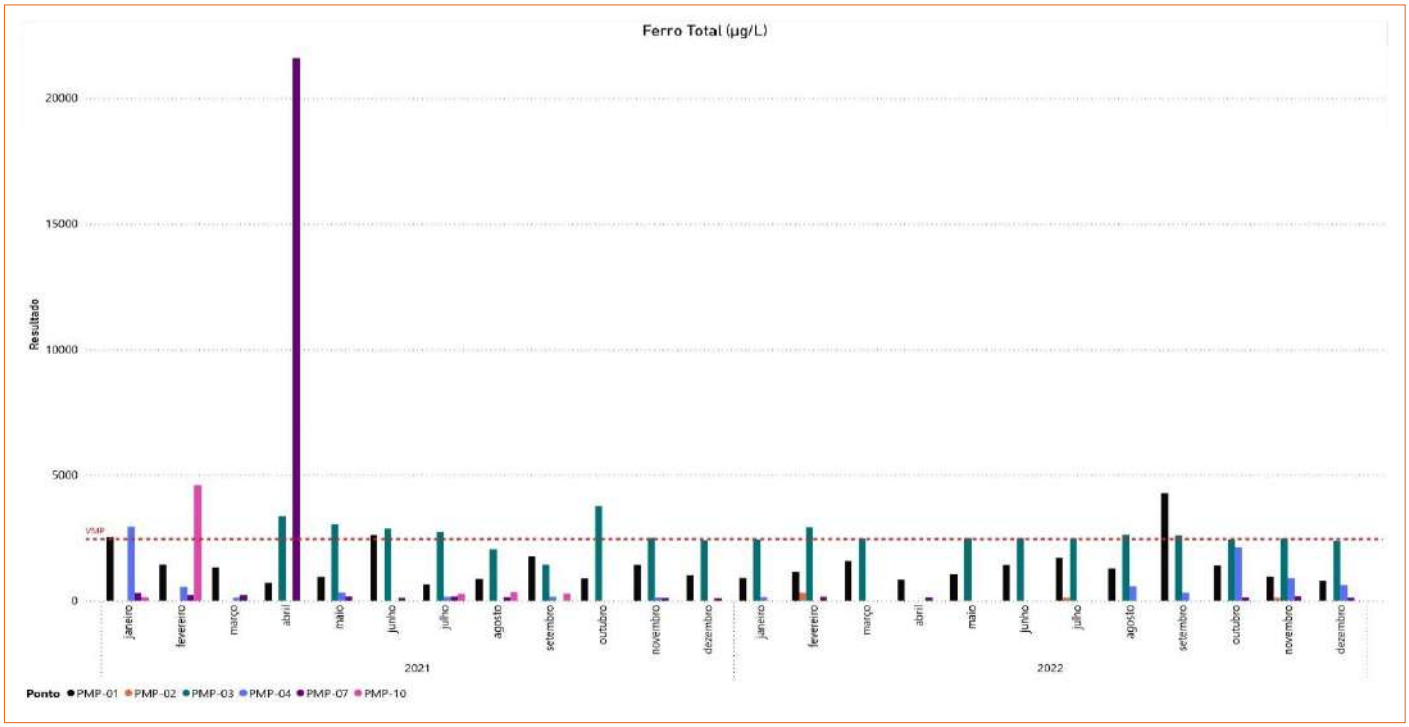


Figura 1-133 - Distribuição dos resultados de Ferro Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

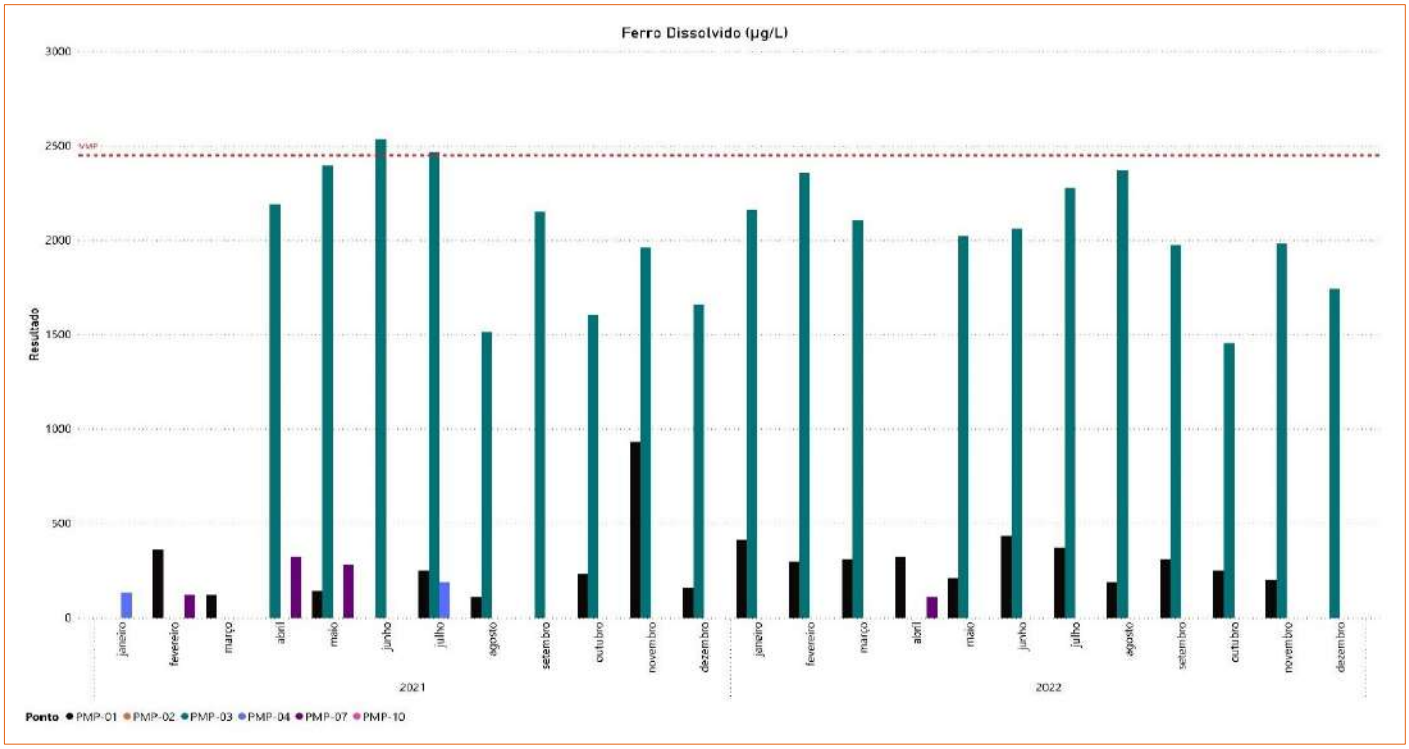


Figura 1-134 - Distribuição dos resultados de Ferro Dissolvido nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Para o Ferro Total, foram observadas concentrações médias acima do VMP estabelecido pela legislação em todos os pontos avaliados em ao menos um mês do período em análise. A exceção se deu no PMP-02, cuja maior parte dos resultados estiveram abaixo do limite de quantificação do método analítico. Cabe ressaltar que o ponto PMP-07 apresentou baixas concentrações ao longo de todo o período, apresentando apenas um resultado consideravelmente elevado (21600 µg/L) no mês de abril de 2021. Considerando que o desvio ocorreu de forma isolada, este valor pode ser compreendido como um *outlier*. Ressalta-se, ainda, o comportamento observado no ponto PMP-03, em que 6 resultados ultrapassaram o VMP, e outros estiveram próximos ao limite.

Para o ferro dissolvido, foram observados dois resultados médios mensais com desvio em relação ao VMP, no ponto PMP-03, em junho e julho de 2021, apresentando 2535,00 µg/L e 2465,00 µg/L respectivamente. Neste mesmo ponto foram observados outros valores próximos ao VMP.

De forma geral, compreende-se que valores elevados de ferro podem estar associados à marcante presença deste elemento em rochas do Quadrilátero Ferrífero, sendo característicos do *background* natural da região (VICQ *et al*, 2015). Entretanto, cabe apontar que o ponto PMP-03 apresentou alterações mais frequentes, visto que teve o maior número de desvios do VMP dentre os poços avaliados.

Conforme Arcadis (2023), o poço PMP-03 apresenta historicamente valores de ferro e manganês acima dos limites de referência, comportamento que vem sendo investigado pela Vale S/A. Até o momento, as avaliações realizadas sobre o PMP-03 sugerem que este apresenta comportamento singular quando comparado a outros poços presentes no filito Batatal, como o PMP-01 e PMP-07. A principal hipótese levantada indica a presença de laminações hematíticas ou de material ocre e síltico no ponto de perfuração, que podem interferir diretamente nas concentrações dos referidos metais. Associado a este contexto, a baixa oxigenação do meio em que o PMP-03 está inserido promove um ambiente redutor (ORP negativo) com tendência de solubilização e aumento da concentração dos metais. Em conjunto a estes aspectos têm-se ainda o fato de que o PMP-03 foi instalado e selado em uma formação hidrogeológica de baixa permeabilidade, considerada um aquiclude, o que decorre em uma baixa renovação ou aporte hídrico da formação, corroborando para a lenta recuperação da característica hidroquímica original. Assim, os metais provindos das rochas apresentariam suas concentrações dissolvidas naturalmente maiores (ARCADIS, 2023).

j. Manganês

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelecem VMP de 400,00 µg/L para Manganês em águas subterrâneas. A Figura 1-135 e Figura 1-136, a seguir, apresentam a distribuição dos resultados nos pontos avaliados para as frações de manganês total e dissolvida.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

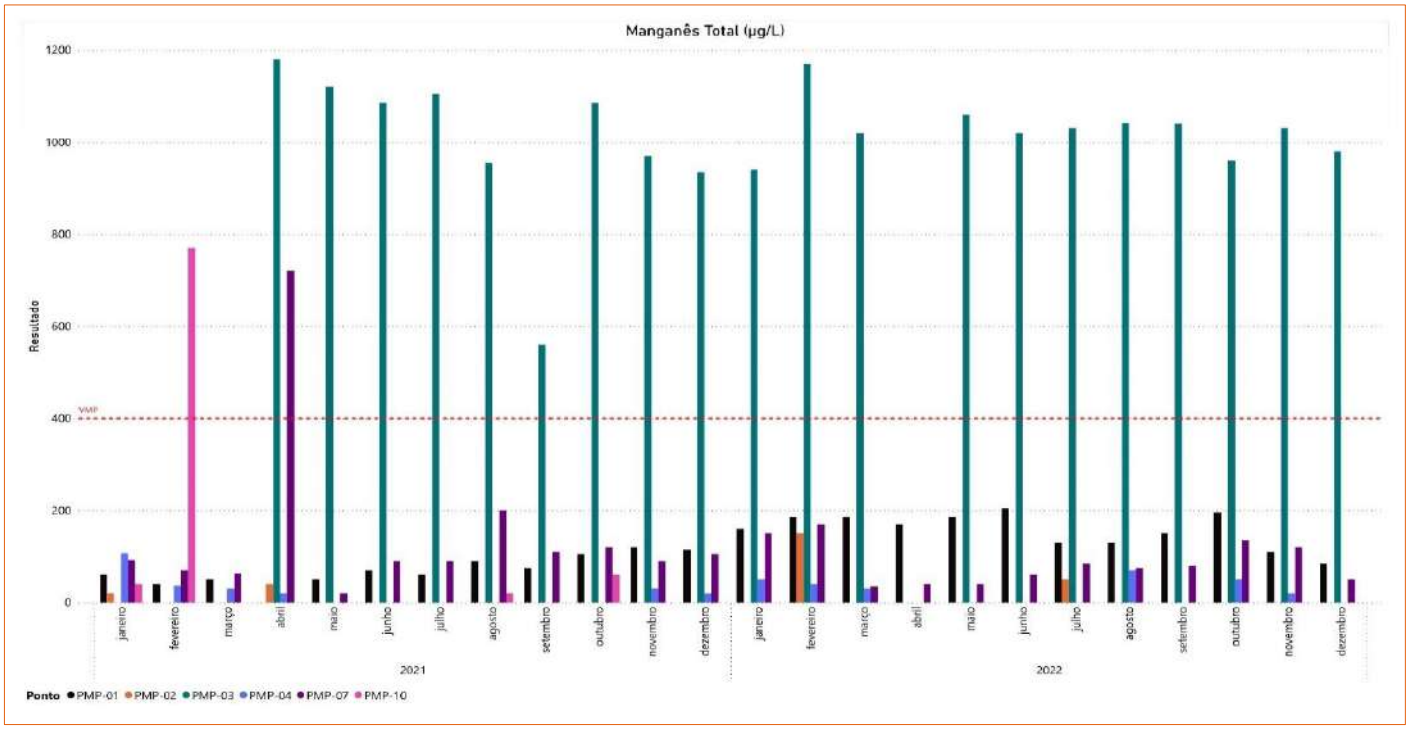


Figura 1-135 - Distribuição dos resultados de Manganês Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

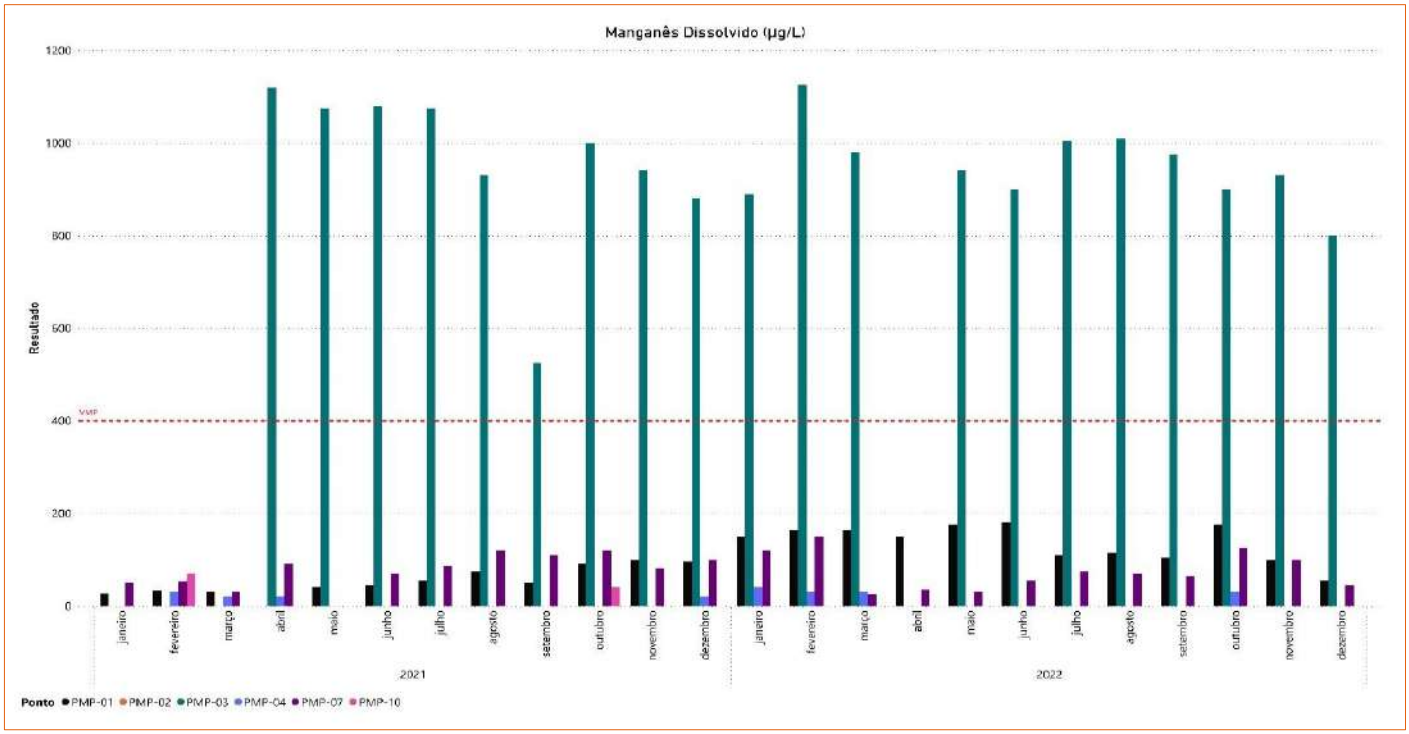


Figura 1-136 - Distribuição dos resultados de Manganês Dissolvido nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Para o Manganês Total, observa-se que os limites estabelecidos para o VMP foram ultrapassados de forma isolada nos pontos PMP-10, em janeiro de 2021, e PMP-07, em abril de 2021. O ponto PMP-03, entretanto, apresentou desvios entre os meses de abril de 2021 a março de 2022 e maio a dezembro de 2022, representando a maior parte do período avaliado. Os pontos PMP-01, PMP-02 e PMP-04 não apresentaram quaisquer desvios. Para o Manganês Dissolvido, foram observados valores acima no VMP apenas no ponto PMP-03, também representando a maior parte do período avaliado.

A partir dos resultados, verifica-se que o ponto PMP-03 apresentou as alterações mais marcantes. Conforme descrito no item anterior, referente ao parâmetro Ferro, o poço apresenta um comportamento atípico daquele observado em outros poços da Formação Batatal. As investigações sugerem a presença, no local de perfuração, de laminações hematíticas ou de material ocre e síltico, que podem interferir diretamente nas concentrações dos referidos metais. Associado a este aspecto, têm-se a baixa oxigenação do meio em que o PMP-03 está inserido, que promove um ambiente redutor que favorece a solubilização e aumento da concentração dos metais Ferro e Manganês. Por fim, destaca-se que o PMP-03 encontra-se em uma formação hidrogeológica de baixa permeabilidade, considerada um aquiclude, o que decorre em uma baixa renovação ou aporte hídrico da formação, corroborando para a lenta recuperação da característica hidroquímica original (ARCADIS, 2023).

k. Mercúrio

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelecem VMP de 1,00 µg/L para Mercúrio. Os resultados obtidos para o mercúrio nas frações total e dissolvida se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico para todos os pontos durante o período avaliado e, portanto, estão de acordo com a legislação aplicável, não sendo apresentados graficamente.

l. Níquel

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelecem VMP de 20,00 µg/L para Níquel. Os resultados obtidos durante o período analisado demonstram que a maior parte dos valores para a fração total e dissolvida se apresentaram abaixo do limite de quantificação do método analítico laboratorial e, portanto, de acordo com a legislação aplicável, não sendo apresentados graficamente. Considerando os resultados médios para a fração total, a exceção se deu em uma única ocasião, no ponto PMP-02 no mês de outubro de 2021, quando foi observado um resultado médio de 30,00 µg/L, ultrapassando o VMP.

m. Zinco

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelecem VMP de 1050,00 µg/L para Zinco. A Figura 1-137, a seguir, apresenta a distribuição dos resultados nos pontos avaliados para Zinco total.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

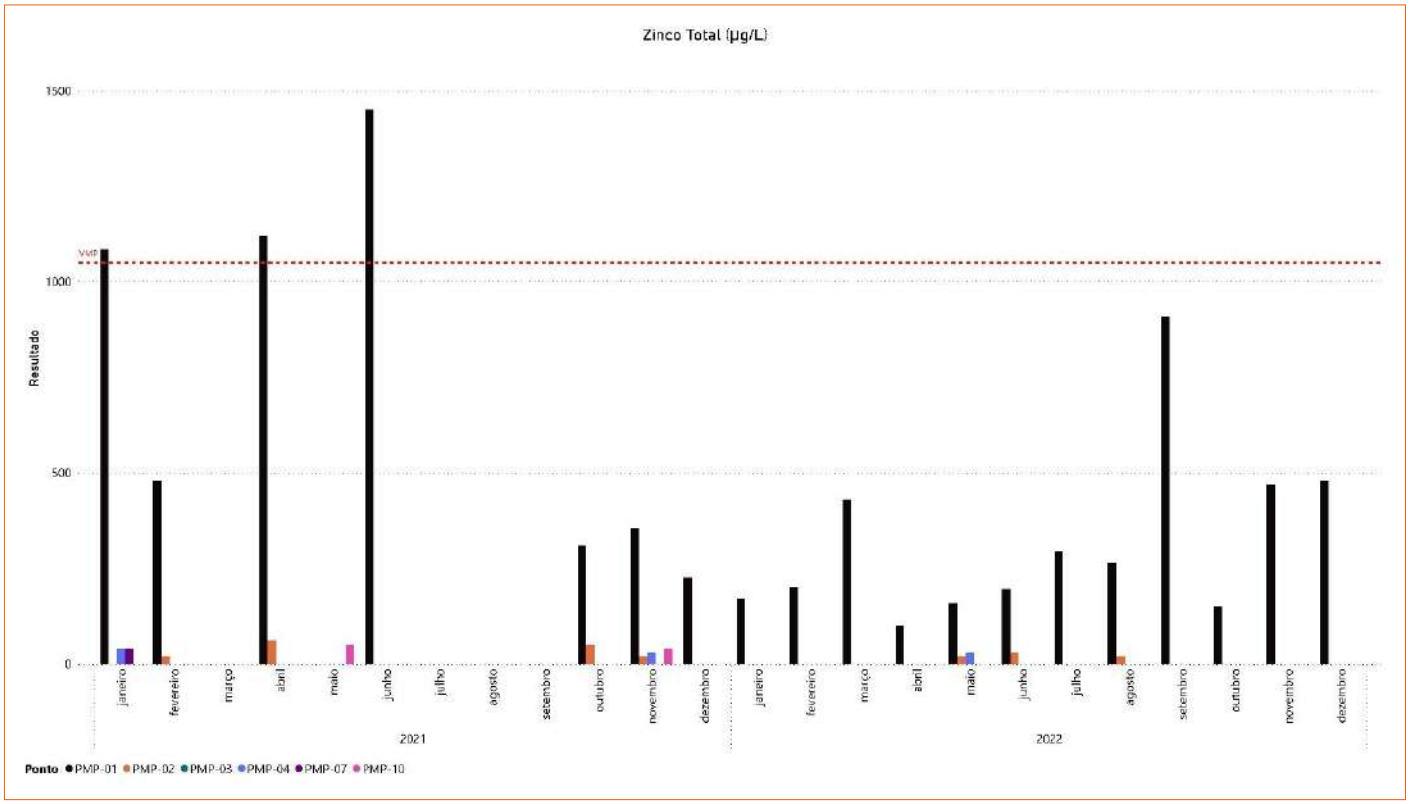


Figura 1-137 - Distribuição dos resultados de Zinco Total nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Os resultados obtidos demonstram que o ponto PMP-01 apresentou violações do VMP em três momentos, nos meses de janeiro, abril e junho de 2021. Ressalta-se que não foram observados valores acima do VMP para os demais pontos, e parte significativa dos resultados manteve-se abaixo do limite de quantificação pelo método analítico laboratorial. Quanto aos valores de zinco dissolvido, não ocorreram violações em relação ao VMP, sendo que a maior parte dos resultados observados estiveram abaixo do limite detectável e, por este motivo, não foram apresentadas graficamente.

B. Físico-químicos

a. Condutividade Elétrica

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 não estabelecem VMP para Condutividade elétrica em águas subterrâneas. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 1-138 a seguir.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

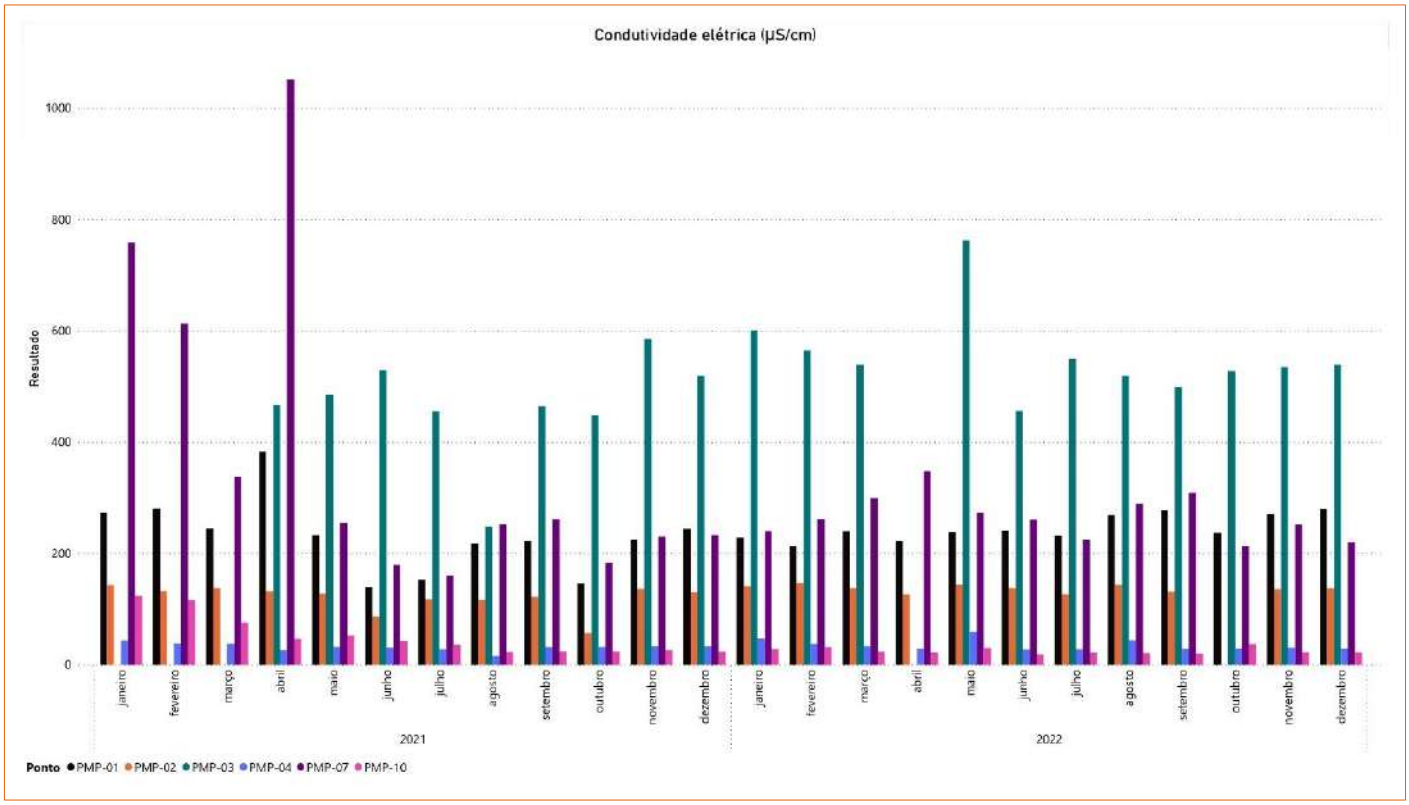


Figura 1-138 - Distribuição dos resultados de Condutividade Elétrica nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Com relação às médias mensais, observa-se que o ponto que apresentou o maior valor para condutividade elétrica foi o PMP-07, com 1051,00 µS/cm no mês de abril de 2021. Este ponto também apresentou valores mais elevados em janeiro, com média de 758,00 µS/cm, e fevereiro, com 612,33 µS/cm. A partir de maio/2021, o ponto PMP-03 apresentou valores superiores aos demais ao longo do período avaliado, variando entre 242 µS/cm e 742 µS/cm. Em seguida têm-se o PMP-01, com valores entre 383.00 µS/cm e 139,00 µS/cm.

Cabe destacar que conforme Arcadis (2020), o baseline de condutividade elétrica para a Formação Batatal, onde se localizam os pontos PMP-01, PMP-03 e PMP-07m, é de 824,00 µS/cm. Sendo assim, o valor mais discrepante refere-se àquele obtido em abril de 2021 no ponto PMP-07 (1051,00 µS/cm). Para a Formação Cauê, onde se encontram os pontos PMP-02 e PMP-10 o baseline é de 212 µS/cm, sendo que os resultados obtidos nos referidos pontos foram inferiores a este valor. Para o ponto PMP-04, por fim, localizado em condição mista, o baseline para condutividade é de 51 µg/L, valor que foi ultrapassado em apenas uma ocasião, no mês de maio de 2022, com média de 59 µg/L.

b. Turbidez

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 não estabelecem VMP para Turbidez. As figuras a seguir, apresenta os resultados nos pontos avaliados.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

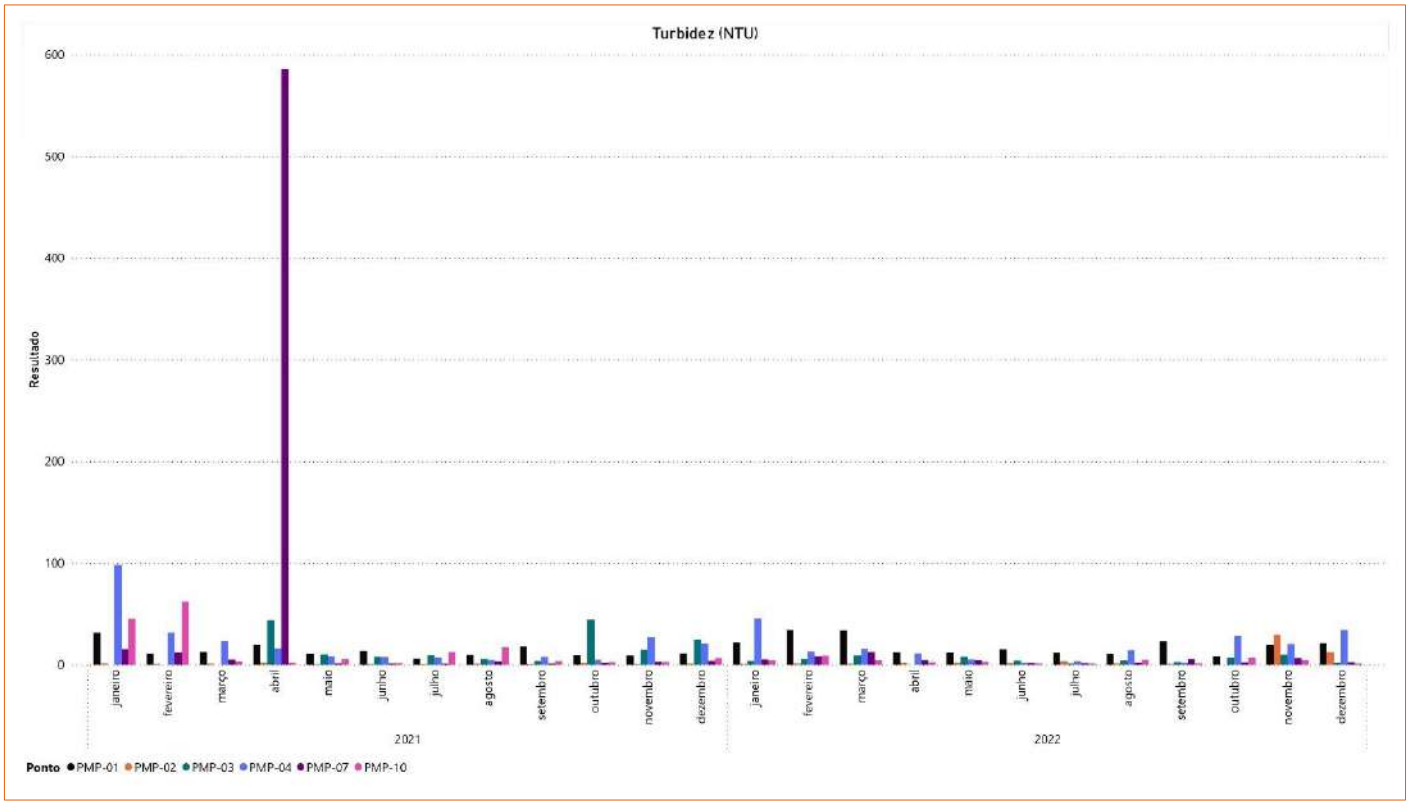


Figura 1-139 - Distribuição dos resultados de Turbidez nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Analisando os resultados, de forma geral é possível perceber que os valores de turbidez em todos os pontos não ultrapassaram 100 NTU ao longo do período avaliado. O ponto onde foi observado maior valor de turbidez foi o PMP-07, com 586,00 NTU no mês de abril. Este resultado, entretanto, ocorreu de forma pontual, e pode ser considerado um *outlier*.

c. Oxigênio Dissolvido

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 não estabelecem VMP para Oxigênio Dissolvido. A Figura 1-140, a seguir, apresenta os resultados nos pontos avaliados.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

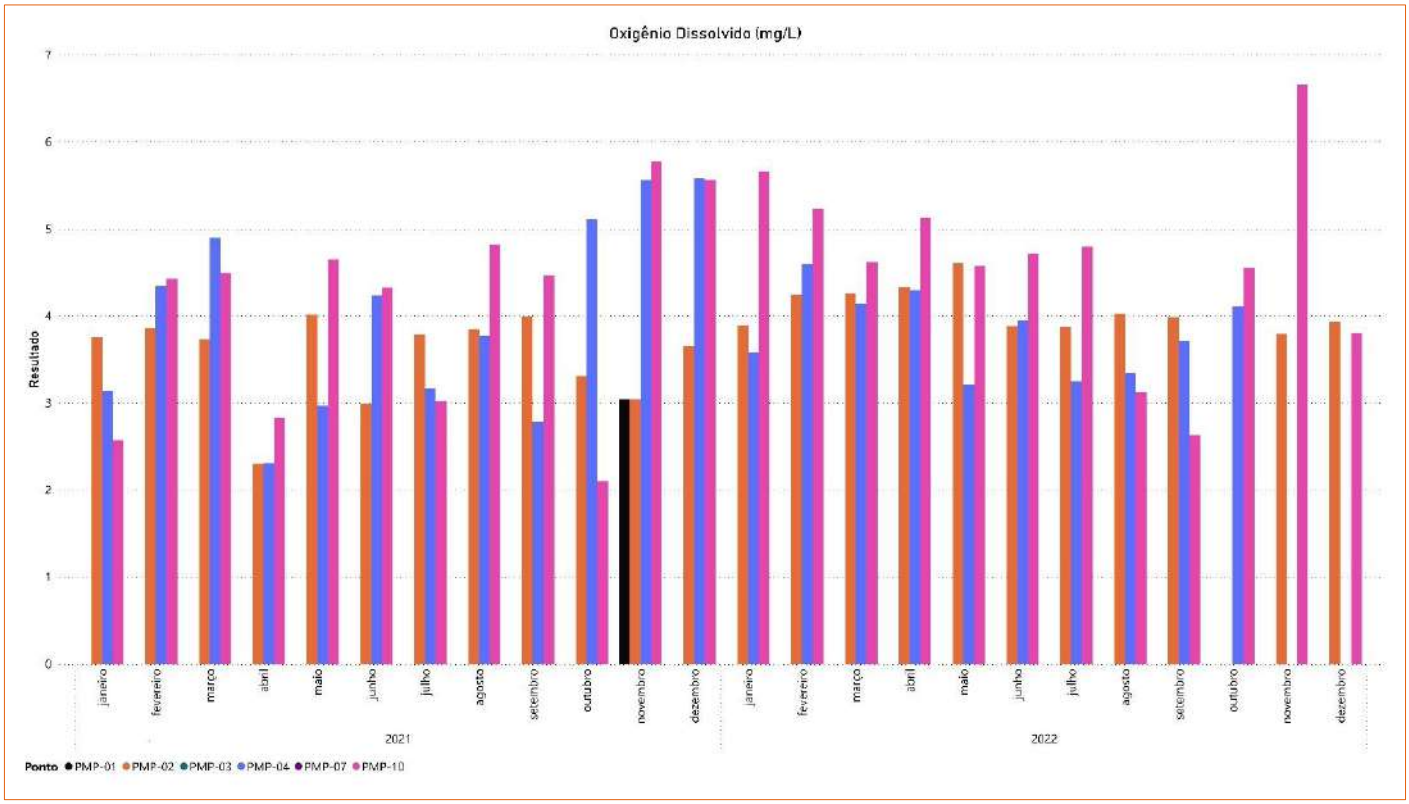


Figura 1-140 - Distribuição dos resultados de Oxigênio Dissolvido nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Os resultados obtidos demonstram que o ponto PMP-10 apresentou as maiores médias de oxigênio dissolvido, que variaram entre 2,31 mg/L e 6,65 mg/L ao longo do período avaliado. Em seguida, têm-se o ponto PMP-04, que apresentou valores entre 2,31 mg/L e 5,57 mg/L; e o ponto PMP-02, com resultados entre 2,30 mg/L e 4,60 mg/L. Os demais pontos apresentaram resultados abaixo do limite quantificável pelo método analítico laboratorial.

d. pH

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 não estabelecem VMP para pH para águas subterrâneas. Entretanto, para a Formação Batatal, onde se localizam os pontos PMP-01, PMP-03 e PMP-07, Arcadis (2023) identificou que o baseline para pH está entre 7,6 e 11,0. Para a formação Cauê, onde se localizam os pontos PMP-02 e PMP-10, o baseline está entre 4,7 e 9,1. O ponto PMP-04 apresenta características litológicas de ambas as formações (Cauê e Batatal), e para esta condição mista o baseline é considerado entre 5,2 e 7,1. A Figura 1-141, a seguir, apresenta os resultados obtidos nos pontos avaliados.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

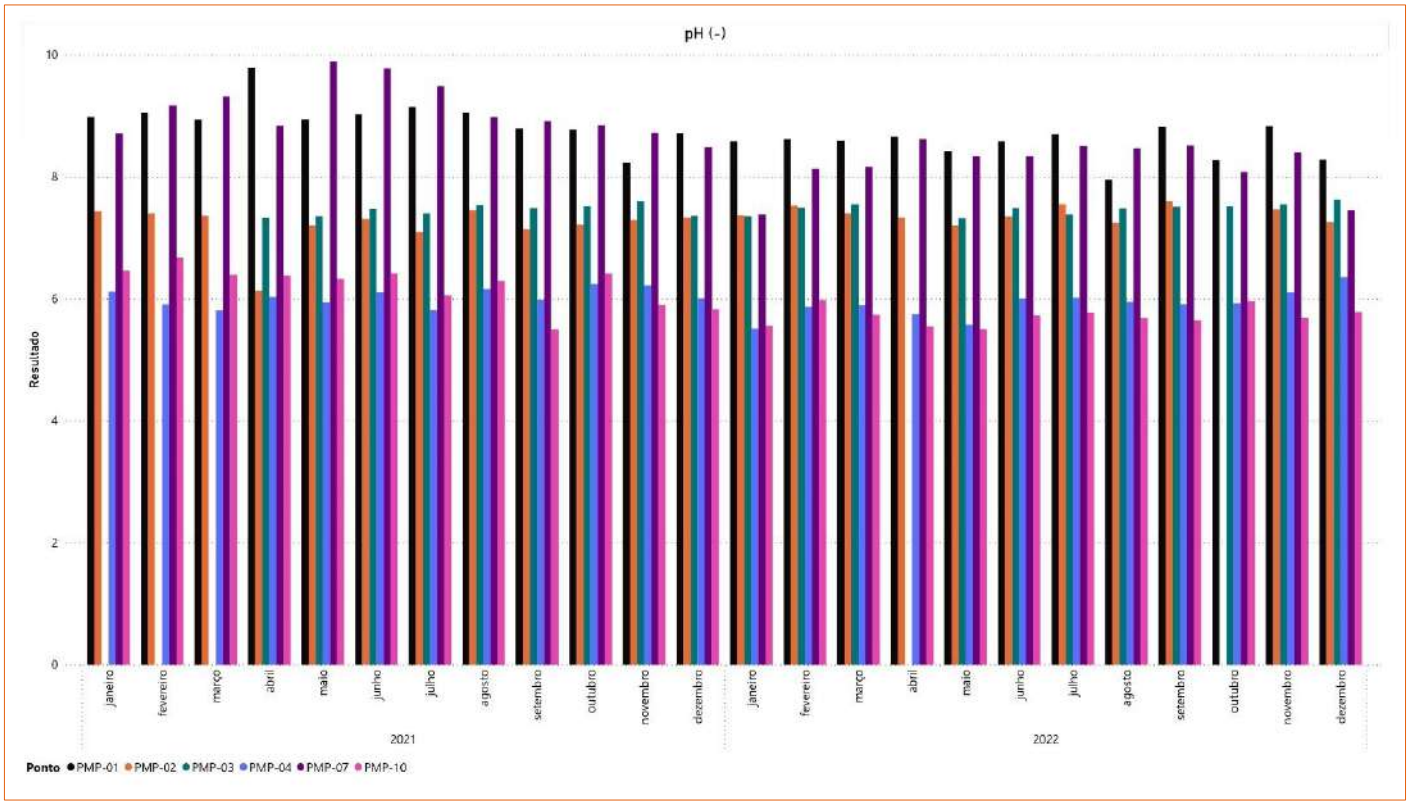


Figura 1-141 - Distribuição dos resultados de pH nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Os resultados demonstram que no ponto PMP-01 as médias de pH observadas foram entre 7,95 e 9,7. No ponto PMP-3 os valores estavam entre 7,32 e 7,6. No ponto PMP-07, os resultados variaram entre 7,38 e 9,89. Para todos os três pontos, os resultados observados estão de acordo com o baseline para a Formação Batatal. Com relação aos pontos localizados na Formação Cauê, foram observados resultados entre 6,13 e 7,55 no PMP-02, e 5,49 e 6,67no PMP-10. Estes valores encontram-se em acordo com o baseline definido para a unidade. Por fim, o PMP-04 apresentou resultados entre 5,51 e 6,35, também de acordo com o baseline definido para suas condições litológicas.

C. Sólidos dissolvidos totais e Cor aparente

a. Cor aparente

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 não estabelecem VMP para Cor aparente para águas subterrâneas. A Figura 1-142, a seguir, apresenta os resultados nos pontos avaliados.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

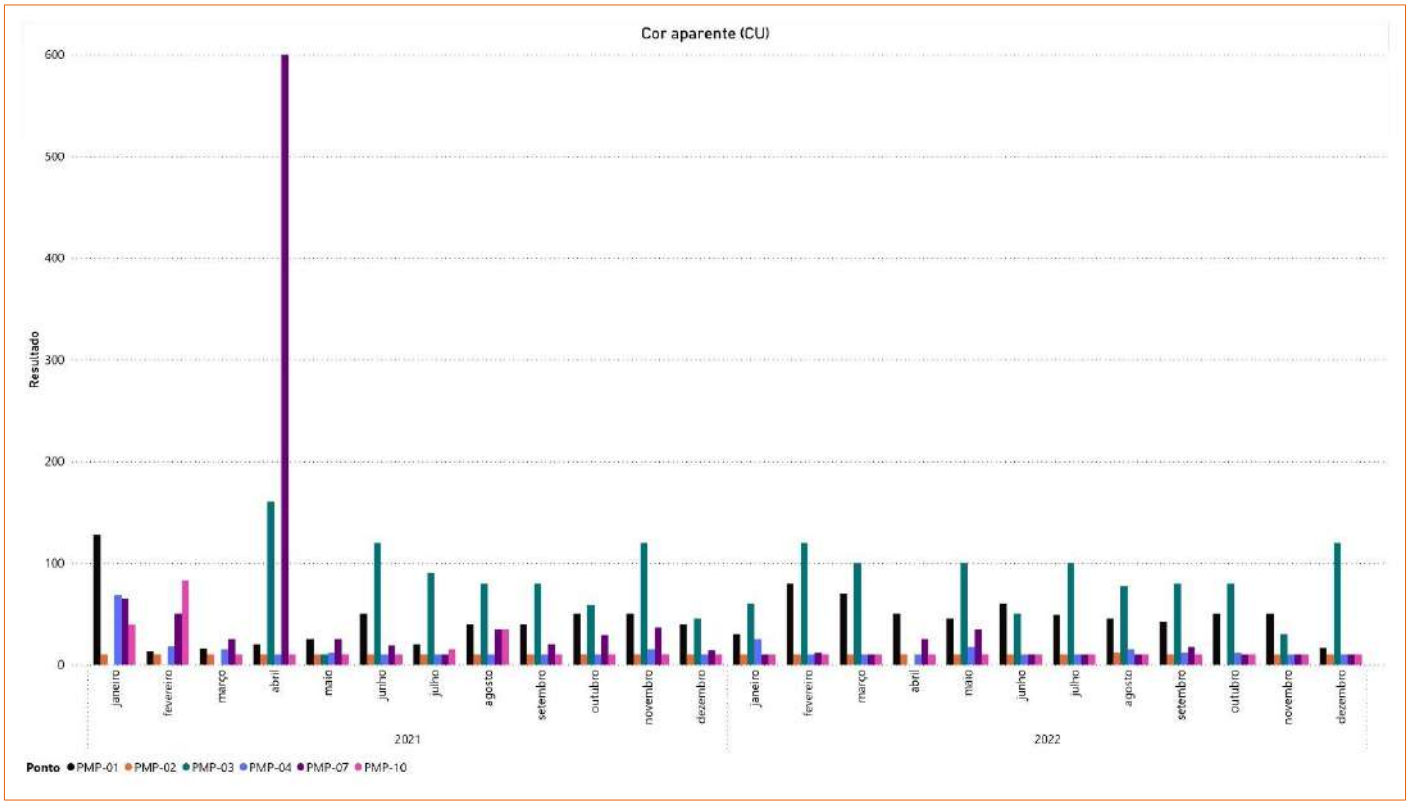


Figura 1-142 - Distribuição dos resultados de Cor Aparente nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

A partir dos resultados obtidos, observa-se que para os pontos PMP-02, PMP-04 e PMP-10 os valores de cor verdadeira mantiveram-se abaixo de 100 CU durante todo o período avaliado. No ponto PMP-01, apenas um resultado, no mês de janeiro, ultrapassou este valor, chegando a 400 CU. Para o PMP-03, o maior valor observado foi de 160 CU, em abril de 2021. O ponto PMP-07, por fim, também apresentou a maior parte dos valores abaixo de 100 CU, mas teve um resultado atípico, observado em abril de 2021, quando atingiu 600 CU. Considera-se, entretanto, que o valor trata-se de um resultado pontual, podendo ser compreendido como um *outlier*.

b. Sólidos Dissolvidos Totais

A Deliberação Normativa COPAM nº 166/11 e a Resolução CONAMA nº 420/2009 não estabelecem VMP para este parâmetro em águas subterrâneas. A Figura 1-143, a seguir, apresenta os resultados nos pontos avaliados.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

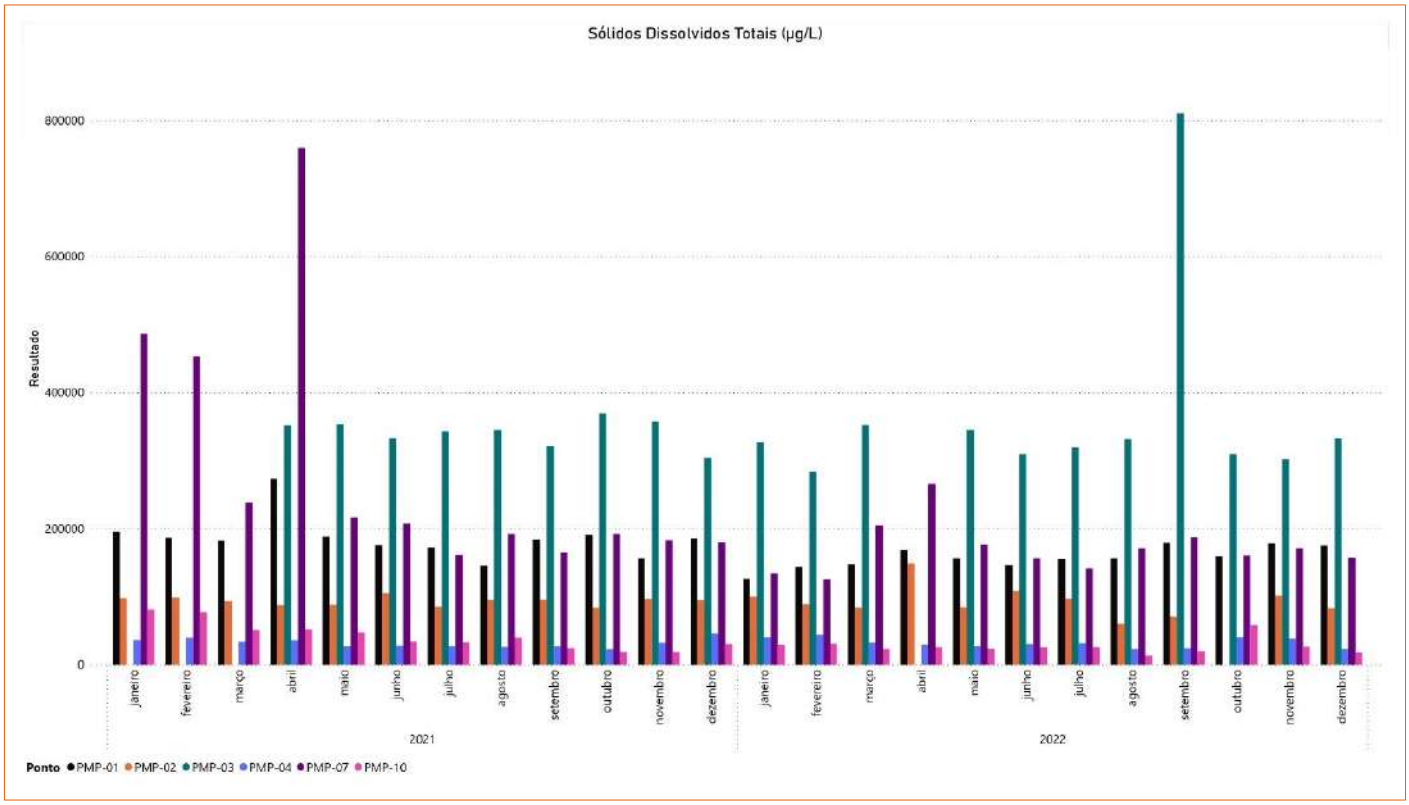


Figura 1-143 - Distribuição dos resultados de Sólidos Dissolvidos Totais nos pontos de monitoramento de água subterrânea no entorno da cava (2021/2022)

Elaborado por Arcadis, 2023.

Os resultados analisados demonstram que o ponto que apresentou os maiores valores de SDT foi o PMP-03, com médias entre 283.500,00 µg/L e 810.500,00 µg/L. O ponto PMP-07 também apresentou valores mais elevados, com destaque para o mês de abril de 2021, quando atingiu 760.000,00 µg/L. Os demais pontos apresentaram valores abaixo de 200.000,00 µg/L ao longo do período avaliado.

1.1.11.2.2 Síntese Conclusiva

O diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas foi elaborado a partir dos dados de monitoramento referentes a seis poços localizados no entorno da Cava de Feijão, que distam entre 1,3km e 3,7km da ADA.

De forma geral, observou-se que apenas uma quantidade reduzida das amostras apresentou concentrações superiores ao Valor Máximo Permitido (VMP) em comparação aos limites estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011 e Resolução CONAMA nº 420/2009. Neste contexto, ressalta-se que parte significativa dos resultados permaneceu abaixo do limite de quantificação do método analítico laboratorial.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Para os resultados detectáveis, observou-se que os desvios mais significativos ocorreram para os parâmetros manganês e ferro. Para ferro total, foram observados desvios em todos os pontos em ao menos algum mês avaliado, com exceção do PMP-02. Para ferro dissolvido, foi observado desvio do VMP apenas para o ponto PMP-03. Para Manganês total, foram observados resultados desconformes nos pontos PMP-03, PMP-07 e PMP-10. Para manganês dissolvido, os desvios ocorreram apenas no ponto PMP-03.

Conforme Vicq et al (2015), ambos os metais possuem afinidade geoquímica relevante e estão presentes de forma marcante nas litologias que constituem o Quadrilátero Ferrífero, fazendo parte do *background* da região. Este aspecto, por si, justifica a ocorrência de eventuais valores elevados. Apesar disso, foi possível observar que o maior número de resultados desconformes ocorreu no ponto PMP-03, especialmente para Manganês. Neste contexto, investigações acerca deste poço (ARCADIS, 2023) sugerem que o PMP-03 apresenta comportamento singular quando comparado a outros poços presentes no filito Batatal, como o PMP-01 e PMP-07. A principal hipótese levantada indica a presença de laminações hematíticas ou de material ocre e síltico na área da perfuração, que podem interferir diretamente nas concentrações dos metais ferro e manganês. Associado a este contexto, a baixa oxigenação do meio em que o PMP-03 está inserido promove um ambiente redutor que favorece a solubilização e aumento da concentração destes elementos. Em conjunto a estes aspectos têm-se o fato de que o PMP-03 foi instalado e selado em uma formação hidrogeológica de baixa permeabilidade, considerada um aquiclude, o que decorre em uma baixa renovação ou aporte hídrico da formação, corroborando para a lenta recuperação da característica hidroquímica original. Assim, os metais provindos das rochas apresentariam suas concentrações dissolvidas naturalmente maiores neste poço.

Além dos parâmetros citados, também foram identificados desvios para Alumínio Total (uma ocasião, no ponto PMP-07); Chumbo total (uma ocasião no ponto PMP-07, uma ocasião no ponto PMP-03, e duas ocorrências no ponto PMP-4); Níquel total (um desvio no ponto PMP-02); e Zinco total (três desvios no ponto PMP-01). Estes resultados, entretanto, foram considerados pontuais, uma vez que nas demais medições são observados valores em conformidade ao VMP.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

2 REFERÊNCIAS BILIOGRAFICAS

Climatologia e Meteorologia

ASSIS, W. L. O Sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial. Tese (Doutorado em Geografia), DG/IGC/UFMG, Belo Horizonte, 2010.

BERRY, R.J., KENNEDY, A.D., SCOTT, S.L., KYLE, B.L., SCHAEFER, A. L. Daily variation in the urdder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. Canadian Journal of Animal Science. 83:687-693, 2003.

GRIMM, A.M. Apostila de Climatologia. Universidade Federal do Paraná - UFPR http://fisica. Paraná, 2008. 177 p.

IBGE. Mapa de clima do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 1 mapa. Escala 1:5 000 000.

INSTITUTO NACIONAL DE METEROLOGIA - INMET: Normais Climatológicas de 1981 a 2010. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 23 de setembro de 2022.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 421p.

THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R. The water balance. Publications in Climatology, New Jersey, Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. O. Introdução à Climatologia - Ubá: Ed. Geographica, 2008, 234 p

TUBELIS, A; NASCIMENTO, F.J.L.Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, 1984.

Qualidade do ar

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. Guia técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar / Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. Departamento de Qualidade Ambiental e Gestão de Resíduos. - Brasília, DF: MMA, 2020, 136 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. CONAMA. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar.

ECONSERVATION. Avaliação da rede de monitoramento da qualidade do ar da Vale para o cenário 2019 - Brumadinho/MG. Relatório técnico RT-ECV-564/19. Revisão 5, 2020.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Ruído e Vibração

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 10.151, “Acústica - Medição e avaliação sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral”, ABNT, 2019, versão corrigida em 31/03/2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE.CONAMA. Resolução nº 01, de 8 de março de 1990. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política.

LEI ESTADUAL 10.100 DE 17 DE JANEIRO DE 1990 - Dá nova redação ao artigo 2º da Lei nº 7.302, de 21 de julho de 1978, que dispõe sobre a proteção contra a poluição sonora no Estado de Minas Gerais

LEI ESTADUAL 7.302 DE 21 DE JULHO DE 1978. Dispõe sobre a proteção contra a poluição sonora no Estado de Minas Gerais.

LEI MUNICIPAL 2412, de 18 de junho de 2018. Dispõe sobre o controle de ruídos, sons e vibrações no âmbito do município de Brumadinho, e dá outras providências.

WHIFFIN & LEONARD, Report LR418 Design Div. Transp. Road Research Lab., UK, 1971.

Geologia

ALKMIM, Fernando Flecha de; MARSHAK, Stephen. Transamazonian orogeny in the southern São Francisco Craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. Precambrian Research, Amsterdam, v. 90, n. 1-2, p. 29-58, 30 jun. 1998.

Amplo. Licenciamento Ambiental Corritovo - Obrqas Emergenciais Decorrentes da Ruptura da Barragem da Mina Córrego do Feijão e Recuperação Ambiental de sua Área de Influência. VOLUME II - Diagnóstico Ambiental de Meio Físico. Belo Horizonte, 2019.

AZEVEDO, Úrsula Ruchkys de et al. Geoparque Quadrilátero Ferrífero (MG): proposta. 2012.

BABINSKI, Marly; CHEMALE JUNIOR, F.; VAN SCHUMUS, W. R. Geocronologia Pb/Pb em rochas carbonáticas do Supergrupo Minas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. **Resumos**, v. 2, p. 628-631, 1991.

BALTAZAR, O. F.; ZUCCHETTI, M., (2005). Lithofacies associations and structural evolution of the Archean Rio das Velhas greenstone belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A review of the setting of gold deposits. Ore Geology Reviews.

BALTAZAR, O.F., Baars, F.J., Lobato, L.M., Reis, L.B., Achtschin, A.B., Berni, G.V.,Silveira, V.D. 2005. Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero na Escala 1: 50.000 com Nota Explicativa. In: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Lobato et al. (2005) CODEMIG. Belo Horizonte.

CALUX, Allan Silas. Gênese e desenvolvimento de cavidades naturais subterrâneas em formação ferrífera no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais. 2013.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

CARNEIRO, Maurício Antônio; JORDT-EVANGELISTA, Hanna; TEIXEIRA, Wilson. Eventos magmáticos arqueanos de natureza cálcio-alcalina e tholeiítica no Quadrilátero Ferrífero e suas implicações tectônicas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 1, p. 121-128, 1997.

CARNEIRO, Maurício Antonio; TEIXEIRA, Wilson. O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, MG): Litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano. 1992.

CPRM. Mapa Síntese da Geodiversidade do Quadrilátero Ferrífero e entorno, como Subsídio ao Planejamento Territorial. Brasília, DF. CPRM. 2016. Disponível em: < https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/17323>.

DE ALMEIDA, Fernando FM; HASUI, Yociteru; DE BRITO NEVES, Benjamim Bley. The upper precambrian of South America. **Boletim IG**, v. 7, p. 45-80, 1976.

DO BRASIL, CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO. Mapa Geodiversidade do Estado de Minas Gerais. 2010. DOPICO, Carmen I.Martínez; Cristiano Lana; MOREIRA, Hugo S ; CASSINO, Lucas F; ALKIIM , Fernando F. 2017. U - Pb ages and Hf-isotope data of de trital zircons from the late Neoarchean-Paleoproterozoic Minas Basin, SE Brazil. Precambrian Research, Volume 291, Pages 143-161.

Dorr II, J.V., 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilatero Ferrifero, Minas Gerais, Brazil. United States Geological Survey Professional Paper 614-A. 110 pp. Almeida, F.F.M., 1977. O Craton do Sao Francisco. Rev. Bras. Geoc., 7:349-364.

DORR JR, John A. Early Cenozoic vertebrate paleontology, sedimentation, and orogeny in central western Wyoming. **Geological Society of America Bulletin**, v. 69, n. 10, p. 1217-1244, 1958.

DORR, John Van Nostrand.**Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero**. 1957.

GAIR, Jacob Eugene. **Geology and ore deposits of the Nova Lima and Rio acima quadrangles, Minas Gerais, Brazil**. 1962.

MACHADO, Maria Márcia Magela; DE AZEVEDO, Úrsula Ruchkys. Difusão da Geologia para valorização e conservação do patrimônio geológico do Geopark Quadrilátero Ferrífero-MG/Brasil: ações do Centro de Referência em Patrimônio Geológico do MHNJB-UFMG. **Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico da UFMG**, v. 21, n. 1, 2012.

MACHADO, N.; SCHRANK, A.; NOCE, C.M.; GAUTHIER, G. 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: Implications for Greenstone Belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. Earth and Planetary Science Letters, 141:259- 276

MARSHAK, S.; ALKIMIN, F. F. Proterozoic contraction/extension tectonicas. 1989.

MAXWELL, C.H. - The Batatal Formation. In: Symposium on the stratugraphy ogf the Minas series in the Quadrilatero Ferrpifero, Minas Gerais, Brazil, Bol. Soc. Bras. Geol., 7(2): 60-61

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

MDGEO. 2009. Relatório de Acompanhamento Hidrogeológico -Mina de Capão Xavier. Relatório Interno VALE. Belo Horizonte. REL-VALE-MONIT-CPX-01-09

MOURÃO, Maria AA; LOUREIRO, Celso de O.; DE ALKMIM, Fernando Flecha. O AQÜÍFERO CAUÊ NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG: PROCEDIMENTOS DE INVESTIGAÇÃO E ANÁLISE. **Águas Subterrâneas**, 2006.

NOCE, Carlos Mauricio. **Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. 1995. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PEDROSA SOARES, Antônio Carlos; NOCE, Carlos Maurício; VIDAL, Francisco W. Hollanda; Monteiro, R.L.B.P.; LEONARDOS, Othon Henry. Toward a new tectonic model for the late proterozic Araçuaí (S Brazil): west Congolian (SW Africa) Belt. Journal of South American Earth Sciences, v. 6, 1992, p. 33-47.

RENGER, Friedrich E.; SUCKAU, Victor E.; SILVA, Ronaldo Marcio Pinto. Sedimentologia e análise da bacia da Formação Moeda, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 7., 23-26 nov. 1993, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: SBG Núcleo Minas Gerais, 1993. p. 41-45.

ROLIM, Vassily Khoury; ALKMIM, Fernando Flecha de. Geometria 3D de falhas de empurrão e dobras associadas como expressões da morfologia do descolamento basal: resultados de uma simulação computacional. 2004.

SCHORSCHER, J.H.D. Komatiitos na estrutura "Greenstone belt", Série Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, 1978. *Resumos*... Recife, SBG, p.292-293. 1978.

SILVA, A.M.; CHEMALE JR., F.; HEAMAN, L. 1996. The Ibirité gabbro and the Borrachudos granite - The rift-related magmatism of Mesoproterozoic age in the Quadrilátero Ferrífero (MG). In: SBG-MG, Simpósio Geologia Minas Gerais, 8, Diamantina, Anais, p.89-90

SILVA, Cassio Roberto da; et al. Geologia Médica no Brasil: Efeitos dos Materiais e Fatores Geológicos na Saúde Humana e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2006. 220 p. Southern São Francisco region. Minas Gerais, Brazil. Tectonics, 8(3): 555-571p.

Geomorfologia

AMPLO. Licenciamento Ambiental Corritovo - Obrqas Emergenciais Decorrentes da Ruptura da Barragem da Mina Córrego do Feijão e Recuperação Ambiental de sua Área de Influência. VOLUME II - Diagnóstico Ambiental de Meio Físico. Belo Horizonte, 2019.

ARCADIS. Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba. Rompimento das barragens B1, B4 e B4-A do Complexo Paraopeba II - Mina Córrego do Feijão. Capítulo 1 - Baseline - Diagnóstico Pretérito da Bacia do Rio Paraopeba. Volume 1 - Diagnóstico Pretérito - Meio Físico. 2022ª.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

ARCADIS. Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba. Rompimento das barragens B1, B4 e B4-A do Complexo Paraopeba II - Mina Córrego do Feijão. Capítulo 2 - Caracterização socioambiental pós-rompimento e avaliação de impactos. Volume 2 - Caracterização socioambiental pós-rompimento. 2022b.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. Editora Blucher, 1974.

DO BRASIL, CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO. Projeto APA Sul RMBH: geotecnia, mapas geotécnicos escala 1:50.000. Fábio M. Silva, - Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

DO BRASIL, CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO. Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Brumadinho/MG. Escala 1:70.000. 2023. Disponível em: < https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/23395>. Acesso em 03 de maio de 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍTICA. **Mapa de unidades do relevo do Brasil.** Escala 1:5.000.000, 1993.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍTICA. **Mapa de unidades do relevo do Brasil.** Escala 1:5.000.000. 2ª Edição. 2006.

LAVARINI, Chrystiann et al. Neotectonics, river capture and landscape evolution in the highlands of SE Brazil. Mercator (Fortaleza), v. 15, p. 95-119, 2016.

MAGALHÃES JR, Antônio; SAADI, Allaoua. Ritmos da dinâmica fluvial Neo-Cenozóica controlados por soerguimento regional e falhamento: o vale do rio das Velhas na Região de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Geonomos**, 1994.

MARQUES, J. S.; RIBEIRO, M. E; SANTANA, J. S. de. O sensoriamento remoto e o mapeamento geomorfológico no Brasil - uma amostragem no período 1970- 1990. V Simpósio de Geografia Física Aplicada, São Paulo - SP, anais, p. 369-373, 1993.

SAADI, A. 1991. Ensaio Sobre a Morfotectônica de Minas Gerais. Belo Horizonte, IGC/UFMG, março de 1991 (Tese para provimento de cargo de Professor Titular). 285 p.

SALAMUNI, E. Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR). Tese de Doutorado. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 1998.

STEVAUX, José Cândido; LATRUBESSE, Edgardo Manuel. **Geomorfologia fluvial**. Oficina de Textos, 2017.

VALE S/A. Mina da Jangada e Mina Córrego do Feijão - Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental - RADA. 2016. Belo Horizonte: Vale S.A.

VALE. Descrição resumida do processo - Córrego do Feijão. Material disponibilizado pela VALE em 25/02/2019 para Aplysia. 2p. 2019.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

VARAJÃO, CAC; GEOMORFOLÓGICAS, As Teorias. a Evolução da Paisagem. **Revista Escola de Minas, Ouro Preto**, v. 52, n. 1, p. 45-51, 1998.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: Mcgraw Hill, 1975. 250p.

Pedologia e Aptidão Agrícola

ARCADIS. Relatório Mensal da Qualidade da Água Superficial e Sedimentos - Fechamento de Ciclo (25/01/2019 a 30/09/2020). 2020.

ARCADIS & VALE S.A. Caracterização geológica dos testemunhos de sondagem no rio Paraopeba - MG. Relatório Técnico interno elaborado para Vale S.A. Belo Horizonte/MG.2022c.

DA SILVA, Fábio Cesar et al. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009., 2009.

DE CARVALHO, A. P., dos SANTOS, H. G., GOMES, I., de OLIVEIRA, J. B., LUMBRERAS, J., dos ANJOS, L. H. C., & de OLIVEIRA, V. A. Neossolos. 2006.

DO AMARAL, F. C. S. et al. Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais. 2004.

EMATER, R. S. ASCAR. **Caracterização do pecuarista familiar da extensão rural no Rio Grande do Sul com vistas as ações para o desenvolvimento rural sustentável**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA SOLOS. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais.** Escala 1:1.250.000. Rio de Janeiro. EMBRAPA. 2005. Disponível em: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/documents/1061>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, UVA E. VINHO. Sistemas de Produção.**Nº**, v. 1, p. 1679-1134, 2013.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais**. Escala 1:500.000. Belo Horizonte. 2010.

JACOMINE, P. K. T. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Maranhão. **Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2009.

LANZA, Daniel Santana. Diagnóstico da erosão laminar na alta e média bacia do rio Paraopeba. 2011.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

UFPR - Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. O solo no meio ambiente: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola. Curitiba: Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2007.

Espeleologia

AMPLO. Licenciamento Ambiental Corretivo - Obras Emergenciais Decorrentes da Ruptura da Barragem da Mina Córrego do Feijão e Recuperação Ambiental de sua Área de Influência. VOLUME II - Diagnóstico Ambiental de Meio Físico. Belo Horizonte, 2019.

ATIVO AMBIENTAL. Classificação dos Graus de Relevância - Mina de Feijão -Jangada. Volume III. Belo Horizonte. 2014.

ARCADIS. Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba. Rompimento das barragens B1, B4 e B4-A do Complexo Paraopeba II - Mina Córrego do Feijão. Capítulo 1 - Baseline - Diagnóstico Pretérito da Bacia do Rio Paraopeba. Volume 1 - Diagnóstico Pretérito - Meio Físico. 2022ª.

ARCADIS. Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba. Rompimento das barragens B1, B4 e B4-A do Complexo Paraopeba II - Mina Córrego do Feijão. Capítulo 2 - Caracterização socioambiental pós-rompimento e avaliação de impactos. Volume 2 - Caracterização socioambiental pós-rompimento. 2022b.

AULER, Augusto. Espeleologia: noções básicas. 2005.

BRANDT MEIO AMBIENTE. Prospecção e topografia de cavidades: relatório de campo. 2013.

CECAV - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (2009). Base digital de dados geoespacializados de regiões cársticas do Brasil. Instituto Chico Mendes. Brasília. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/cecav/projetos-e-atividades/provincias-espeleologicas.html.

DE OLIVEIRA, Osvaldo A. Belo; OLIVITO, João Paulo R.; RODRIGUES-SILVA, Daniela. Caracterização da Unidade Espelológica e das Unidades Geomorfológicas da Região do Quadrilátero Ferrífero-MG. **ESPELEO-TEMA**, p. 61, 2011.

FERREIRA, Cristiano Fernandes. LEVANTAMENTO ESPELEOLÓGICO E CONSIDERAÇÕES RELATIVAS AO MANEJO DO PATRIMÔNIO ESPELEOLÓGIO EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO FEDERAIS. 2009.

JANSEN, Débora Campos; CAVALCANTI, Lindalva Ferreira; LAMBLÉM, Hortência Sousa. Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil, na escala 1: 2.500. 000. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 2, n. 1, p. 42-57, 2012.

KARMANN, Ivo; SÁNCHEZ, Luís Enrique. Distribuição das rochas carbonáticas e províncias espeleológicas do Brasil. **Espeleo-tema**, v. 13, p. 105-167, 1979.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

REZENDE, R.A. A fragmentação da flora nativa como instrumento de análise da sustentabilidade ecológica de áreas protegidas - Espinhaço Sul (MG). 2011. 215 p. Tese de Doutoramento, Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto.

ROSADA, Thais Regina; MEYER, B. de O.; LUCON, Thiago Nogueira. Valoração da Gruta da Igrejinha, Ouro Preto-MG. **Espeleo-Tema**, v. 24, p. 5-17, 2013.

SALGADO, A. A. R. Estudo da Evolução do Quadrilátero Ferrífero, MG-Brasil, através da quantificação de processos erosivos desnudacionais. Tese. (Doutorado em Evolução Crustal e 139 Recursos Naturais) - Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais. 2006.

SPELAYON CONSULTORIA. Levantamento do Patrimônio Espeleológico na Área de Influência Direta (AID) referente à Licença de Instalação (179/2008) do Projeto de Expansão da Mina da Jangada. Belo Horizonte: Spelayon / Vale, 2010.

STÁVALE, Y. O. 2012. Espacialização do Patrimônio Espeleológico da Reserva da Bioesfera da Serra do Espinhaço: geossítios selecionados e sua importância para a geoconservação. Dissertação de Mestrado. UFMG. 192p.

LOPES, Camila; RUCHKYS, Úrsula. Recursos da geodiversidade de São Thomé das Letras-MG e seu uso para mineração e geoconservação: perspectivas para a reconversão desse território mineiro. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 35, 2015.

Recursos Hídricos Superficiais

AMPLO ENGENHARIA. Estudo de Impacto Ambiental (EIA) - Licenciamento Corretivo - Obras Emergenciais Decorrentes da Ruptura da Barragem da Mina Córrego do Feijão e Recuperação Ambiental de sua Área de Influência. Belo Horizonte, 2019.
ARCADIS. Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba. Belo Horizonte, 2022.

BRASIL. Lei Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: Mar. 2023.

CBHSF. A Bacia do Rio São Francisco - Principais Características. 2016. Disponível em: <https://2017.cbhsaofrancisco.org.br/2017/a-bacia/>. Acesso em: Mar. 2023.

IGAM. Informativo dos parâmetros de qualidade das águas nos locais monitorados ao longo do Rio Paraopeba, após o desastre nas barragens B-I, B-4 e B-4A no complexo da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA no município de Brumadinho - Minas Gerais. 2019.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

COBRAPE. Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba. São Paulo. 2020. Disponível em: <https://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/images/Resumo_Executivo.pdf>. Acesso em: Mar. 2023.

MINAS GERAIS. Deliberação normativa CERH-MG nº 71, de 22 de dezembro de 2021**.** Altera a Deliberação Normativa CERH-MG nº 66, de 17 de novembro de 2020. Disponível em: < http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=55142>. Acesso em: Mar. 2023.

VALE S/A. Caracterização dos Rejeitos de Minério de Ferro da Mina Córrego do Feijão após o rompimento da barragem B-I. Relatório consolidativo dos resultados das análises solicitadas no Auto de Fiscalização 47.542/2019. Nova Lima, 10/02/2019

Qualidade dos Sedimentos

ARCADIS. Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba. Rompimento das barragens B-I, B-4 e B-4A do Complexo Paraopeba II - Mina Córrego do Feijão. Capítulo 1 - Baseline - Diagnóstico Pretérito da Bacia do Rio Paraopeba. Volume 1 - Diagnóstico Pretérito - Meio Físico. 2022.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Alumínio**, 2017a. Disponível em:https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Aluminio.pdf. Acesso em: 27 de jul. 2023.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Arsênio**, 2017b. Disponível em:https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Arsenio.pdf. Acesso em: 27 de jul. 2023.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Bário**, 2017c. Disponível em:https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Bario.pdf Acesso em: 27 de jul. 2023.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Apêndice C - Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem 2021 Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Apendice-C-Significado-ambiental-e-sanitario-das-variaveis-de-qualidade-das-aguas-e-dos-sedimentos-metodologias-analiticas-e-de-amostragem.pdf. Acesso em: 27 de jul. 2023.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Cádmio**, 2022a. Disponível em:https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cadmio.pdf. Acesso em: 27 de jul. 2023.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Chumbo**, 2022b. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Chumbo.pdf. Acesso em: 27 de jul. 2023.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Cobalto**, 2022c. Disponível em:https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cobalto.pdf. Acesso em: 27 de jul. 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Cobre**, 2022d. Disponível em:https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cobre.pdf. Acesso em: 27 de jul. 2023.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Mercúrio**, 2022e. Disponível em:https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Mercurio.pdf. Acesso em: 27 de jul. 2023.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Zinco**, 2022f. https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2021/05/Zinco.pdf. Acesso em: 27 de jul. 2023.

Qualidade das Águas Superficiais

GEOENVIRON CONSULTORIA E PROJETOS. Relatório Técnico: Caracterização Geoquímica de Rejeitos Fase I - Composição química global, análise granulométrica e classificação segundo Norma ANBR ABNT 10.004/2004. Belo Horizonte: 2019

ARCADIS. Plano de Reparação Socioambiental da Bacia do Rio Paraopeba. Rompimento das barragens B-I, B-4 e B-4A do Complexo Paraopeba II - Mina Córrego do Feijão. Capítulo 1 - Baseline - Diagnóstico Pretérito da Bacia do Rio Paraopeba. Volume 1 - Diagnóstico Pretérito - Meio Físico. 2022.

Recursos Hídricos Subterrâneos

ALBUQUERQUE, J.; RÊGO, J. C. Conceitos e definições para avaliação e gerenciamento conjunto de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Anais do IV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Campina Grande: ABRH. 1998.

AMPLO ENGENHARIA. Estudo de Impacto Ambiental (EIA) - Licenciamento Corretivo - Obras Emergenciais Decorrentes da Ruptura da Barragem da Mina Córrego do Feijão e Recuperação Ambiental de sua Área de Influência. Belo Horizonte, 2019.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução nº 15 DE 11 de janeiro de 2001. Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas. Disponível em: < http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2018/02/Resolu%C3%A7%C3% A3o-n%C2%BA-15-de-11-de-Janeiro-de-2001-CNRH.pdf>. Acesso em: Mar. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução 396 de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/ RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: Mar. 2023.

CPRM. Folha SF 23 - Rio de Janeiro: carta hidrogeológica - escala 1:1.000.000. 2015. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/16570?locale=en>. Acesso em: Mar. 2023.

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Qualidade das Águas Subterrâneas

TAVARES, T.; BERTOLO, R.; FIÚME, B.; CRESPI, A.; MARTINS, V. Ocorrências de Bário em poços de abastecimento do estado de São Paulo. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 2014.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Crômio**, 2022. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Cromio.pdf. Acesso em: 27 de jul. 2023.

BATISTA, A. A. Efeitos da contaminação in situ por níquel em peixes da espécie *Oreochromisniloticus* (Cichlidae). 2012. 49 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado e licenciatura - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/118241>.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Níquel**, 2022. https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2021/05/Ni%CC%81quel.pdf. Acesso em: 27 de jul. 2023.

MAGALHÃES, V. S. Hidroquímica e qualidade das águas supeficiais e subterrâneas em áreas sob influência de lavras pegmatíticas nas Bacias dos Córregos Água Santa e Palmeiras, Município de Coronel Murta (MG). 2006. Dissertação de Mestrado (mestrado em Geologia), Instituto de Geociências - UFMG, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-6ZQERE>.

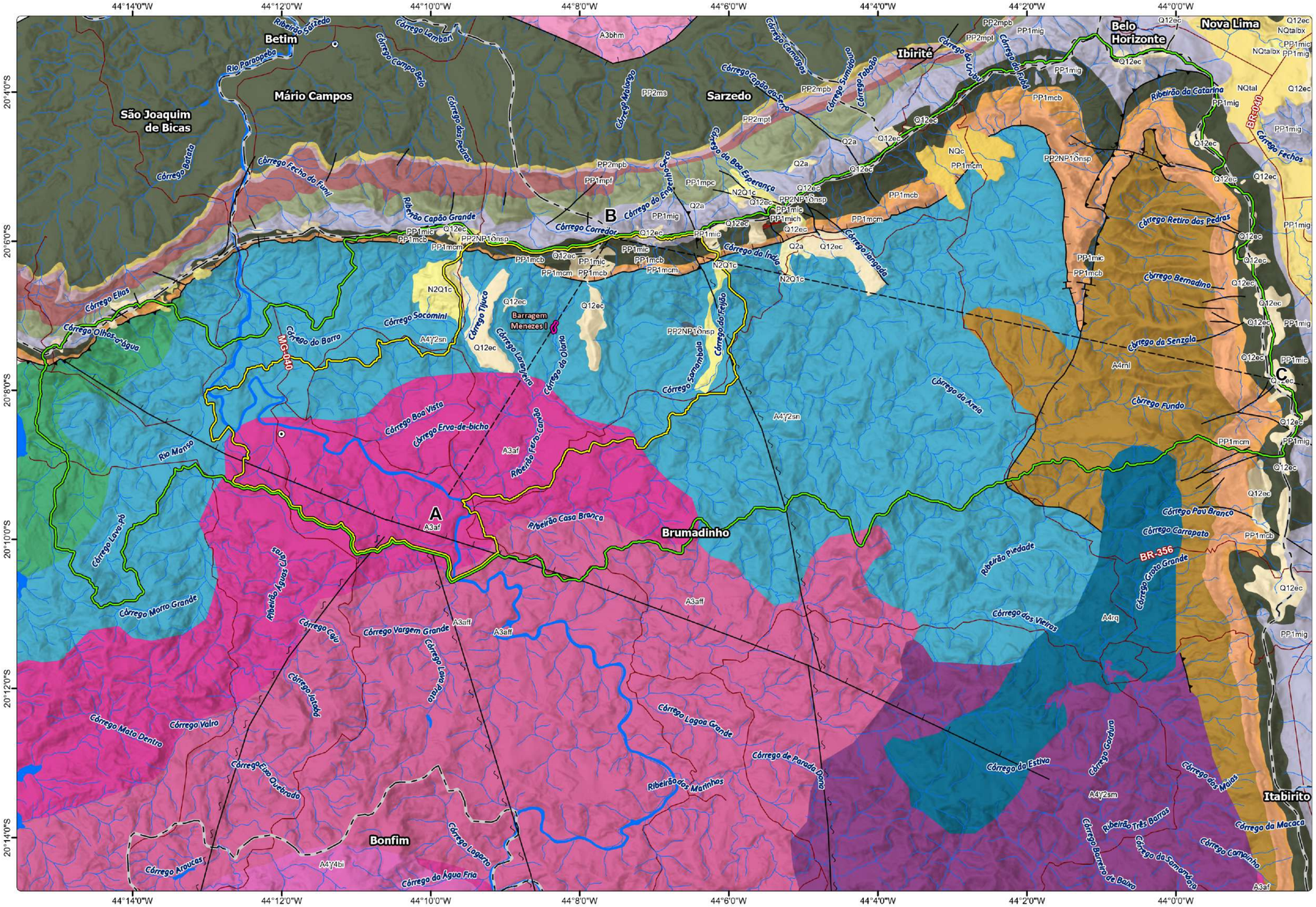
Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

ANEXOS

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Anexo I - Mapa Geológico

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

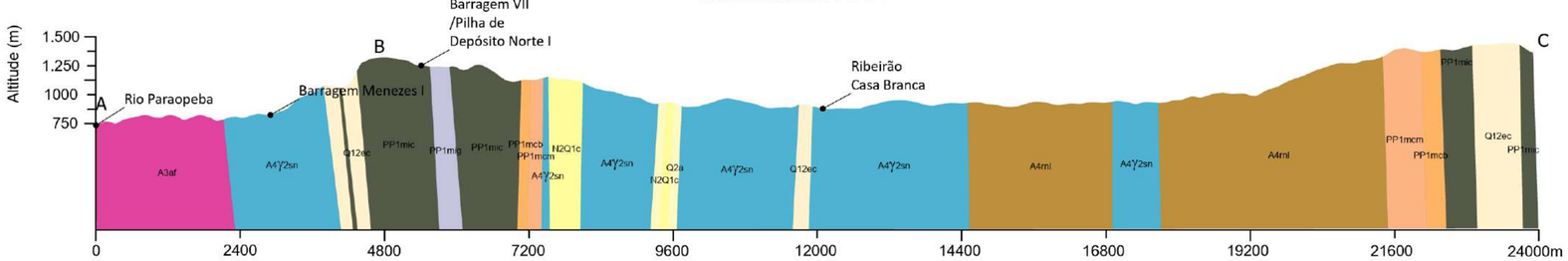


Barragem Menezes I
Área de Estudo Local - Meio Físico
Área de Estudo Regional - Meio Físico

Convenções Cartográficas
- Sede municipal
- Rodovia
- Curso d'água
- Massa d' água
- Limite municipal

Estrutura Geológica
- Falha Compressional
- Falha Extensional
- Falha Indiscriminada
- Falha contracional (inversa ou empurrão)
- Falha indiscriminada
- Zona de Cisalhamento Transcorrente Dextral
- Zona de Cisalhamento Transcorrente Sinistral
- Perfil geológico

PERFIL GEOLÓGICO A-B-C



CROQUI DE LOCALIZAÇÃO

Litologia

CENOZÓICO

Q2a	Depósitos aluviais recentes: Areia, Areia arcoseana, Silte, Cascalho, Argila, Conglomerado polimítico.
N2Q1c	Depósitos colúvio-eluviais: Cascalho, Argila, Areia.
NQc	Depósitos colúvio-aluviais: Areia, Cascalho, Argila e Laterita.
Q12ec	Sedimento elúvio-coluvionar, Cascalho, Areia, Laterita.
NQtal	Sedimentos lacustrinos constituídos de cascalho , areia , argila branca a mosqueada de vermelho rica em hidróxidos de alumínio, alguns dispostos em terraços aluvionares.
NQtalbx	Sedimentos lacustrinos constituídos de cascalho , areia , argila branca a mosqueada de vermelho rica em hidróxidos de alumínio, alguns dispostos em terraços aluvionares, com horizontes bauxíticos endurecidos.

PALEOPROTEROZOICO — SUPERGRUPO MINAS

GRUPO SABARÁ

PP2ms	Indiviso: clorita-xisto, metatufo, metagrauvaca, quartzito, conglomerado, metachert, alguma formação ferrífera.

GRUPO PIRACICABA

PP2mpb	Formação Barreiro: filito e filito grafitoso.
PP2mpt	Formação Taboões: quartzito fino e maciço.
PP2NP1δnsp	Metagabro Nossa Senhora da Paz: Metagabro
PP1mpf	Formação Fecho do Funil: filito dolomítico, filitos dolomito impuros.
PP1mpc	Formação Cercadinho: quartzito ferruginoso, filito ferruginoso, filito, quartzito e pequenas intercalações de dolomito.

GRUPO ITABIRA

PP1mig	Formação Gandarela: rochas carbonáticas, dolomito; subordinadamente itabirito, filito dolomítico e filito.
PP1mic	Formação Cauê: Itabirito silicoso. Subordinadamente ocorrem itabiritos dolomítico e anfibolítico com pequenas lentes de filito e marga e horizontes manganesíferos.
PP1mich	Formação Cauê: Itabirito silicoso. Subordinadamente ocorrem itabiritos dolomítico e anfibolítico com pequenas lentes de filito e marga e horizontes manganesíferos; hematita compacta (h).

GRUPO CARAÇA

PP1mcb	Formação Batatal: filito sericítico, grafitoso localmente pode apresentar clorita e sedimentos carbonáticos na parte superior, finas camadas de chert e hematita.
PP1mcm	Formação Moeda: conglomerado e quartzito grosso de origem fluvial e quartzito fino e filito de origem transicional marinha.

NEOARQUEANO

ORTOGNAISSE SOUZA NOSCHESE

A4γ2sn	Granito gnáissico à biotita e muscovita de cor cinza esbranquiçada, de granulação média, porfiroblástico (cristais centimétricos de plagioclásio) com foliação milonítica, bastante homogêneo, composto por quartzo, plagioclásio, microclina, biotita (geralmente cloritizada) e muscovita (subordinada). Zircão e apatita são os acessórios mais comuns.

TONALITO SAMAMBAIA

A4γ1sm	Metatonalito com foliação milonítica, biotítico, de cor cinza escura e granulação média a grossa com freqüentes porfiroblastos de plagioclásio, podendo exibir algum bandamento. Composto essencialmente por quartzo, plagioclásio, microclina (subordinada), biotita e alguma hornblenda. Titanita, alanita, zircão e apatita são os acessórios mais comuns.

GRANITO BUTURI

A4γ4bi	Monzogranito muito homogênea de cor cinza e textura fanerítica equigranular média a grossa, podendo ser porfirítico. É composto essencialmente por quartzo, microclina, plagioclásio e biotita; como acessório mais comuns estão o zircão e os opacos.

SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS

GRUPO NOVA LIMA

A4rnm	Unidade Metamáfica: domínio de metabasalto alterado representacos por clorita xisto e eventuais intercalações de sericitaclorita xisto (metatufo); formação ferrífera bandada e metapelito subordinados.
A4ml	Indiviso: xisto e filito saprolitizados, pardo-avermelhados, marrons e cinzentos; quartzo-sericita xisto.

GRUPO QUEBRA-OSSO

A4rq	Indiviso: rocha metamáfica e metaultramáfica muito saprolitizada, representada por xisto clorítico, com intercalações de xisto sericítico, formação ferrífera e metachert.

MESOARQUEANO

GNAISSE BELO HORIZONTE

A3bhm	Gnaisse bandado, migmatítico, de composição meta granodiorítica de cor cinza-claro a cinza-médio com bandamento centimétrico, protomilonítico. Composto por quartzo, feldspato potássico, biotita e tem como principais acessórios opacos e zircão.

GNAISSE ALBERTO FLORES

A3af	Biotita-anfibólio ortognaisse bandado, tipo TTG, de cor cinza e granulação média, com bandas e lentes anfibolíticas, migmatítico, com estrutura estromática superimposta na forma de bandas de leucossomas quartzo-feldspáticos isotrópicos;
A3aff	Biotita-anfibólio ortognaisse bandado, tipo TTG, de cor cinza e granulação média, com bandas e lentes anfibolíticas, migmatítico, com estrutura estromática superimposta na forma de bandas de leucossomas quartzo-feldspáticos isotrópicos; biotita-(anfibólio) gnaisse migmatítico com estrutura schlieren dominnte e leminada subordinada (gnaisse fitado-f);

DADOS CARTOGRÁFICOS

FONTES:
- -IBGE, 2020;
- -ESRI, 2022;
- -VALE, 2022;
- -IGAM, 2010;
- -CPRM, 2019.

N S W E

ESCALA GRÁFICA

0 0,5 1 2 Km

Coordinate System: GCS SIRGAS 2000

CLIENTE: VALE		ARCADIS Design & Consultancy for natural and built assets	
RELATÓRIO: XX			
TÍTULO: MAPA GEOLÓGICO			
RESP. TÉCNICO: XX	ELABORAÇÃO: V.B.	VERSÃO: 01	FORMATO/ORIENTAÇÃO: A2 / HORIZONTAL
CÓDIGO PROJETO: 01.08.01.50905	ESCALA: 1:77.000	FOLHA: MAPA XX	DATA: MAI /2023

C:\Users\victor.brandao\ARCADIS\ARCADIS_GIS - Documentos\2_Projetos\VALE\01_08_01_50905_Vale_Brumadinho_Barragens\2_PROJETO\Menezes\Meio_Fisico\Meio_Fisico.aprx Alterado por:victor.brandao Em:10/05/2023

Anexo II - Mapa de Pontos Análise de Solo

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

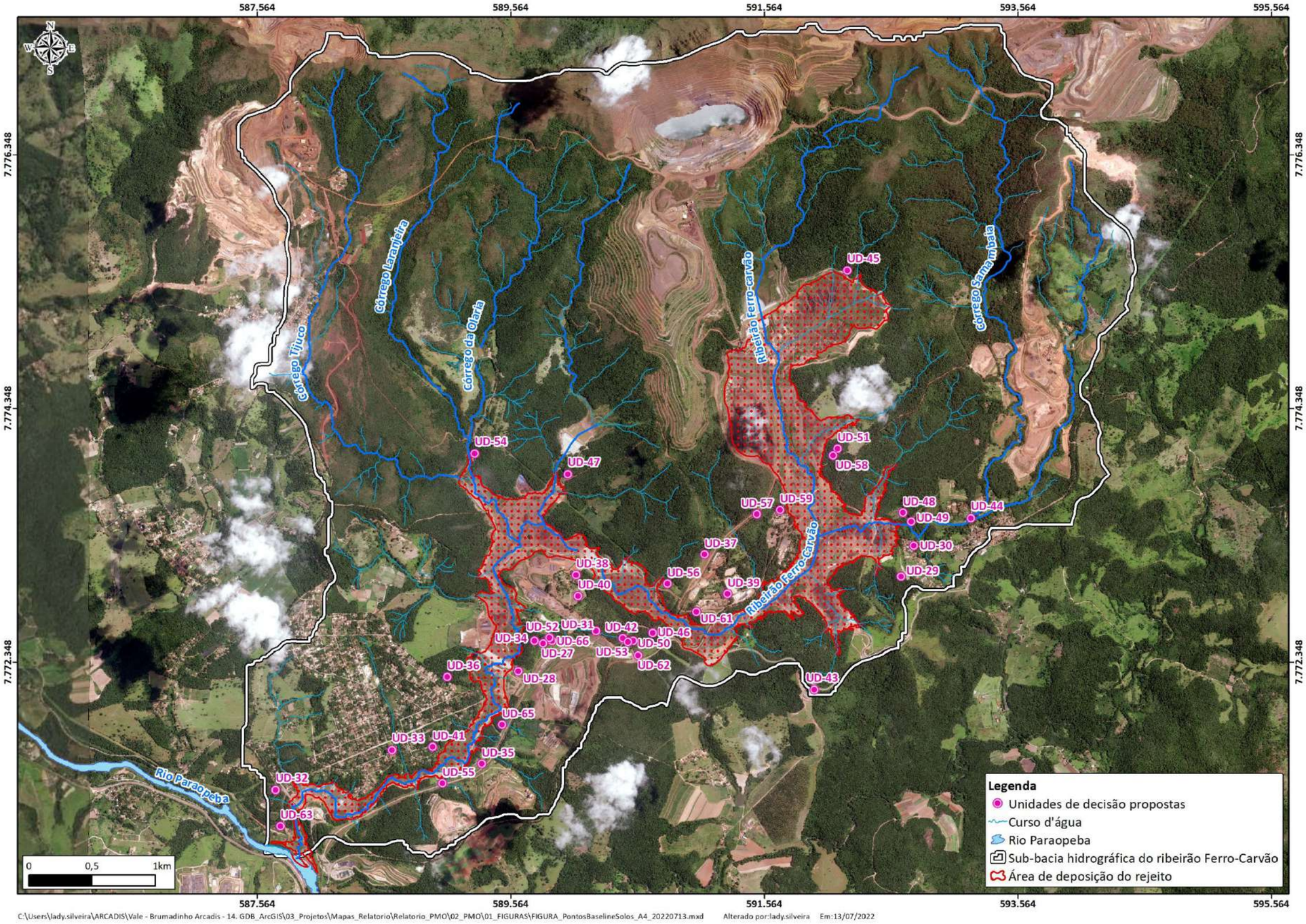


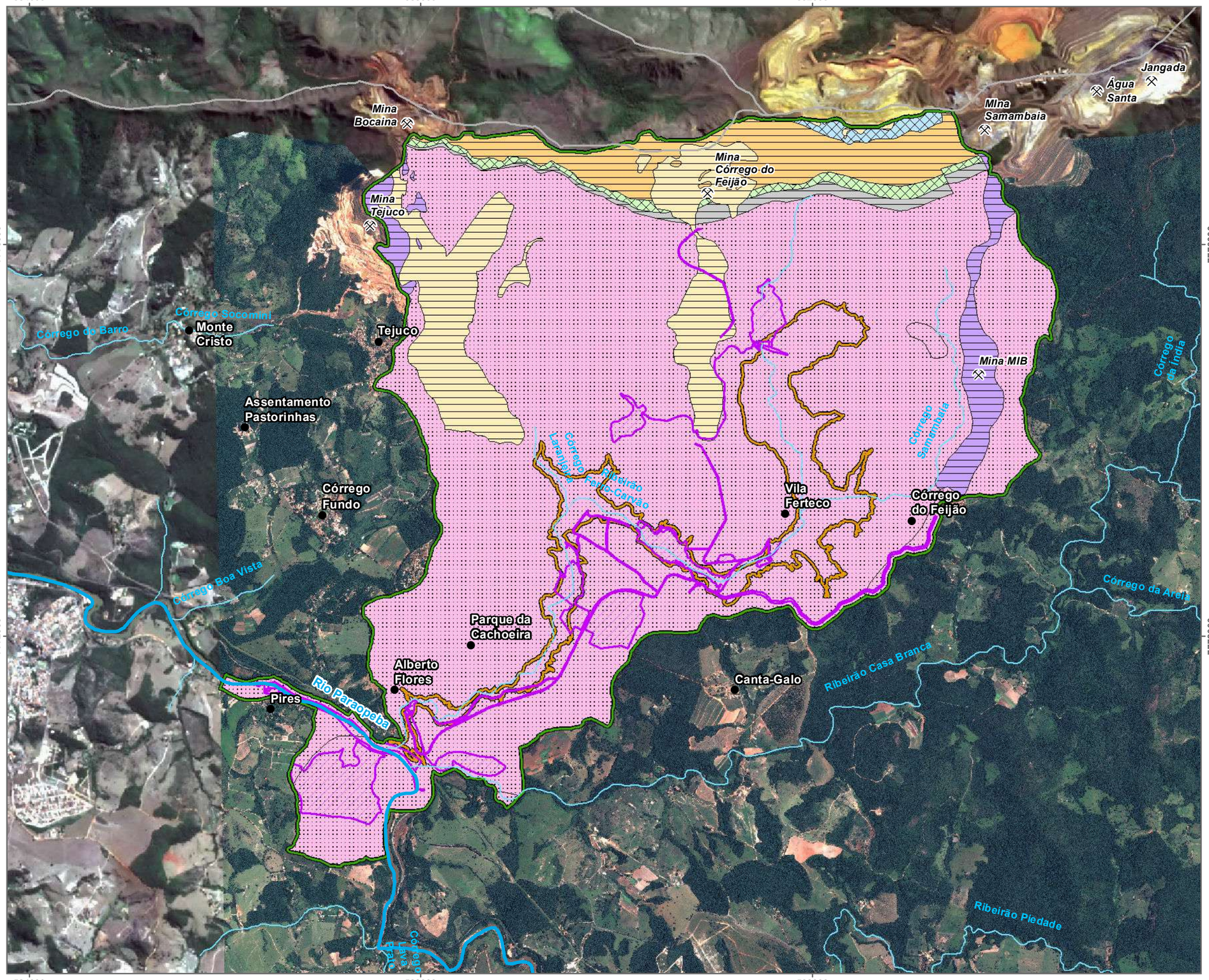
Figura 7 – Pontos de amostragem de solos naturais selecionados no entorno da mancha de rejeitos

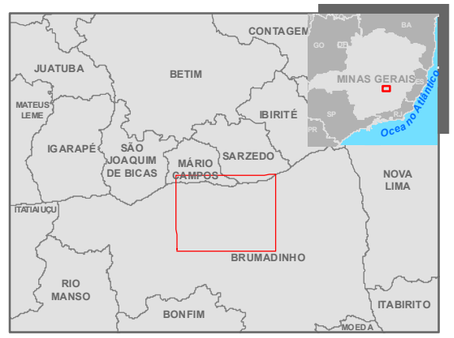
Anexo III - Espeleologia

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br

Anexo IV - Mapa de Recursos Hídricos Subterrâneos

Copyright © 2023 Arcadis. Todos os direitos reservados. arcadis.com.br





- Localidade
- Mina
- Rio Paraopeba
- Hidrografia
- Área Diretamente Afetada - ADA
- Área Atingida
- Área de Estudo
- Limite Municipal

Zonas Hidrogeológicas

- Zona Aquífera
- Zona Não Aquífera
- Zona de Aquíferos Pobres

Sistemas Aquíferos

- Coberturas
- Sistema Aquifero Carbonático
- Sistema Aquifero Coberturas / Granular
- Sistema Aquífero Filítico / Aquitardo
- Sistema Aquífero Granito-Gnáissico
- Sistema Aquífero Itabirítico
- Sistema Aquífero Quartzítico

N S E W

1:40.000

0 1 2 Km

Base Cartográfica (Fonte): limites políticos (IBGE, 2015); hidrografia (IGAM, 2002); ada (Vale, 2019); área de estudo (Amplo, 2019); , hidrogeologia Projeto Codemig (2005); imagens de satélite Sentinel (15/08/2018) e Pleiades (29/01/2019).

Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000 UTM Zone 23S
Projeção: Transverse Mercator
Datum: SIRGAS 2000

Amplo

Projeto: **EIA LOC Obras Emergenciais - Mina Córrego do Feijão**

VALE

Título: **Mapa Hidrogeológico**

Elaboração:	Data:	Formato:	Arquivo:
Geoprocessamento Amplo	01/05/2019	A3	Hidrogeologiav03

Sobre a Arcadis

Arcadis é a empresa líder global de Design & Consultoria para ativos naturais e construídos. Aplicando nossos profundos insights do setor de mercado e serviços de design coletivo, consultoria, engenharia, projeto e gestão trabalhamos em parceria com nossos clientes para proporcionar resultados excepcionais e sustentáveis ao longo do ciclo de vida de seus ativos naturais e construídos. Somos 27.000 pessoas ativas em mais de 70 países que geram €3,3 bilhões em receitas. Apoiamos a UNHabitat com conhecimento e experiência para melhorar a qualidade de vida em cidades em rápido crescimento em todo o mundo.

www.arcadis.com.br

Arcadis Brasil

Avenida das Nações Unidas, 12995

Brooklin Paulista

São Paulo/SP Brasil - 04.578-911

T: 55 (11) 3117.3171

E: contato@arcadis.com