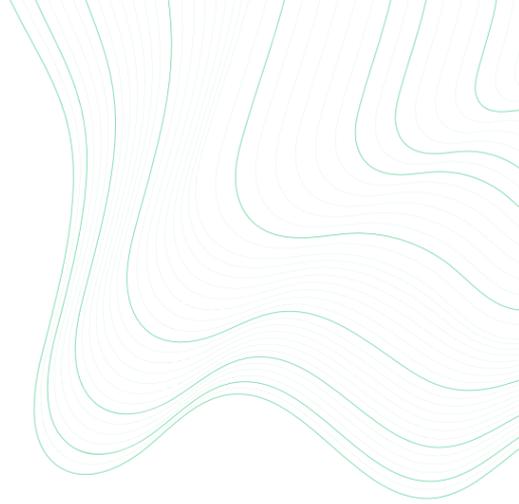




NÚCLEO DE ASSESSORIA
ÀS COMUNIDADES ATINGIDAS
POR BARRAGENS



Diagnóstico Emergencial: Integração de Pesquisas sobre Meio Físico e Biótico

DEZEMBRO

2020

Ficha Técnica

GERÊNCIA SOCIOAMBIENTAL

Irla de Paula Stopa Rodrigues

Gerente Socioambiental

Bióloga e Doutoranda em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre (UFMG)

Adriana Assunção de Carvalho

Especialista Sênior Socioambiental

Bióloga e Mestre em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre (UFMG)

Dayane Lopes Pinto

Especialista Pleno Socioambiental

Engenheira Florestal e Mestre em Ciência Florestal (UFV)

Lucas Grossi Bastos

Especialista Pleno Socioambiental

Geógrafo e Mestre em Geografia - Organização do Espaço (UFMG)

Ramon Neto Rodrigues

Especialista Pleno Socioambiental

Engenheiro Ambiental e Mestre em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre (UFMG)

GERÊNCIA DE QUALIDADE DA ÁGUA E AVALIAÇÃO DE RISCO A SAÚDE

Rafael Kopshitz Xavier Bastos

Gerente de Qualidade Da Água E Avaliação De Risco A Saúde

Engenheiro Civil, Doutor e Pós-Doutor em Public Health Engineering - University of Leeds, UK.

Lauro Magalhães Fráguas

Especialista Pleno de Qualidade Da Água E Avaliação De Risco A Saúde

Engenheiro Ambiental, Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais (UFMG).

Matheus de Brito Corrêa

Engenheiro Ambiental.

COLABORADORES

GERÊNCIA JURÍDICA

Alexandre de Lima Chumbinho

Gerente Jurídico

Advogado, inscrito na OAB/MG sob o n° 152.287. Especialista em Direito do Estado.

Luiza Lino do Nascimento

Assessora Jurídica II de Diagnóstico Fundiário

Bacharela em Filosofia (UFMG, 2018).

Marcela Galvani Borges

Coordenadora Jurídica de Campo de Pará de Minas

Formação: Advogada (Universidade FUMEC-2006) inscrita na OAB/MG sob o n 105.193. Especialista em Direito Fundiário.

ANALISTAS DE CAMPO

Camila de Fatima Bento

Bacharel em direito

Germana Maria Guinle de Mello

Bacharel em Direito, mestranda em Direito

Gilmar Fialho de Freitas

Geografia, Mestre em Extensão Rural

Gisele Bazzo Piccirilli

Engenharia Florestal, Extensão Rural

Hugo Henrique de Salis

Engenheira Florestal, mestre em Análise e Modelagem

Juliana Fazolo Marques

Engenheira Ambiental, mestranda em Recursos Hídricos (UFOP)

Mariana Machado Dias

Engenheira Ambiental

Paula Laranja Leal de Mattos Pereira

Engenheira Sanitária e Ambiental, Mestre em Engenharia Civil

Renata Felinto de Farias Aires

Direito, mestre em Direitos Humanos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização dos municípios que compõem a Região 3.	20
Figura 2: Localização dos Municípios da Região 3 em relação a bacia hidrográfica do rio Paraopeba e ao local do rompimento da barragem.	32
Figura 3: Síntese das principais informações territoriais dos municípios que compõem a Região 3.	33
Figura 4: Distribuição das áreas das 21 comissões criadas para a Região 3 por escritório de apoio.	34
Figura 5: Mapa das edificações georreferenciadas e público alvo estimado dentro dos limites das comissões da Região 3.	35
Figura 6: Síntese das informações das comissões ligadas ao escritório de Pará de Minas.	37
Figura 7: Síntese das informações das comissões ligadas ao escritório de Esmeraldas.	38
Figura 8: Síntese das informações das comissões ligadas ao escritório de Paraopeba.	39
Figura 9: Delimitação dos cursos d'água e das bacias hidrográficas em que Região 3 está inserida.	40
Figura 10: Distribuição dos cursos d'água de ordem seis, cinco e quatro, pertencentes à bacia do Rio Paraopeba na Região 3.	41
Figura 11: Delimitação das sub-bacias hidrográficas do rio Paraopeba que fazem parte dos municípios da Região 3.	43
Figura 12: Áreas de influência de cada uma das sub-bacias mapeadas em km ²	44
Figura 13: Distribuição das classes de solo dentro dos limites da Região 3.	45
Figura 14: Distribuição da geologia dentro dos limites da Região 3.	52
Figura 15: Altimetria (m) dos municípios pertencentes à Região 3 com base no Modelo Digital de Elevação, disponibilizado pelo Projeto TopoData.	56
Figura 16: Quantitativo de área ocupada por cada intervalo de cotas hipsométrico definidos para a Região 3.	57
Figura 17: Declividade (%) dos municípios pertencentes à Região 3 com base no Modelo Digital de Elevação, disponibilizado pelo Projeto TopoData.	58

Figura 18: Delimitação das áreas dos biomas nos municípios que compõe a Região 3.....	59
Figura 19: Percentual da área de abrangência dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, dentro da Região 3.....	60
Figura 20: Espacialização das propriedades cadastradas na base pública do Cadastro Ambiental Rural - CAR, para os municípios da Região 3 e para dentro dos limites das comissões.	64
Figura 21: Perfil dos terrenos cadastrados no CAR dentro dos limites das comissões da Região 3, em relação ao seu tamanho baseado nos módulos fiscais.	66
Figura 22: Espacialização das propriedades cadastradas na base pública Sistema de Gestão Fundiária - SIGEF e Sistema Nacional de Cadastro Rural, do INCRA, para os municípios da Região 3 e para dentro dos limites das comissões.....	67
Figura 23: Composição da base fundiária mista para os limites territoriais das comissões pertencentes aos municípios da Região 3.	68
Figura 24: Distribuição das lacunas fundiárias para as comissões pertencentes ao município de Esmeraldas, Minas Gerais.	70
Figura 25: Distribuição das lacunas fundiárias para as comissões pertencentes aos municípios de Paraopeba e Papagaios, Minas Gerais.	71
Figura 26: Dinâmica de uso e cobertura do solo na Região 3 para os anos de 1985 e 2018...	78
Figura 27: Dinâmica do uso e cobertura do solo para a Região 3, entre 1985 e 2018.....	84
Figura 28: Dinâmica de uso e cobertura do solo na Região 3 para os anos de 2018 e 2019. .	87
Figura 29: Mapa de uso e ocupação do solo de 2018 e 2019 para os limites das comunidades que formam as comissões da Região 3.	90
Figura 30: Demandas dos(as) atingidos(as) da Região 3 relacionadas à água.....	110
Figura 31: Percentuais de formulários preenchidos segundo o tipo de demanda, por comissão ou município.	111
Figura 32: Distribuição dos participantes da pesquisa por comissões de atingidos.....	113
Figura 33: Respostas na enquete eletrônica sobre utilização da água do rio Paraopeba e/ou poços antes do rompimento da barragem.	114
Figura 34: Distribuição dos volumes de água do rio Paraopeba que eram utilizados antes do rompimento.....	115

Figura 35: Distribuição dos volumes de água utilizados de poços antes do rompimento.....	116
Figura 36: Finalidades de uso da água do rio Paraopeba e/ou poços antes do rompimento.	117
Figura 37: Quantidade de pessoas que utilizam as águas do rio Paraopeba e/ou poços para consumo humano.....	118
Figura 38: Tamanho, em hectares, da área irrigada de plantações.....	119
Figura 39: Destinação dos plantios que eram irrigados com água do rio Paraopeba e/ou poços.	120
Figura 40: Destinação das criações de animais desenvolvidas nos terrenos.....	121
Figura 41: Usos da água do rio Paraopeba e/ou poços às margens do rio após o rompimento.	122
Figura 42: Exclusividade de uso da água do rio Paraopeba e/ou poços às margens.....	123
Figura 43: Medidas adotadas para manutenção do abastecimento de água.	124
Figura 44: Opiniões sobre eventuais problemas futuros com as medidas adotadas para abastecimento de água.	125
Figura 45: Nível de satisfação com as medidas adotadas para manutenção do abastecimento de água.....	126
Figura 46: Captação superficial de usos consuntivos da Região 3. Fonte: SISEMA (2020). Adaptado.....	129
Figura 47: Captação superficial e subterrânea de usos consuntivos da Região 3. Fonte: SISEMA (2020). Adaptado.	129
Figura 48: Distribuição das barragens de rejeito de minério na região do Quadrilátero Ferrífero Aquífero.....	140
Figura 49: Localização dos conflitos identificados pelo Grupo de Estudos em Temáticas Ambientais - Gesta, na Região 3, e disponibilizados no Observatório de Conflitos de Minas Gerais.....	163
Figura 50: Limites de uso e edificações mapeadas na Comunidade Quilombola de Pontinha.	168
Figura 51: Mapa de uso e cobertura do solo da Comunidade Quilombola da Pontinha.	169

Figura 52: Distribuição percentual da área de diferentes usos e cobertura do solo, para a comunidade quilombola de Pontinha.	170
Figura 53: Mapeamento de uso e cobertura do solo para a Comunidade Quilombola de Pontinha, entre 1985 e 2018.	172
Figura 54: Lacunas de informações fundiárias identificadas no território Quilombola de Pontinha.	173
Figura 55: Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Paciência e seus respectivos pontos de captação registrados.	177
Figura 56: Distribuição dos conflitos relacionados às incertezas por contaminação identificados nas comissões pertencentes à Região 3.	181
Figura 57: Distribuição dos conflitos de base imaterial identificados nas comissões pertencentes à Região 3.	187
Figura 58: Distribuição dos conflitos econômicos identificados nas comissões pertencentes	190
Figura 59: Distribuição dos conflitos econômicos identificados nas comissões pertencentes à Região 3.	195
Figura 60: Fotografias dos diversos danos identificados na comunidade de Taquaras, pela Equipe do NACAB/ATIR3.	196
Figura 61: Pontos de amostragem do Laudo Pericial Nº 3565/19 da Polícia Federal para caracterização do rejeito de minério liberado após o rompimento da barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão.	214
Figura 62: Resultados da análise granulométrica do rejeito de minério da Barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão do Laudo Pericial Nº 3565/19 da Polícia Federal.	215
Figura 63: Resultados da análise granulométrica do rejeito de minério da Barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão realizado por empresa contratada pela VALE S.A e apresentados no Laudo Pericial Nº 3565/19 da Polícia Federal.	215
Figura 64: Curvas de Isoconcentração (mg/kg) dos principais elementos encontrados na área imediatamente afetada pelo rejeito (vide resultados completos na Tabela 1.	216
Figura 65: Localização dos furos de sondagens realizados por Gomes (2009) na Barragem B-I, da Mina do Córrego do Feijão.	221

Figura 66: Resultados da análise granulométrica do rejeito de minério da Barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão apresentados por Gomes (2009).....	221
Figura 67: Concentrações de alumínio dissolvido (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	227
Figura 68: Concentrações de alumínio dissolvido (mg/L), com indicação de valores extremos, nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	227
Figura 69: Distribuição espaço-temporal de alumínio dissolvido (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	228
Figura 70: Concentrações de ferro dissolvido (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	229
Figura 71: Concentrações de ferro dissolvido (mg/L), com indicação de valores extremos, nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	230
Figura 72: Distribuição espaço-temporal de ferro dissolvido (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial)	230
Figura 73: Concentrações de ferro total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial)	231
Figura 74: Concentrações de ferro total (mg/L), com indicação de valores extremos, nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	232

Figura 75: Distribuição espaço-temporal de ferro total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).....	232
Figura 76: - Concentrações de manganês total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial)	234
Figura 77: Concentrações de manganês total (mg/L), com indicação de valores extremos, das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	234
Figura 78: Distribuição espaço-temporal de manganês total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	235
Figura 79: Concentrações de arsênio total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	236
Figura 80: Concentrações de arsênio total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	237
Figura 81: Distribuição espaço-temporal do arsênio total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	237
Figura 82: Concentrações de cádmio total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	238
Figura 83: Concentrações de cádmio total (mg/L), com indicação de valores extremos, nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	239

Figura 84: Distribuição espaço-temporal de cádmio total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	239
Figura 85: Concentrações de chumbo total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	240
Figura 86: Concentrações de chumbo total (mg/L), com indicação de valores extremos, nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	241
Figura 87: Distribuição espaço-temporal de chumbo total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	241
Figura 88: Concentração do cobre total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	243
Figura 89: Concentração do cobre total (mg/L) com valores extremos das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	243
Figura 90: Distribuição espaço-temporal do cobre total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	244
Figura 91: Concentração do cromo total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	245
Figura 92: Concentração do cromo total (mg/L) com valores extremos das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	246
Figura 93: Distribuição espaço-temporal do cromo total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	246

Figura 94: Concentração do mercúrio total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	247
Figura 95: Concentração do mercúrio total (mg/L) com valores extremos das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	248
Figura 96: Distribuição espaço-temporal do Mercúrio total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	248
Figura 97: Concentração do níquel total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	249
Figura 98: Concentração do níquel total (mg/L) com valores extremos das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	250
Figura 99: Distribuição espaço-temporal do Níquel total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	250
Figura 100: Concentração do Zinco total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	251
Figura 101: Concentração do Zinco Total (mg/L) com valores extremos das amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	252
Figura 102: Distribuição espaço-temporal do Zinco total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).	252
Figura 103: Valores de turbidez da água do rio Paraopeba em municípios da Região 3 em 2019 e 2020	255
Figura 104: Distribuição de resultados de coliformes totais por município.	258

Figura 105: Distribuição de resultados de <i>E. coli</i> por município.	258
Figura 106: Distribuição de resultados de turbidez por município.	259
Figura 107: Distribuição de resultados de cor aparente por município.	260
Figura 108: Concentração de metais, em material seco, detectada em sedimentos na Região 3.	267
Figura 109: Concentração de metais, em material seco, detectada em sedimentos na Região 3.	268
Figura 110: Concentração de metais, em material seco, detectada em sedimentos na Região 3.	268
Figura 111: Localização dos pontos na Sub-Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba, onde foram coletadas amostras de solos para elaboração do Atlas Geoquímico da Bacia do rio São Francisco (CPRM, 2018).	273
Figura 112: Teores de metais (% e mg/kg) registrados na Bacia do Rio Paraopeba, de acordo com o Atlas Geoquímico da Bacia do rio São Francisco (CPRM, 2018).	275
Figura 113: Teores de metais (mg/kg) registrados na Bacia do Rio Paraopeba, de acordo com o Atlas Geoquímico da Bacia do rio São Francisco (CPRM, 2018).	276
Figura 114: Registro da deposição acentuada de rejeito em um terraço fluvial adjacente à barragem de Candonga (à esquerda), e o detalhamento de um perfil de solo evidenciando a compactação da lama alcançando camadas mais profundas do solo (à direita).	285
Figura 115: Imagem ampliada das diferenças granulométricas encontradas antes e após o rompimento da Barragem de Fundão nas zonas de deposição do rejeito.	285
Figura 116: Rotas de exposição potencial completa por meio do solo superficial. Fonte: Ambios (2019).	289
Figura 117: Rotas de exposição potencial futura por meio do solo superficial. Fonte: Ambios (2019)	290
Figura 118: Localização das estações de monitoramento automático da Rede de Monitoramento de Qualidade do Ar de Minas Gerais, dentro do contexto da Região 3.	296
Figura 119: Localização das Estações Automáticas de Monitoramento de Qualidade do Ar, dentro dos municípios de Mariana e Barra Longa, Minas Gerais.	298

Figura 120: Número de dias com valores da média diária para MP10 acima do recomendado pela Organização Mundial de Saúde, segundo seu Guideline (WHO, 2006), por estação de monitoramento e ano.	302
Figura 121: Mapa de localização dos pontos de amostragem de poeira domiciliar utilizados pela Ambios para construção do parecer sobre poeira domiciliar para o contexto de Mariana e Barra Longa.	304
Figura 122: Concentração de metais pesados identificadas nas amostras de poeira domiciliar coletadas pela equipe da Ambios próximo às zonas de deposição de rejeito na sub bacia do rio Gualaxo Norte.	305
Figura 123: Localização das Estações Automáticas de Monitoramento de Qualidade do Ar, dentro do município de Brumadinho, Minas Gerais.....	308
Figura 124: Localização das estações de monitoramento usadas como base de análise em relação às infraestruturas urbanas, zonas de deposição de rejeito, ao ribeirão Ferro-Carvão e ao rio Paraopeba.	308
Figura 125: Número de vezes em que o limite médio diário para concentração de PM10 recomendado pela OMS foi ultrapassado na Estação da Comunidade do Feijão, por ano. ...	312
Figura 126: Comparação das concentrações de material particulado (PM10) para as três estações localizadas dentro do município de Brumadinho, MG.	313
Figura 127: Comparação das concentrações de material particulado (PTS) para as três estações localizadas dentro do município de Brumadinho, MG.....	314
Figura 128: Comparação das concentrações de material particulado (PM2,5) para as três estações localizadas dentro do município de Brumadinho, MG.	315
Figura 129: Média aritmética anual da concentração de Material Particulado PM10 entre 2015 e 2019 e limites pertinentes.	316
Figura 130: Fotos registradas por Cruz et al. (2019) indicando a menor produção de massa seca, tamanho de raízes e tamanho de ramificações para três espécies vegetais arbóreas. A barra de escala nas fotos é de 5 cm.....	325
Figura 131: Concentração de elementos nas raízes de plantas de arroz cultivadas em quatro tratamentos, analisados antes da maturidade dos grãos.....	330

- Figura 132:** Parâmetros agronômicos avaliados por Andrade et al. (2018) para plantas de arroz cultivadas em diferentes proporções de rejeito de minério no solo..... 332
- Figura 133:** Animais domésticos (bovinos e equino) às margens do Rio Paraopeba..... 343
- Figura 134:** Número de carcaças identificadas como animais domésticos por nome comum e espécie. 343
- Figura 135:** Imagem de carcaças de animais domésticos (boi) encontrada no trecho do Rio Paraopeba, entre a foz do Ribeirão Ferro-Carvão e a Barragem de Retiro Baixo, em Felixlândia, MG..... 344
- Figura 136:** Mapa de localização dos pontos de amostragem de coleta de ovos e leite bovino utilizados pela Ambios para construção do parecer sobre a contaminação de produtos animais para o contexto de Mariana e Barra Longa..... 346
- Figura 137:** Mapa da área de estudo avaliada por Vieira e Colaboradores (2020) no contexto do rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana, MG..... 348
- Figura 138:** Concentração de metais traços identificadas por Vieira et al. (2020) nas corbículas de *Apis Mellifera* próximo as áreas afetadas pelo rompimento..... 349
- Figura 139:** Mortalidade (%) de embriões de peixe-zebra expostos à água contaminada do rio Paraopeba. Pvalues * <0,05. O controle foi realizado com água pura em vez da água do rio Paraopeba. Fonte: Thompson et al., (2019; Tradução própria). 358
- Figura 140:** O peixe-zebra criado nas águas contaminadas do rio Paraopeba desenvolve anomalias anatômicas (teratogênias): escoliose (A, B), edema pericárdico (C) e desenvolvimento normal observado em controles de peixe-zebra (D). Fonte: Thompson et al., (2019). 358
- Figura 141:** Gráfico com distribuição semanal do registro de carcaças de peixes encontradas no trecho do rio Paraopeba sob exame para o período de 25/01/2019 a 12/08/2019. Fonte: POLÍCIA FEDERAL, 2019. 361
- Figura 142:** Carcaças de peixes encontradas no rio Paraopeba (datas e coordenadas nas fotos). 362
- Figura 143:** Exemplar de *Prochilodus* sp. necropsiado em 17/02/2019. Notar a presença de sólidos de coloração amarronzada cobrindo completamente os arcos branquiais..... 365

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área total, área dentro do raio de 1km do rio Paraopeba, número de edificações e densidade de edificações por comissão.	36
Tabela 2: Características dos principais cursos d'água mapeados na Região 3.	42
Tabela 3: Unidades de Mapeamento (UM) do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais que ocorrem na Região 3.	46
Tabela 4: Distribuição do número de áreas de lacunas e soma total das áreas com falta de informações fundiárias nas bases utilizadas para os municípios da Região 3.	69
Tabela 5: Distribuição do número de áreas de lacunas e soma total das áreas com falta de informações fundiárias nas bases utilizadas para as comissões da Região 3.	72
Tabela 6: Distribuição dos usos e coberturas do solo na Região 3 por classe para os anos de 1985 e 2018.	79
Tabela 7: Variação das áreas de floresta plantada para os municípios da Região 3, entre 1985 a 2018.	81
Tabela 8: Variação das áreas de infraestruturas urbanas para os municípios da Região 3, entre 1985 a 2018.	83
Tabela 9: Distribuição das áreas em hectares por classe de uso e ocupação do solo para os limites territoriais da Região 3.	88
Tabela 10: Distribuição das áreas em hectares por classe de uso e ocupação do solo para os limites das comunidades que formam as comissões da Região 3.	89
Tabela 11: Percentuais de pessoas atingidas por município/comissão que participaram do levantamento por meio do formulário eletrônico.	109
Tabela 12: Quantidade de outorga de captação subterrânea, segundo uso (Região 3).	127
Tabela 13: Quantidade de outorga de captação superficial, segundo uso (Região 3).	128
Tabela 14: Registro síntese de rompimentos envolvendo barragens de rejeitos em Minas Gerais.	142
Tabela 15: Bases de dados centrais de conflitos identificados para todo território nacional e estadual.	157

Tabela 16: Registro de conflitos identificados pela Comissão Pastoral da Terra para o ano de 2019, na Região 3.	159
Tabela 17: Conflitos identificados pelo Grupo de Estudos em Temáticas Ambientais - Gesta, na Região 3, e disponibilizados no Observatório de Conflitos de Minas Gerais.	162
Tabela 18: Categorias e número de conflitos identificados no Diagnóstico Rápido Participativo (DRP).	180
Tabela 19: Concentração (mg/kg) de metais e semi-metais nas amostras de rejeito coletadas pelo corpo técnico da Polícia Federal na área imediatamente afetada pelo rejeito.	217
Tabela 20: Padrão de águas doces (Classe 2).	224
Tabela 21: Estações pertencentes aos municípios da Região 3, sua distância até a Barragem B-1 e o início das coletas de amostra, após o rompimento.	225
Tabela 22: Pontos de coleta e monitoramento pertencentes à Região 3, estudo da Fundação SOS Mata Atlântica.	254
Tabela 23: Número de amostras de água coletadas por municípios abrangidos na Região 3.	256
Tabela 24: Número de campanhas e amostras de água coletadas por municípios abrangidos na Região 3.	257
Tabela 25: Resultado do monitoramento para os parâmetros alumínio, ferro e manganês.	261
Tabela 26: Resultado do monitoramento para as substâncias químicas que apresentam riscos à saúde.	262
Tabela 27: Parâmetros de qualidade avaliados nos sedimentos de fundo.	263
Tabela 28: Concentração dos metais nas amostras de solo coletadas. Fe = Ferro, Al = Alumínio, Cu = Cobre, Mn = Manganês, Cd = Cádmio, Ni = Níquel, Zn = Zinco, As = Arsênio, Co = Cobalto, Pb = Chumbo e Cr = Cromo.	280
Tabela 29: Fonte dos dados utilizados para composição de um possível cenário de danos associados à concentração de material particulado e poeira domiciliar.	297
Tabela 30: Resumo estatístico dos resultados das estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar em Barra Longa e Mariana, MG.	300

Tabela 31: Resumo estatístico dos dados disponíveis para as estações de monitoramento de qualidade do ar de Brumadinho.....	311
Tabela 32: Resumo das características dos estudos analisados para composição de um cenário provável de danos socioambientais na Região 3.	320
Tabela 33: Níveis de metais pesados em raízes e folhas e ramos de <i>Brachiaria</i> sp. coletadas em zona pecuária atingida por enchentes regulares na parte alta da Bacia do rio das Velhas, Minas Gerais, Brasil.	322
Tabela 34: Níveis de metais em folhas e raízes de <i>C.grandis</i> encontrados por Matos et al. (2020) para dois tratamentos distintos. Letras diferentes, indicam diferenças significativas entre os dois tratamentos (5%).....	328
Tabela 35: Comparação da concentração dos elementos analisados (mg/kg) entre os grãos de arroz cultivados no rejeito de minério e valores da literatura.....	331
Tabela 36: Concentração de Cromo (Cr), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) no milhete, milho e sorgo para diferentes proporções de rejeitos de minério de ferro no solo.....	334
Tabela 37: Concentração de elementos potencialmente tóxicos (mg/kg) nas partes aéreas de três espécies de forrageiras em diferentes tipos de tratamento.....	337
Tabela 38: Concentração de elementos com potencial tóxico em folhas, ramos e raízes em <i>Brachiaria decumbens</i> cultivadas em solo controle e mais três locais afetados pelo rejeito de minério proveniente da Barragem de Fundão, Brasil.	338
Tabela 39: Limites máximos estabelecidos pelas legislações vigentes para metais em amostras biológicas de peixes.....	353
Tabela 40: Compilado dos resultados obtidos nos estudos toxicológicos da ictiofauna do rio Paraopeba antes do rompimento da barragem.....	354
Tabela 41: Porcentagem de <i>S. franciscanus</i> (%) coletada em duas seções do rio Paraopeba, com níveis de contaminação acima daqueles considerados seguros para consumo humano de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998).	355

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
DIAGNÓSTICO TERRITORIAL SOCIOAMBIENTAL	23
1. Introdução.....	23
2. Metodologia.....	25
3. Resultados.....	31
4. Considerações Finais	92
5. Referências Bibliográficas.....	93
DIAGNÓSTICO DE COMPROMETIMENTOS AO ABASTECIMENTO DE ÁGUA PÓS-ROMPIMENTO DE BARRAGEM.....	103
1. Introdução.....	103
2. Metodologia.....	106
3. Resultados.....	108
4. Considerações Finais	131
5. Referências Bibliográficas.....	133
DIAGNÓSTICO DOS CONFLITOS SOCIOAMBIENTAIS DA REGIÃO 3.....	137
1. Introdução.....	137
2. Metodologia.....	150
3. Resultados.....	156
4. Considerações Finais	196
5. Referências Bibliográficas.....	197
DIAGNÓSTICO DOS DANOS CAUSADOS PELO ROMPIMENTO SOBRE OS FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS DA REGIÃO 3	206
1. Introdução.....	206
2. Metodologia.....	208
3. Resultados.....	211
4. Considerações Finais	367
5. Referências Bibliográficas.....	370
ANEXOS E APÊNDICES.....	391

INTRODUÇÃO

O rompimento da barragem B1 da Mina Córrego do Feijão tem sido considerado por analistas e entidades sociais como o maior desastre socioambiental em termos de perdas de vidas humanas e o maior acidente de trabalho já registrado no Brasil. Nos instantes seguintes ao rompimento, 13 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro ocasionaram uma devastação que se iniciou na estrutura administrativa e operacional da Vale S.A., atingindo e soterrando comunidades, casas, fazendas e diversas estruturas até chegar no rio Paraopeba (MPMG, 2019). A tragédia ceifou a triste soma de 270 vidas, cuja confirmação, mutante a cada dia de busca, já atingiu 259 pessoas, entre trabalhadores da mina e moradores do entorno. Cerca de vinte municípios banhados pelo rio Paraopeba e vários ecossistemas foram atingidos por danos de natureza diversa, provocando interrupções de projetos de vida, vulnerabilização econômica, desvalorização imobiliária, incertezas de futuro, transtornos psicológicos e estigmatização material e simbólica da região e seus produtos, dentre diversos outros.

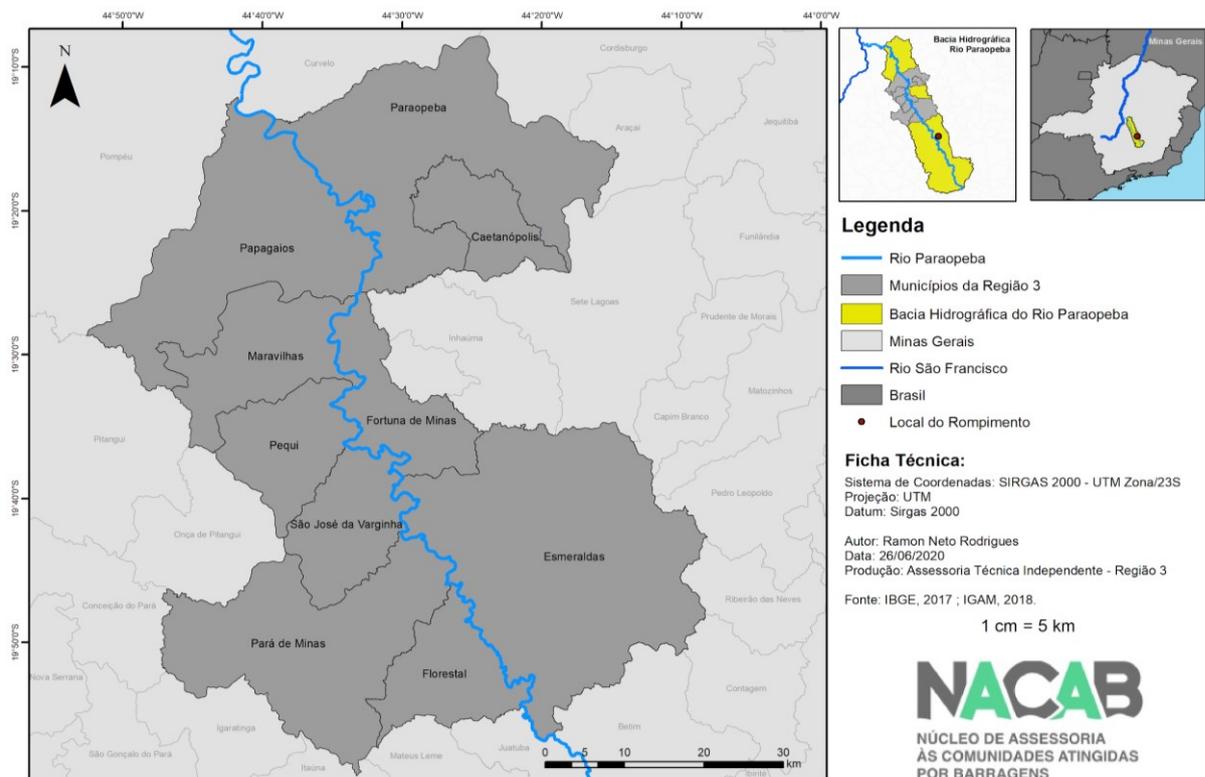
Diante de tamanho desastre, o trabalho dos órgãos do judiciário se iniciou mediante a escritura e proposição da Ação Civil Pública - ACP, que é o procedimento designado para a discussão sobre a reparação de danos aos interesses da coletividade. Já em fevereiro de 2019, o Juiz Elton Pupo definiu que as Assessorias Técnicas Independentes deveriam ser constituídas e, desde essa data, iniciou-se o processo de escolha. Em abril, as Instituições de Justiça realizaram, por meio de um Edital, o chamamento público para credenciamento de entidades sem fins lucrativos para a prestação de Assessoria Técnica Independente às pessoas atingidas pelo rompimento da barragem I da mina Córrego do Feijão, organizadas espacialmente em cinco regiões. Em julho, no município de Pará de Minas, o Núcleo de Assessoria às Comunidades Atingidas por Barragens - NACAB e seus parceiros foram escolhidos por maioria dos votos das comissões para atuar na Região 3 (vide Figura 1). Porém, o direito à Assessoria Técnica Independente foi deferido em 05 de março de 2020.

A Assessoria Técnica Independente da Região 3 - ATIR3/NACAB, tem por objetivo assessorar, como Assistente Técnico das Instituições de Justiça (IJs) autoras do processo 5087481-40.2019.8.13.0024, as pessoas e comunidades da Região 3, a fim de que possam participar qualificadamente do processo de levantamento de evidências, definição e implantação monitorada dos planos, programas e ações necessárias à reparação integral das

perdas e danos sofridos em razão do rompimento da barragem B-I e soterramento das barragens B-IV e B-IV-A da mina Córrego do Feijão da empresa Vale S.A.

Para tanto, a ATIR3/NACAB deve atuar no sentido de produzir conhecimento acerca da realidade socioeconômica, socioambiental, psicossocial e cultural da Região 3 - composta pelos municípios de Esmeraldas, Florestal, Pará de Minas, São José da Varginha, Pequi, Maravilhas, Papagaios, Fortuna de Minas, Caetanópolis e Paraopeba (Figura 1).

Figura 1: Mapa de Localização dos municípios que compõem a Região 3.



Especificamente, em relação à atividade de produção de conhecimento, constituem objetivos da ATIR3/NACAB:

i. Identificação dos danos socioambientais, socioeconômicos, psicossociais e culturais decorrentes do rompimento da barragem B1 da Mina Córrego do Feijão e caracterização social, econômica, demográfica e cultural dos atingidos através de pesquisas diagnósticas quantitativas e qualitativas, de monitoramento e avaliação de dimensões pertinentes;

ii. Promoção da construção coletiva de conhecimento junto às comunidades atingidas, para que possam atuar ativamente nos processos de negociação por direitos, de maneira qualificada e consciente da realidade dos fatos e de suas reivindicações.

iii. Produção de subsídios técnicos para a construção, junto às comunidades, de novos parâmetros/critérios para a aplicação do auxílio emergencial.

Em razão da complexidade e da diversidade das características socioeconômicas, demográficas, culturais e ambientais da Região 3, bem como da multiplicidade de danos sofridos pelos atingidos, em julho de 2020, foi construído o “Plano de Pesquisa do Diagnóstico Emergencial de Caracterização das Famílias e Levantamento de Danos Socioeconômicos, Socioambientais, Psicossociais e Culturais”. Esse plano de pesquisa se propunha a organizar e orientar as pesquisas diagnósticas, principalmente no que se refere aos objetivos compartilhados e os percursos metodológico. Ainda foram apresentados nesse plano de pesquisa os organogramas estruturais para concretização dos produtos previstos e os riscos eventuais para sua execução, principalmente considerando os desdobramentos associados ao contexto de pandemia instaurado.

Para a confecção do Plano de Pesquisa, a equipe técnica do NACAB/ATIR3, se dividiu em dois eixos distintos: Eixo 1 - Plano de Integração de Pesquisa com Seres Humanos, e Eixo 2 - Plano de Integração de Pesquisas Sobre Meio Físico e Biótico. Ao final, ambos os eixos foram integrados de maneira coesa, revelando as interações inerentes entre as dimensões humanas e ambientais, que devem ser consideradas em um processo de reparação integral. **Neste documento, serão apresentados apenas os diagnósticos previstos pelo “Eixo 2 - Plano de Integração de Pesquisas sobre Meio Físico e Biótico”.**

Salienta-se que os estudos que serão apresentados no âmbito desse diagnóstico atendem às especificidades da realidade dos atingidos da Região 3 e, portanto, suplementam as análises feitas por outras instituições, enriquecendo as discussões acerca dos danos causados pelo rompimento da barragem da mina do córrego do Feijão. Para mais, o atendimento integral das demandas dos atingidos implicará na construção, adaptação e implementação de metodologias atinentes às peculiaridades locais, respaldando a participação informada dos atingidos no processo de reparação integral.

Embora os objetivos dos estudos a serem realizados pela ATIR3/NACAB estejam centrados prioritariamente no atendimento às demandas dos atingidos, os resultados dos estudos

produzidos pelas diferentes instituições, tais como Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Agência Nacional de Águas (ANA), Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais (COPASA), Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA), Comitê Técnico-Científico da UFMG, AECOM, Ramboll, entre outras entidades notórias, serão considerados como elementos de referência para análises comparativas, fornecendo o embasamento necessário para formulação de teses, antíteses e, quando couber, sínteses. Dentre os eixos que compõem a pesquisa envolvendo meio físico e biótico, encontram-se os seguintes diagnósticos:

- i. Diagnóstico Territorial Socioambiental;
- ii. Diagnóstico dos danos causados pelo rompimento sobre os fatores bióticos e abióticos;
- iii. Diagnóstico de comprometimentos ao abastecimento de água pós-rompimento da barragem;
- iv. Diagnóstico dos conflitos socioambientais causados direta ou indiretamente pelo rompimento.

Sendo assim, o Diagnóstico Emergencial pode ser caracterizado pela concentração de esforços em estudos de curta duração voltados à identificação e análise dos principais problemas relacionados ao acesso aos apoios de caráter de urgência, considerando critérios já estabelecidos, pelo necessário levantamento de danos ao conjunto de atingidos (contemplados ou não pelo critério territorial), bem como a sistematização e análise de documentos que evidenciam os critérios de reconhecimento de pessoas e comunidades atingidas.

Para facilitar a apresentação dos resultados obtidos esse documento foi dividido em capítulos, um para cada diagnóstico proposto. Em cada capítulo é apresentado um texto introdutório, composto por uma revisão conceitual sobre o tema e os objetivos específicos do diagnóstico, seguida pela apresentação da metodologia adotada, os resultados obtidos e as considerações finais.

CAPÍTULO 1

DIAGNÓSTICO TERRITORIAL SOCIOAMBIENTAL

1. Introdução

O rompimento da barragem B-I da Mina Córrego do Feijão em Brumadinho, além de ceifar 259 vidas e deixar 11 desaparecidos, liberou cerca de 13 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro, que foram transportados pela calha do ribeirão Ferro-Carvão e alcançou o rio Paraopeba provocando uma série de danos e gerando a insegurança aos moradores de toda a bacia do Paraopeba à jusante do encontro dos dois rios. Os impactos perpassam pela perda de moradia, de áreas agrícolas, de animais domésticos e de produção, por alterações na qualidade da água para uso humano e dessedentação de animais, afetando diretamente as atividades de pesca, turismo e lazer, bem como a saúde física e mental das populações (FREITAS et al., 2019, THOMPSON et al., 2020). São danos materiais, ambientais, na saúde, e outros, que em toda sua complexidade provocaram modificações abruptas no modo de vida, trabalho e organização social das famílias atingidas em seu território.

O território constitui unidade elementar das relações sociais e das interações humanas. Por vezes, a complexidade deste termo transcende os limites político administrativos, forma conceitual pelo qual é muito utilizado. Ao incorporar questões econômicas, sociais, e culturais, o território envolve o meio físico, os seres que nele vivem, se relacionam, exercem poder sobre ele e dele também dependem de diferentes formas (SOUZA, 1995). Partindo desse pressuposto, os municípios que compõe a Região 3, tiveram as características naturais do seu território alteradas, bem como o atingimento, de toda a população que vive às margens ou próximos ao rio Paraopeba pelos danos gerados direta ou indiretamente pelo rompimento. A identificação justa dos atingidos (as) e o dimensionamento dos danos sofridos perpassa por uma etapa fundamental de caracterização do território, das características ambientais e dos diferentes usos e ocupações da terra, a fim de construir um panorama descritivo das particularidades socioambientais que orientarão o processo de reparação integral dos danos.

O mapeamento e caracterização de pequenas e grandes áreas de forma remota, quando respaldados pela utilização de fontes de dados confiáveis e na aplicação de metodologias

científicas, consistem em ferramentas importantes de análise, diagnóstico e gestão do território e dos recursos naturais (CASTRO et al., 2019, JUNIOR et al., 2019). Este tipo de investigação permite mapear toda a composição da paisagem e descrever em diferentes níveis de detalhamento os ambientes naturais e áreas antropizadas, por meio de uso de tecnologias que manipulam dados geoespaciais (SANTOS et al., 2016).

Estudos socioambientais com os mais diferentes objetivos têm utilizado o sensoriamento remoto de imagens orbitais, junto de técnicas de geoprocessamento, para mapear a superfície terrestre e compreender as complexas relações, bem como seus desdobramentos, no que diz respeito ao acesso, uso e exploração do meio físico (ANTUNES et al., 2014, COSTA et al., 2016, SANTOS et al., 2016). Neste contexto, o sensoriamento remoto funciona como uma importante ferramenta que possibilita o reconhecimento de alvos a partir de dados adquiridos por sensores ópticos dispostos em satélites (NOVO; PONZONI, 2001).

A evolução destas tecnologias ao longo do tempo e seu amplo raio de aplicações vêm impulsionando maior acesso e manipulação de imagens de satélites de alta resolução com objetivo de identificar e discriminar informações a respeito de objetos, áreas pequenas ou mesmo continentais, sem que haja contato direto com o local (NOVO; PONZONI, 2001). Ao adquirir estas imagens é possível realizar a classificação das mesmas a partir da aplicação de ferramentas de geoprocessamento, baseadas em algoritmos altamente complexos, que promovem o reconhecimento de alvos específicos bem como seu padrão de distribuição com erros. Todo este aparato tecnológico e científico fornece ferramentas consistentes e confiáveis para a investigação dos padrões espaciais de uma paisagem ou de um território, e por isso são amplamente adotados nos mapeamentos de uso e cobertura da terra.

Diante do exposto, o presente diagnóstico tem como objetivo principal caracterizar o território da Região 3, utilizando dados secundários e bases de dados geoespaciais gratuitas de diferentes órgãos ambientais. Para isso os seguintes objetivos específicos foram listados: (i) Descrever os principais aspectos físicos da Região 3 (ii) Mapear as propriedades rurais, identificar as lacunas espaciais e analisar a situação fundiária do território (iii) Analisar a evolução do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2019 (iii) fornecer informações e subsidiar os demais estudos e diagnósticos da ATIR3 com dados sobre a região.

2. Metodologia

As atividades operacionais para o cumprimento do Diagnóstico Territorial Socioambiental se dão em duas escalas de tempo, uma no período emergencial e outra no diagnóstico ampliado, conforme descrito no Plano de Trabalho da Assessoria Técnica Independente da Região 3. Para o diagnóstico emergencial, foram priorizadas informações que irão contribuir para a construção de critérios para o programa de apoio emergencial e informações que possam fomentar os outros diagnósticos que serão produzidos pela Assessoria Técnica, além da própria reformulação do Plano de Trabalho proposto pelo NACAB.

A fim de organizar o percurso metodológico, o plano de pesquisa dividiu a produção deste diagnóstico em três partes. A primeira refere-se à etapa de consolidação das bases cartográficas e a produção de um mapeamento de uso e cobertura do solo, baseada na classificação supervisionada de imagens de satélite de alta resolução. A segunda, que cronologicamente, ocorreria em paralelo à primeira, seria realizada a partir da aplicação de entrevistas semiestruturadas para validação dos dados coletados na primeira e análise de lacunas fundiárias. E por fim, a sistematização e análise das informações em conjunto, de modo a obter uma análise de uso e cobertura por propriedade.

Porém, devido a atrasos no processo de compra e configuração dos computadores responsáveis pelo preparo das imagens de satélite e posterior classificação, atraso na contratação da equipe responsável pela aplicação das entrevistas semiestruturadas e atraso na contratação de analistas para verificação das lacunas, não foi possível cumprir em sua totalidade as etapas previstas no Plano de Pesquisa. Esses riscos eventuais já haviam sido pontuados no planejamento, e infelizmente não foram contornados em tempo hábil, inviabilizando a entrega do produto conforme planejado.

Com o objetivo de contornar esses eventuais atrasos e entregar um produto condizente aos objetivos propostos no Plano de Trabalho, optou-se por reformular a metodologia do produto em novas três etapas. A primeira refere-se à consolidação das bases cartográficas e a realização de uma análise detalhada dos principais aspectos territoriais da Região 3. Essa análise não estava prevista no Plano de Pesquisa, mas se mostrou fundamental para subsídio a outros diagnósticos produzidos pela ATI. A segunda etapa, refere-se identificação das lacunas fundiárias existentes na Região 3, por meio da análise das bases fundiárias do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural - SICAR, do Sistema Nacional de Gestão Fundiária - SIGEF e do

Sistema Nacional de Cadastro Rural - SNCR. O objetivo dessa etapa é verificar as áreas do território das comissões sem nenhum tipo de informações fundiárias. Essas informações são de extrema importância para identificação dos atingidos com relação a danos específicos, como aquelas propriedades que sofreram com as inundações do rio Paraopeba no início de 2020.

Por fim, a terceira etapa refere-se à construção de um mapeamento e do uso e cobertura do solo da Região 3, a partir de dados secundários, que apesar de possuir uma resolução espacial menor que a prevista inicialmente, permite uma avaliação temporal muito maior do que previsto no Plano de Pesquisa. Todas as etapas estão detalhadas abaixo.

2.1 Caracterização Territorial da Região 3

Para construção de uma caracterização territorial da Região 3, inicialmente consolidou-se as bases do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, dos bancos de dados fundiários do país e todo o conjunto de bases cartográficas disponibilizadas pela Governo do Estado de Minas Gerais em sua Plataforma de Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE. Essa grande base consolidada, conta com aproximadamente 150 camadas com informações geoespacialização para a Região 3, incluindo aspectos hidrográficos gerais, outorgas, licenças ambientais, áreas prioritárias para a conservação e outras bases, que serão úteis para planejamento dos campos e consolidação dos danos no território.

A partir dessa base, foram construídos mapas ambientais recortados para a Região 3, trazendo as principais informações territoriais, como a área total e edificações identificadas por comissão, tamanho de calha do rio que margeia a comissão e o município, além de alguns dados demográficos. Além disso foram construídos mapas ambientais com as principais características hidrográficas de solos e potenciais agrícolas, geomorfologia, geologia, hipsometria e declividade, biomas e vegetação predominante. Os mapas hidrográficos, com a rede hídrica, principais cursos d'água e delimitação das bacias e sub-bacias da Região 3, foram construídos a partir do recorte da Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas (BHO, 2017) da Agência Nacional das Águas (ANA) e da base de dados do IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas, nas escalas de 1:50.000 e 1:100.000. Especificamente, no que se refere às sub-bacias hidrográficas do rio São Francisco, seus limites foram retirados da base cartográfica do limite das bacias hidrográficas estaduais, produzida pelo IGAM, 2018, em escala de origem de 1:50.000.

Já os limites das sub-bacias foram modelados individualmente com base no Modelo Digital de Elevação - MDE. A modelagem das áreas das sub-bacias da Região 3 se baseia na delimitação dos divisores de água e vertentes que abrangem um curso d'água em específico. Foram delimitadas as sub-bacias de todos os cursos d'água afluentes do rio Paraopeba, de quinta ou maior ordem de ramificação. O MDE, fundamental para delimitação das áreas das sub-bacias, foi gerado a partir dos dados de radar obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, no projeto SRTM (em inglês, *Shuttle Radar Topography Mission*), uma parceria das agências espaciais dos Estados Unidos (NASA e NIMA), Alemanha (DLR) e Itália (ASI), com escala de 90 metros e refinados pelo Projeto TopoData até a resolução de 30 metros (TOPODATA, 2018). Para construção do mapa hipsométrico e de declividade, também foi utilizado o Modelo Digital de Elevação - MDE, disponibilizado pelo Projeto TopoData. Especificamente para o caso da declividade, foram necessários tratamentos para retirada das curvas de nível e identificação dos graus de inclinação do terreno para toda a Região 3. Quanto maior o grau de inclinação, maior a declividade.

Os mapas de solos para a Região 3, foram recortados do Mapa de Solos de Minas Gerais de 2010, produzido a partir de uma parceria entre a Universidade Federal de Viçosa, a Universidade Federal de Lavras (UFLA), Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CTEC) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, com uma resolução espacial de 1:50.000. Já os mapas dos biomas brasileiros utilizados para delimitação das áreas de cobertura vegetal na Região 3, foram recortados do Mapa de Biomas Brasileiros, produzidos pelo IBGE em 2003, com uma escala de 1:250.000.

Para consolidação dos limites das comissões, foram utilizados pontos coletados em campo pela equipe do NACAB/ATIR3 durante a construção do Plano de Trabalho, pontos de referências disponíveis nas plataformas de informações geográficas online, como o *Open street maps* e o *Google Maps*, grandes cursos d'água obtidos pelo recorde da Rede Hidrográfica Mineira Ottocodificada do IGAM, estradas e ruas, disponíveis na base de dados composta pelos logradouros de setores urbanos ou de expansão urbana de cada município, disponibilizada online pelo IBGE. Espera-se que durante a execução do Diagnóstico Territorial Ampliado, esses limites sejam validados junto às comissões e atingidos. Por fim, o quantitativo de edificações foi realizado em duas etapas. A primeira etapa de contagem do número de edificações via digitalização de imagens de satélite, foi realizada durante as ações de construção do Plano de Trabalho da ATI/R3, porém apenas para o primeiro quilômetro. Com a exclusão desse critério territorial para definição de atingido, esse perímetro foi ampliado para os limites das comissões.

Em ambos os casos foram usadas imagens de satélite de alta resolução espacial disponibilizadas pelo *Software* ArcGis 10.6. Esse banco de dados é composto por imagens provenientes de sete satélites que permitem a construção de um mosaico completo para todas as regiões do planeta. Em áreas com baixa densidade populacional e especialmente na África, a cobertura é fornecida pelos Satélites SPOT e Ikonos, com uma resolução espacial que varia entre 10 e 1,5 metros. Já em áreas urbanas e periurbanas, satélites da série WorldWide 1,2,3 da Digital Globe, em consonância do satélite Geoeye permitem fornecer dados com até 0,5 m de resolução espacial. Para Região 3, a resolução variou entre 5 metros e 0,5 metros dependendo da localidade. É importante ressaltar que foram mapeadas edificações que se assemelham a residências e que a maior parte das benfeitorias, construções anexas ou outras edificações não foram consideradas no mapeamento.

A decisão por considerar a população estimada via contagem de edificações ao invés de utilizar os dados de população residente apresentados pelo Censo Demográfico Brasileiro de 2010 realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, foi baseada em três pontos. O primeiro refere-se à distância temporal entre o censo demográfico brasileiro e a data atual. Dados adquiridos em datas passadas tendem a não serem tão precisos, principalmente se considerarmos a dinâmica da ocupação dos solos nas regiões mais densamente povoadas da Região 3, caracterizada pela presença de chacareamentos e condomínios consolidados recentemente (ex. Condomínio Paraíso das Taquaras, em Esmeraldas). O segundo ponto refere-se à resolução espacial dos setores censitários definidos pelo IBGE. Em muitos casos, os limites dos setores censitários ultrapassam os limites das comunidades que compõem as comissões dos atingidos. Essa dissonância entre os limites dos setores censitários e os limites das áreas das comissões pode ser fonte de erros devido à contabilização de pessoas que residem em áreas distantes e sem relação clara com o rio Paraopeba. Por fim, os dados apresentados pelo Censo Demográfico de 2010 são relativos ao número de residentes do setor censitário e não ao número total de pessoas que utilizam o território. Desta forma, a dinâmica dos sítiantes e pessoas que utilizam sua propriedade apenas em determinados dias da semana ou do mês, realidade comum na Região 3, se torna invisível, o que diminuiria o público-alvo potencial, caso utilizássemos esse dado

2.2 Avaliação preliminar da situação fundiária da Região 3

Para avaliação da situação fundiária da Região 3, foram definidas 3 etapas. A primeira refere-se à consolidação das bases fundiárias do Brasil disponibilizadas publicamente e online. No Brasil, existem três bases principais: O Sistema Nacional de Gestão Fundiária - SIGEF, o Sistema Nacional de Cadastro Rural - SNCR, e o Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural - SICAR. As três bases permitem o download da camada com os limites das propriedades por município. Apesar das três fontes serem de acesso público e de fácil tratamento, todas elas apresentam algumas limitações. O Cadastro Ambiental Rural, apesar de possuir grande volume de informações fundiárias das propriedades, possui alguns problemas de registro. O primeiro se refere a não adesão de todos os proprietários e posseiros rurais, gerando lacunas de informações espaciais no território. O segundo são as imprecisões referentes a delimitação do imóvel gerando pequenas sobreposições e podendo fomentar confusões sobre pertencimento de determinada área (FRANCO, 2018).

Devido a este problema de imprecisões nas delimitações, normalmente são identificadas centenas de sobreposições entre os imóveis cadastrados. Para Região 3, o quadro não foi diferente e, portanto, se tornou necessário fazer um refinamento nos polígonos dos imóveis dentro dos limites da comissão, área de estudo desse diagnóstico preliminar. Para isso, realizou-se uma análise topológica da base, avaliando as sobreposições existentes e ajustando os limites. Os critérios de ajuste dos limites levaram em conta as outras bases previamente consolidadas, como os cursos d'água e/ou os arruamentos disponibilizados pelo IBGE. Em casos onde existia a imprecisão do limite correto, utilizou-se a função *integrate* do software ArcGis 10.6 para ajustar os limites do imóvel aos limites vizinhos e assim, diminuir as possíveis lacunas existentes por imprecisão de registro.

Avaliando as outras duas bases de registro, apesar de serem muito mais confiáveis no que se refere aos limites, há um volume muito menor de dados disponíveis para visualização pública. Isso acontece, pois, os limites dos imóveis não são delimitados pelo proprietário e sim por um técnico responsável por fazer a coleta em campo. Desta forma, o sistema não permite o registro dos imóveis se alguns dos vértices estiverem em sobreposição a outra propriedade registrada. Por outro lado, esse serviço é pago, o que minimiza sua adoção pelos proprietários menores.

Tendo isso em vista, com as duas bases tratadas, iniciou-se o processo de construção da base mista. Esse processo se baseia em unir as bases fundiárias existentes em uma única base. Neste processo de sobreposição, caso uma propriedade estivesse registrada em ambas as bases, a base do INCRA era considerada e a propriedade registrada no CAR era descartada e os limites vizinhos reajustados. Com a base mista consolidada, foram identificadas as lacunas de informações fundiárias. Todas as lacunas foram registradas para posterior validação com o proprietário, a partir de uma visita a sua propriedade ou se possível de forma remota, durante a execução do Diagnóstico Territorial Ampliado.

2.3 Uso e cobertura do solo a partir de dados secundários

Como não foi possível a construção de um mapa de uso e cobertura do solo a partir de imagens de alta resolução, conforme previsto pelo Plano de Pesquisa, optou-se por utilizar mapas de uso e cobertura do solo já produzidos de forma independente por outros profissionais. Dentro do contexto ambiental a utilização de dados secundários para construção de um relatório preliminar é comum, pois normalmente esse tipo de estratégia poupa tempo e recursos. Esse tipo de estratégia também permite ao pesquisador avaliar possíveis erros e refinar a metodologia no momento de construção do dado primário.

Neste contexto, foram utilizados os mapas de usos e cobertura do solo produzidos de maneira independente pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil - Projeto MapBiomias (MAPBIOMAS, 2019) e disponibilizados ao público em sua plataforma online. A utilização de dados secundários permitiu uma análise mais abrangente do que o previsto, uma vez que, graças a eles, foi possível avaliar as dinâmicas de uso e cobertura do solo para a Região 3, desde 1985 até 2019. Para tal dividimos os períodos de análise em dois. O primeiro entre 1985 e 2018, ano anterior ao rompimento. O objetivo de fazer uma análise da dinâmica de alterações de uso e cobertura do solo em duas etapas surge da necessidade de compreender as transições de uso até um ano antes do rompimento e analisar se após o rompimento essa dinâmica natural foi interrompida ou se manteve.

Para tal foram feitos ainda recortes espaciais para toda a Região 3 e também para os limites das comissões. As áreas e porcentagens da paisagem ocupadas por determinados uso e cobertura do solo foram quantificadas a partir das estatísticas municipais fornecidas pelo banco de dados do próprio projeto. O mapa de uso e cobertura do solo foi elaborado por meio do

recorte do mapa estadual, disponibilizado para download para todos os anos da série analisada. No caso do recorte das comissões, as áreas e porcentagens ocupadas por determinados tipos de cobertura foram quantificadas por análise de métricas da paisagem com auxílio do software Fragstat 4.2.

Com os resultados de área quantificados e os mapas produzidos, foi possível realizar uma discussão preliminar sobre as potenciais causas da dinâmica observada e indicar possíveis pontos de observação a serem considerados durante o Diagnóstico Ampliado e possíveis implicações sobre outros diagnósticos.

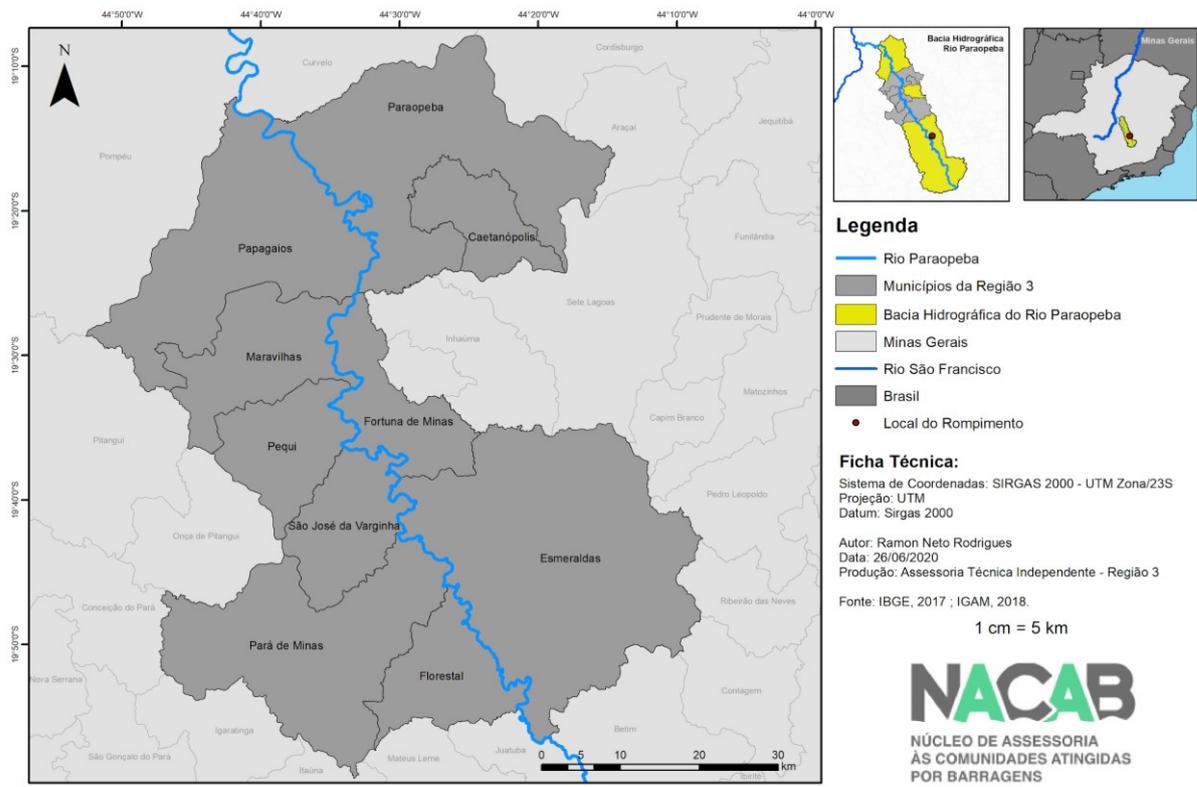
3. Resultados

3.1 Caracterização da Região 3

a. Localização

A Região 3 abrange os municípios localizados nas regiões do Baixo (Papagaios, Paraopeba, Caetanópolis, Maravilhas, Pequi e Fortuna de Minas) e Médio Paraopeba (São José da Varginha, Pará de Minas, Esmeraldas e Florestal) (Figura 2). No total, esses municípios abrangem aproximadamente 180 km de calha do Rio Paraopeba, com o limite sul no município de Esmeraldas e norte, nos municípios de Papagaios e Paraopeba. O limite inferior da Região 3, está a 46 km de calha do rio Paraopeba ao ponto de rompimento da Barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão. O município de Esmeraldas, que é o primeiro município da Região 3, considerando o sentido sul para o norte, está situado a aproximadamente 60 km de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais.

Figura 2: Localização dos Municípios da Região 3 em relação a bacia hidrográfica do rio Paraopeba e ao local do rompimento da barragem.



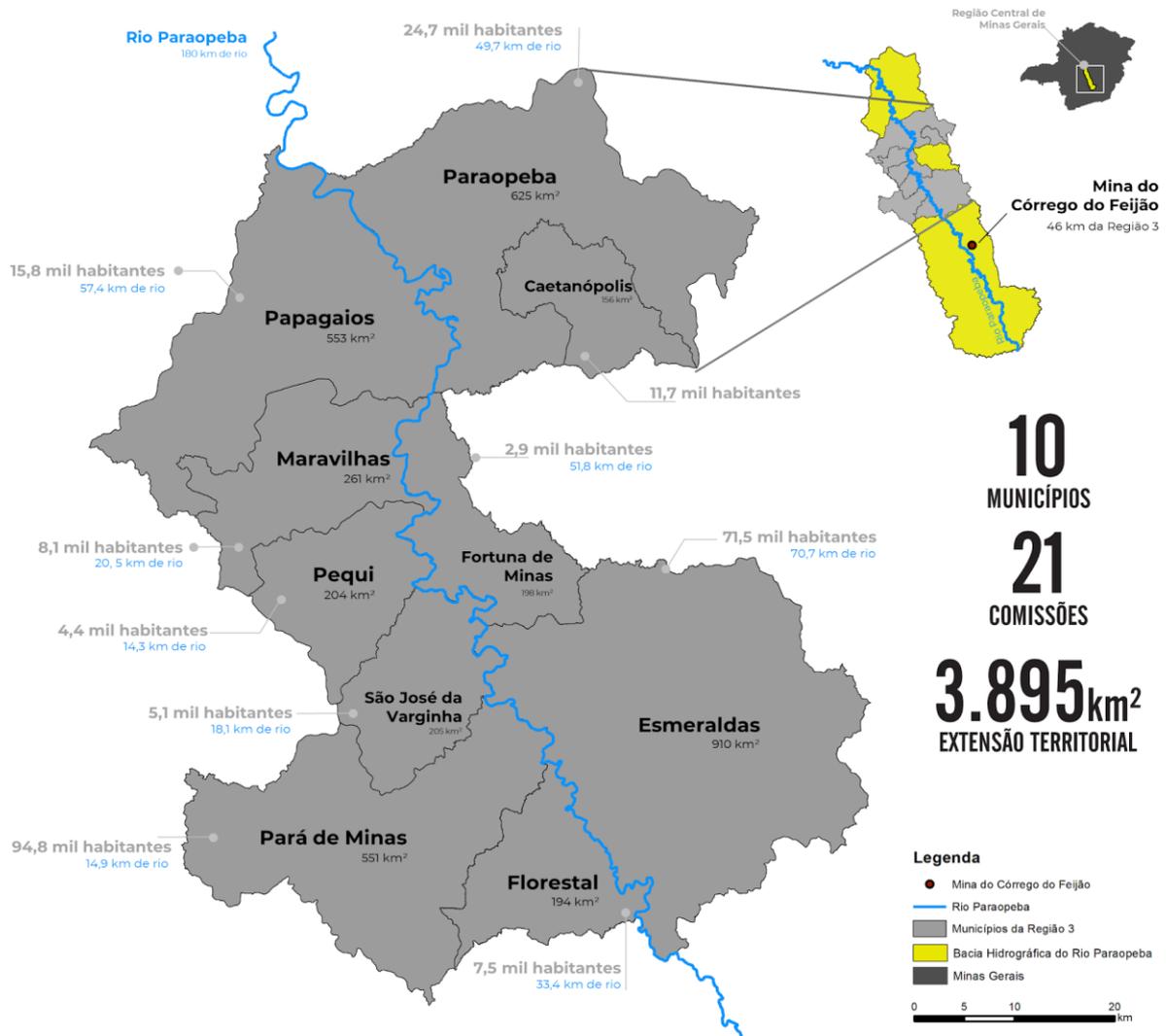
b. Principais aspectos territoriais

O rio Paraopeba possui extensão total de 554,4 km de calha. A parte afetada pelo rompimento compreende toda a calha do rio à jusante do ponto de encontro com o Ribeirão Ferro-Carvão, no município de Brumadinho, e possui cerca de 374 km, que representa 67,4% do tamanho total de calha do Paraopeba. A parte afetada é delimitada a montante pelo encontro do ribeirão Ferro-Carvão com o Paraopeba e a jusante na barragem Três Marias, onde o rio Paraopeba deságua no rio São Francisco.

No total a Região 3 abrange 180 km de calha do rio Paraopeba, aproximadamente 33% da extensão total e 55,5% da calha afetada pelo rompimento. Essa região possui uma extensão territorial total de 3.895 km², dos quais 81,1% se encontra inserida dentro da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. Em síntese, a distribuição dos municípios que compõem a Região 3 ao longo

da calha do rio Paraopeba, sua área de abrangência e o número de habitantes estimados para 2020 (IBGE, 2020) podem ser observados na Figura 3.

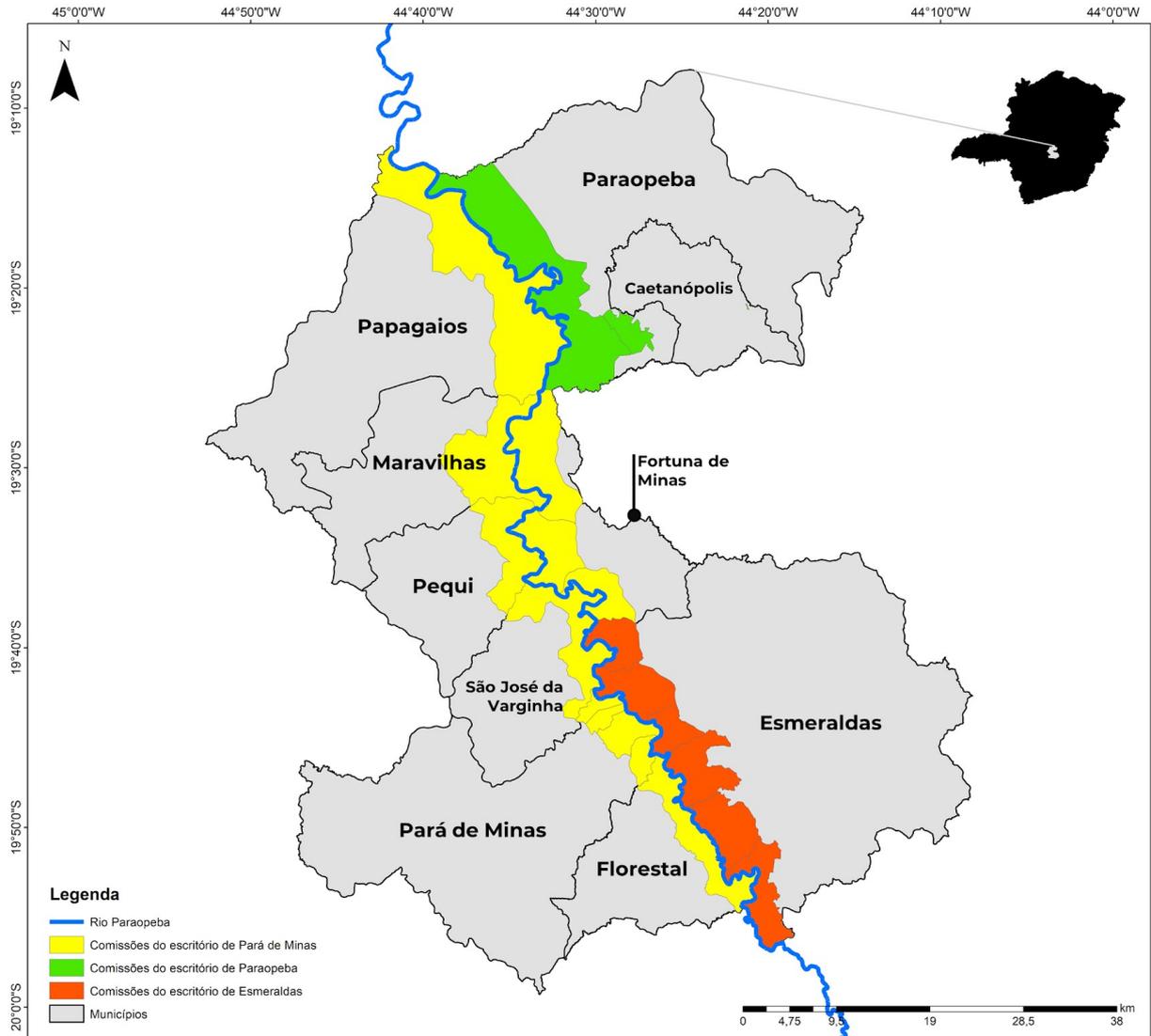
Figura 3: Síntese das principais informações territoriais dos municípios que compõem a Região 3.



Para execução do Plano de Trabalho da Região 3, a Coordenadoria de Inclusão e Mobilização Sociais - CIMOS, do Ministério Público Estadual agrupou o território, composto inicialmente por 47 comunidades, em 21 comissões, que posteriormente foram divididas, para acompanhamento, em três grandes escritórios, cujas bases de operações foram alocadas em Esmeraldas, Pará de Minas e Paraopeba (Figura 4). A divisão do território entre os escritórios teve como base as estimativas de público alvo para os municípios e comissões, área de abrangência, complexidades das demandas identificadas na construção do Plano de Trabalho, capacidade do escritório e município em absorver os analistas de campo e distâncias entre as comissões e a sede do escritório. Todas essas características levaram à adoção de um grande

escritório com base em Pará de Minas e outros dois escritórios menores, um com base em Paraopeba e outro com base em Esmeraldas.

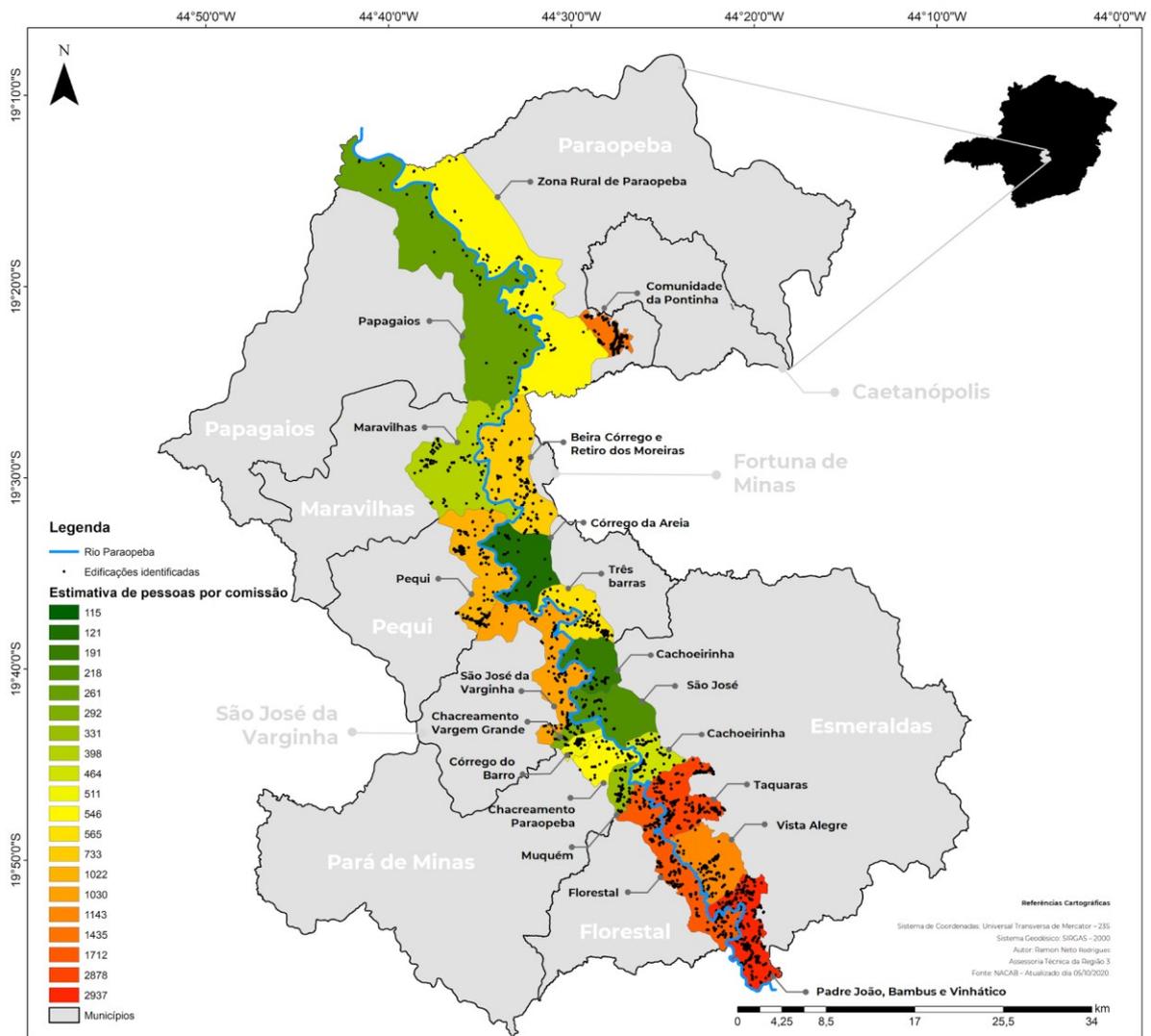
Figura 4: Distribuição das áreas das 21 comissões criadas para a Região 3 por escritório de apoio.



No total foram mapeadas ao longo do processo de definição do público-alvo da Região 3, 4.273 edificações dentro dos limites das comissões estabelecidas, sendo 2.830 edificações dentro do raio de 1 km do rio Paraopeba (Figura 5; Tabela 1). A comissão com o maior número de edificações mapeadas foi a comissão composta pelas comunidades de Padre João, Vinháticos e Bambus, com 753 edificações. Seguida da comissão de Taquaras, com 587 edificações mapeadas, e da comissão formada pelas comunidades de Valentim, Ribeirão do Ouro e Marinheiros, com 439 edificações, em Florestal. Esse grande número de edificações está

relacionado ao modelo de ocupação do território na parte sul da Região 3, caracterizadas pelo grande número de aglomerados rurais e chacreamentos, associados às atividades de lazer, principalmente a pesca, e a proximidade à Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Figura 5: Mapa das edificações georreferenciadas e público alvo estimado dentro dos limites das comissões da Região 3.



Considerando o número de edificações em relação ao tamanho da área da comissão, a maior densidade populacional é observada no Quilombo da Pontinha, com uma densidade geral de 0,326 edificações/hectares. Já as comissões com a menor densidade de edificações foram as comissões que englobam a zona rural dos municípios de Papagaios (0,004 edificações/hectare) e Paraopeba (0,011 edificações/hectare). Esse resultado é um reflexo do modelo de ocupação

da parte norte da Região 3, caracterizada pela presença de grandes proprietários de terra que direcionam o uso para a produção agropecuária.

Tabela 1: Área total, área dentro do raio de 1km do rio Paraopeba, número de edificações e densidade de edificações por comissão.

ID	MUNICIPIOS	COMISSÕES	AREA TOTAL (HA)	AREA DENTRO DO RAO DE 1 KM (HA)	EXTENSÃO DA CALHA DO RIO PARAPEBA (KM)	EDIFICAÇÕES	PESSOAS
1	Caetanópolis	Shopping da Minhoca	5,36	0,00	0,00	0	115
2	Esmeraldas	Padre João, Vinhático e Bambus	3231,74	1693,50	18,70	753	2936,7
3	Esmeraldas	Vista Alegre	3203,03	858,90	9,00	293	1142,7
4	Esmeraldas	Taquaras	3198,30	795,81	9,90	587	2289,3
5	Esmeraldas	Riacho	1533,79	691,06	7,50	119	464,1
6	Esmeraldas	Cachoeirinha	2047,74	910,73	9,70	49	191,1
7	Esmeraldas	São José	3028,50	1051,42	12,30	56	218,4
8	Florestal	Valentim, Ribeirão do Ouro e Marinheiros	4263,48	2658,32	33,40	439	1712,1
9	Fortuna de Minas	Três Barras	2222,66	1082,66	14,30	145	565,5
10	Fortuna de Minas	Córrego da Areia	3380,14	1506,76	17,80	19	74,1
11	Fortuna de Minas	Beira Córrego e Retiro dos Moreiras	5285,65	2028,37	21,10	188	733,2
12	Maravilhas	Maravilhas	5947,75	1786,54	20,50	102	397,8
13	Papagaios	Papagaios	14271,20	4833,64	57,40	64	249,6
14	Pará de Minas	Muquém	938,80	348,78	2,80	85	331,5
15	Pará de Minas	Chacreamento Paraopeba	1599,98	504,70	5,40	140	546
16	Pará de Minas	Chacreamento Vargem Grande	662,16	387,05	5,20	75	292,5
17	Pará de Minas	Córrego do Barro	575,06	78,61	0,70	131	510,9
18	Paraopeba	Quilombo da Pontinha	1127,68	0,00	0,00	368	3000
19	Paraopeba	Zona Rural	13346,30	4316,98	49,70	142	553,8
20	Pequi	Pequi	4156,27	1459,98	15,80	258	1006,2
21	São José da Varginha	São José da Varginha	4911,82	2761,92	18,10	260	1014
TOTAL			78937,41	29755,73	-	4273	18345

Desta forma, têm-se um território ocupado, em sua porção sul, por pequenos proprietários rurais situados em aglomerados e chacreamentos de alta densidade e em sua parte norte, por médios e grandes proprietários rurais, com grandes áreas de plantios agrícolas e pastagens. Até o momento, percebe-se que há uma maior diversidade de demandas oriundas da porção sul da Região 3, enquanto a porção norte apresenta peculiaridades também ligadas à dinâmica de coleta e extração do minhocucu para comercialização, associada ao modo de vida dos(as) atingidos(as) da Comunidade Quilombola de Pontinha e do Shopping da Minhoca.

Os mapas apresentados nas Figuras 6, 7 e 8 trazem uma síntese dos principais aspectos territoriais das 21 comissões, divididas nos três escritórios bases. A tabela com as informações completas apresentadas nestes mapas sínteses está disponível nos apêndices deste documento.

Figura 6: Síntese das informações das comissões ligadas ao escritório de Pará de Minas.

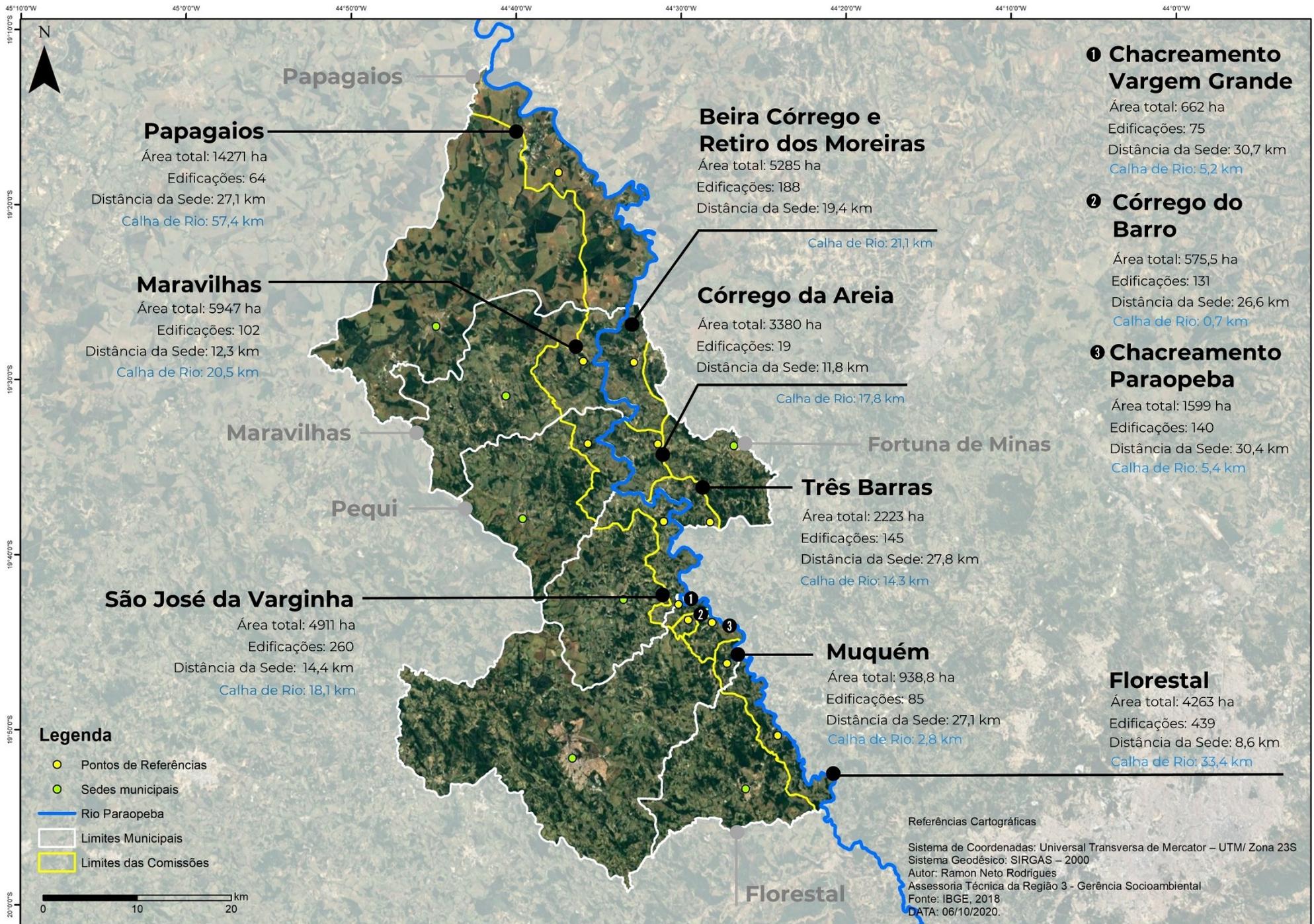


Figura 7: Síntese das informações das comissões ligadas ao escritório de Esmeraldas.

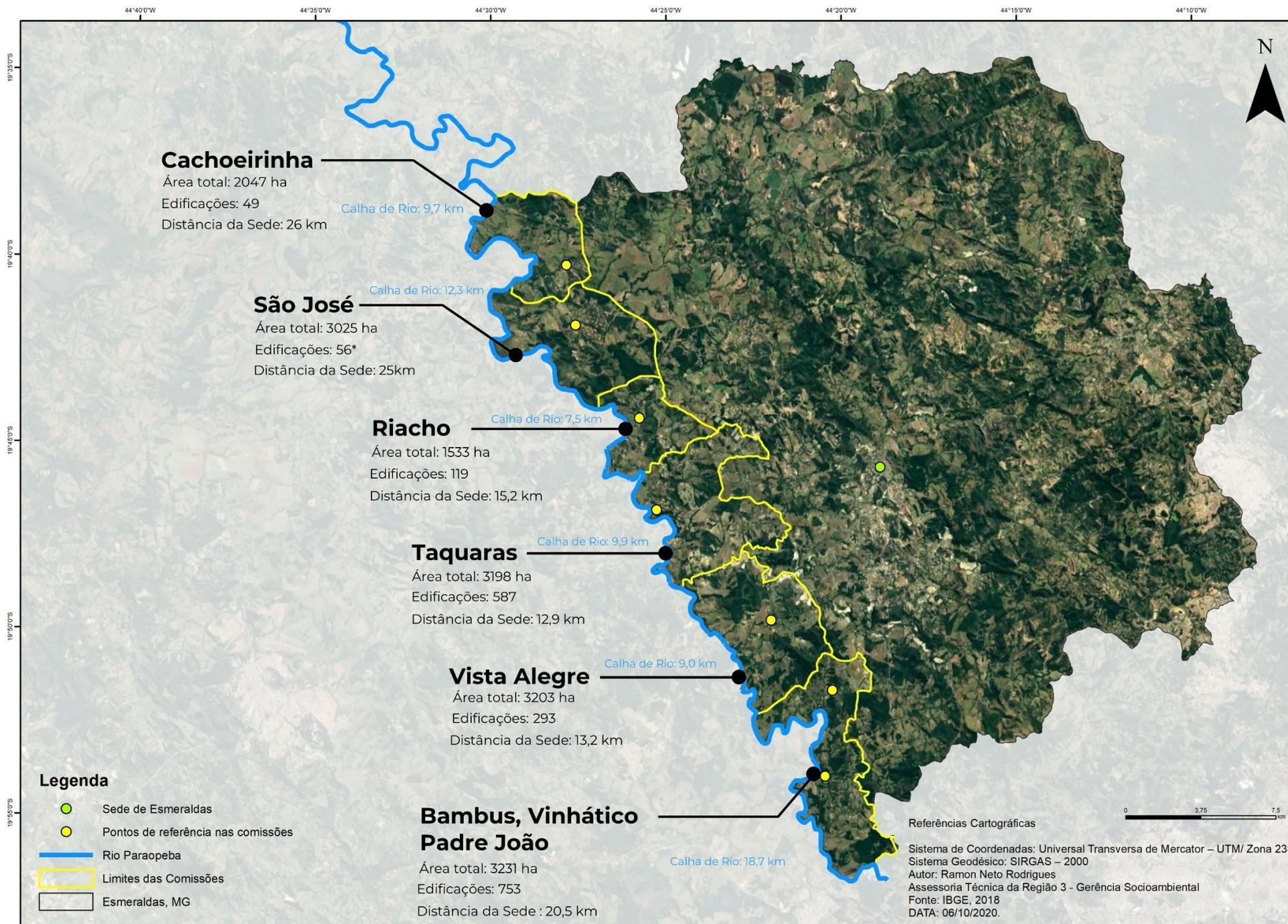
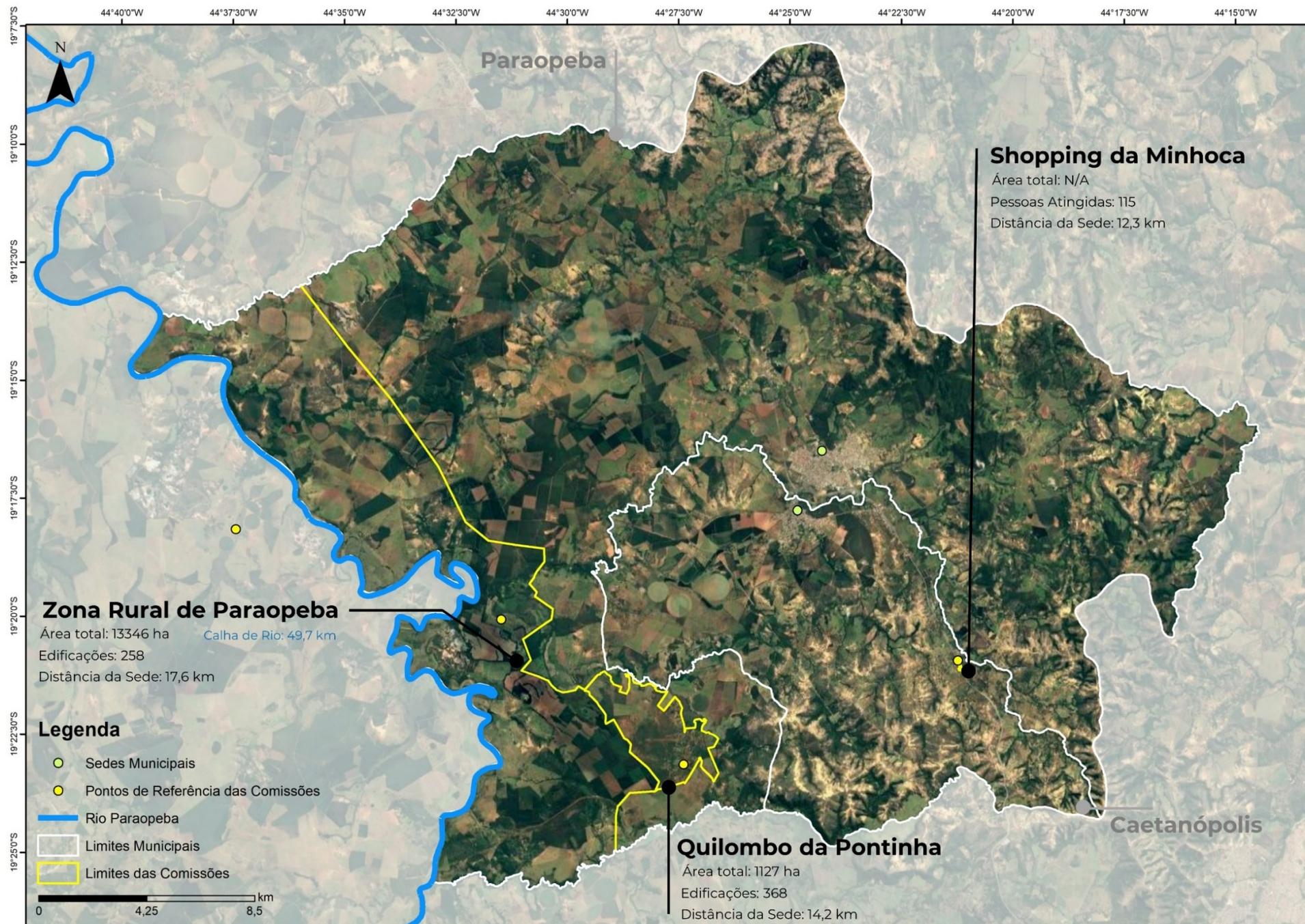


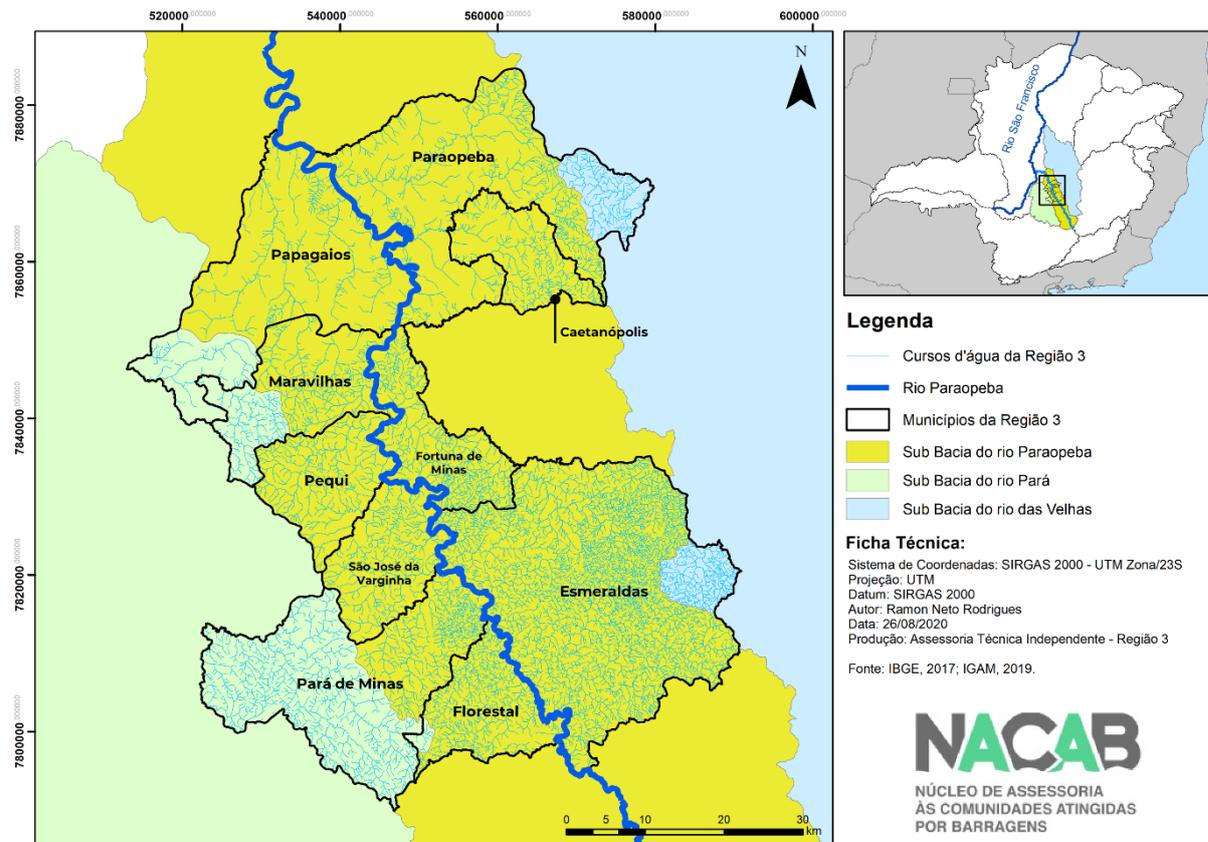
Figura 8: Síntese das informações das comissões ligadas ao escritório de Paraopeba.



c. Hidrografia

Cerca de 81,1% da Região 3, aproximadamente 3.129 km², pertence à Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba. Os outros 18,9% do território da Região 3 estão divididos entre a Bacia Hidrográfica do rio Pará e a Bacia Hidrográfica do rio das Velhas, 15,1% e 3,8%, respectivamente (Figura 9). A Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba, assim como as demais, é uma sub-bacia do rio São Francisco. Sua área corresponde a cerca de 2% da área da Bacia do rio São Francisco, que engloba além de Minas Gerais, mais seis unidades federativas: Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás e o Distrito Federal. A bacia do rio Paraopeba abrange uma área total de 13.643 km², equivalente a 2,5% da área total de Minas Gerais. A parte inserida dentro da Região 3 representa 23% da extensão total da bacia.

Figura 9: Delimitação dos cursos d'água e das bacias hidrográficas em que Região 3 está inserida.

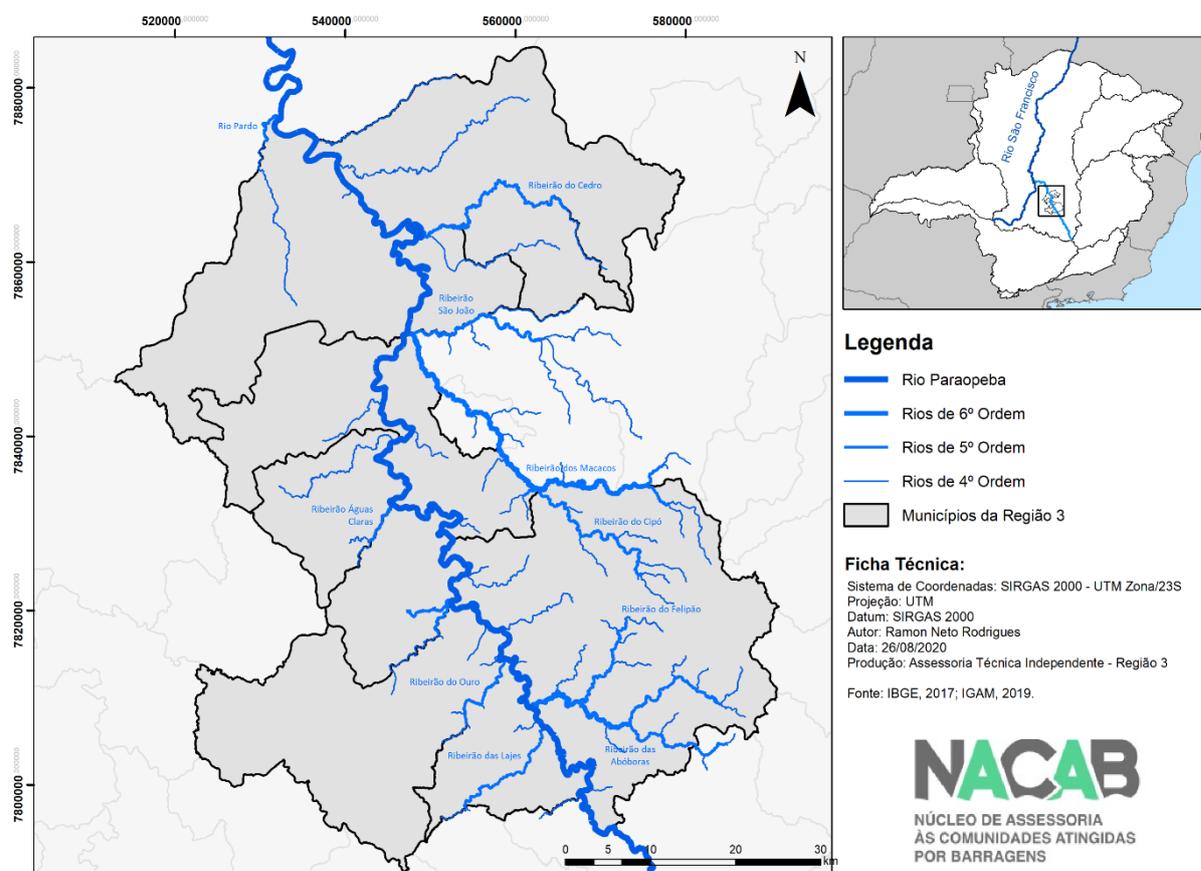


O corpo d'água principal da bacia, o rio Paraopeba, tem sua nascente localizada no extremo sul da Serra do Espinhaço, no município de Cristiano Ottoni, e percorre 554,4 km até seu exutório no rio São Francisco, nos limites municipais de Felixlândia e Pompéu. Seus

principais afluentes são: Rio Maranhão, Rio Pequeri, Ribeirão Casa Branca, Ribeirão Grande, Ribeirão Sarzedo, Ribeirão Betim, Ribeirão Macacos, Ribeirão Cedro e Ribeirão São João na margem direita; e Rio Brumado, Rio da Prata, Rio Macaúbas, Rio Manso, Ribeirão Serra Azul e Rio Pardo na margem esquerda (IGAM, 2013). Estrategicamente a Região 3, possui municípios situados nas regiões do médio e baixo rio Paraopeba. Inclusive com municípios pertencentes às duas regiões.

De acordo com a classificação hidrológica por ordem de ramificação dentro da bacia, a Região conta com 2 cursos d'água de ordem 6, que são o Ribeirão das Abóboras, cuja a confluência com o rio Paraopeba ocorre no município de Esmeraldas e o Ribeirão dos Macacos, que apesar de nascer nas divisas entre os municípios de Sete Lagoas e Esmeraldas, tem confluência nas divisas entre Fortuna de Minas e Paraopeba (Figura 10).

Figura 10: Distribuição dos cursos d'água de ordem seis, cinco e quatro, pertencentes à bacia do Rio Paraopeba na Região 3.



Ainda de acordo com as ordens de ramificações dos cursos d'água, a Região 3 possui 16 cursos d'água de ordem 5. Entre os principais podemos citar, do sul para o norte, o Ribeirão

do Ouro e das Lajes, ambos no município de Florestal, o Ribeirão Cipó e o Ribeirão São José, que são os dois principais afluentes do Ribeirão dos Macacos, em Esmeraldas, e o Rio Pardo que faz a divisa do norte entre os municípios de Papagaios e Pompéu.

Em tamanho, o maior deles é o Ribeirão do Macacos, que possui um comprimento total aproximado de 76,3 km. Esse curso d'água, além de transpassar os municípios de Sete Lagoas e Esmeraldas, como apontado anteriormente, também passa pelos municípios de Fortuna de Minas, Inhaúma, Cachoeira da Prata e Paraopeba. Os principais rios da Região 3 e seus respectivos comprimentos, podem ser visualizados na Tabela 2. Considerou-se todos os rios de ordem de ramificação maior que 3.

Tabela 2: Características dos principais cursos d'água mapeados na Região 3.

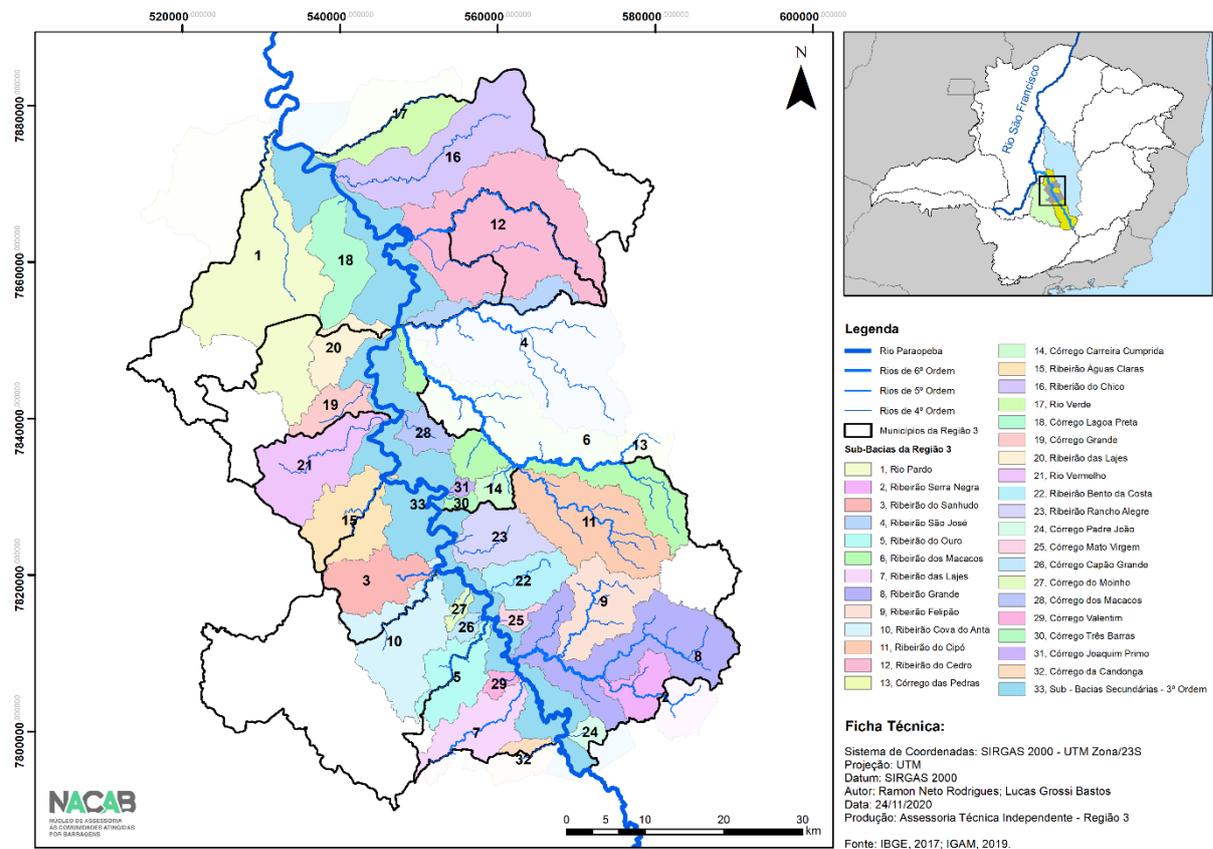
NOME DO CURSO D'ÁGUA	ORDEM DE RAMIFICAÇÃO	COMPRIMENTO (KM)	NOME DO CURSO D'ÁGUA	ORDEM DE RAMIFICAÇÃO	COMPRIMENTO (KM)
Rio Paraopeba	8	180,03	Córrego Caracóis de Cima	4	4,95
Ribeirão dos Macacos	6	76,34	Córrego Alentejo	4	4,43
Ribeirão São José	5	57,82	Córrego Valentim	4	4,31
Ribeirão do Cedro	5	50,13	Córrego do Meloso	4	4,20
Ribeirão das Abóboras	5	39,10	Córrego Telha	4	4,09
Ribeirão do Cipó	5	51,25	Ribeirão Santo Antônio	4	4,06
Rio Pardo	5	32,58	Córrego Salvador	4	3,86
Ribeirão Felipão	5	21,39	Córrego Três Barras	4	3,68
Ribeirão Cova d'Anta	5	20,41	Córrego dos Campos	4	3,68
Ribeirão do Ouro	5	17,55	Córrego do Sapo	4	3,63
Ribeirão Serra Negra	5	17,45	Córrego Capão Queimado	4	3,41
Ribeirão Camarão	5	12,18	Córrego das Arueiras	4	3,25
Ribeirão Águas Claras	5	11,95	Córrego Coivara	4	3,14
Ribeirão das Vacas	5	10,16	Córrego do Tomé	4	3,01
Córrego das Pedras	5	9,03	Córrego Capoeira do Meio	4	2,99
Ribeirão Rancho Alegre	5	8,40	Córrego Passagem Boa	4	2,98
Ribeirão do Sanhudo	5	5,95	Córrego Padre João	4	2,87
Ribeirão do Chico	4	42,48	Córrego do Morrão	4	2,66
Rio Verde	4	26,29	Córrego Mato Virgem	4	2,49
Rio Vermelho	4	25,96	Córrego Lagoa Preta	4	2,32
Ribeirão São Bento	4	24,61	Riacho do Barro	4	2,27
Ribeirão Inhaúma	4	17,47	Córrego da Floresta	4	2,26
Córrego da Lontra	4	14,77	Ribeirão Uruçua	4	2,25
Ribeirão Bento da Costa	4	13,89	Córrego Arrozal	4	2,24
Córrego Riachinho	4	13,45	Córrego Capão Grande	4	1,90
Ribeirão Carapina	4	9,61	Córrego Laranjeira	4	1,83
Córrego da Mata	4	8,11	Córrego Porteira das Chaves	4	1,72
Córrego dos Macacos	4	8,00	Córrego da Vargem	4	1,44
Córrego Riacho Fundo	4	7,84	Córrego do Morrão	4	1,25
Córrego Várzea do Cocho	4	7,69	Córrego Sapocado	4	1,15
Ribeirão Campo Alegre	4	7,18	Córrego Novo Mundo	4	1,08
Córrego Boa Vista	4	6,62	Córrego Joaquim Primo	4	0,96
Córrego do Macuco	4	6,52	Córrego do Limeira	4	0,95
Córrego Grande	4	6,49	Córrego da Candonga	4	0,92
Córrego do Tropeiro	4	6,01	Córrego Varginha	4	0,81
Córrego Carreira Comprida	4	5,80	Córrego da Laje	4	0,72
Córrego Saco d'Anta	4	5,72	Córrego Cachoeira de Almas	4	0,69
Córrego Marinheiro	4	5,68	Córrego Gameleira	4	0,63
Córrego do Moinho	4	5,35	Córrego Taquara	4	0,53
Córrego do Patrimônio	4	5,00	Córrego Saquinho	4	0,53

Fonte: IGAM (2019). Hidrografia Ottocodificada da bacia do Rio São Francisco em Minas Gerais.

i. Sub-Bacias Hidrográficas da Região 3

Foram mapeadas 32 sub-bacias hidrográficas na Região 3, considerando apenas os cursos d'água com ordem de ramificação maior que quatro (Figura 11). Foram identificados uma série de pequenos cursos, com ordem de ramificação menores que quatro que deságuam diretamente no rio Paraopeba. A maior parte desses cursos d'água nascem próximos ao rio Paraopeba, principalmente nas áreas de várzea do rio, onde estão localizadas as áreas das comissões e localidades mapeadas para definição do público-alvo potencial. Essas microbacias foram agrupadas em uma única área, com o nome de sub-bacias secundárias. Esse conjunto de microbacias ocupa a maior parte da Região 3 (594 km²), o que indica a importância dessas áreas para a recarga e depuração do rio Paraopeba diante dos impactos do rompimento da barragem B1 da mina do Córrego do Feijão, em Brumadinho.

Figura 11: Delimitação das sub-bacias hidrográficas do rio Paraopeba que fazem parte dos municípios da Região 3.

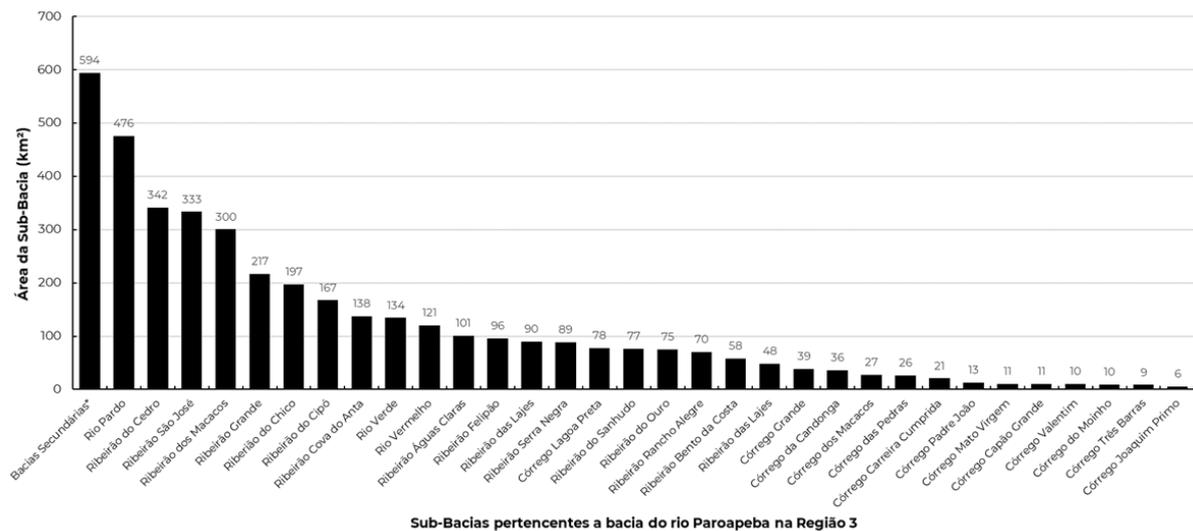


Obs. Foram considerados os cursos d'água tributárias do rio Paraopeba. Cursos d'água de terceira ordem, foram englobados na área de sub-bacias secundárias.

A área de influência de cada sub-bacia dentro da Região 3 também foi avaliada (Figura 12). Além deste grande conjunto de microbacias, a sub-bacia com maior área de influência é a bacia do rio Pardo. O rio Pardo tem suas nascentes no limite sul do município de Maravilhas e percorre todo o município de Papagaios até encontrar com o rio Paraopeba entre os limites de Papagaios e Pompéu. Parte ainda dos afluentes do rio Pardo estão situados no município de Pompéu. Outras sub-bacias com contribuições estimadas significativas para vazão do rio Paraopeba, devido ao seu tamanho, são as bacias do Ribeirão do Cedro, Ribeirão São José e Ribeirão dos Macacos, sendo essas duas últimas inseridas nos municípios de Inhaúma e Cachoeira da Prata, que não estão inseridas no escopo da Região 3. Isso indica, que os limites da reparação dos danos socioambientais deverão ultrapassar os limites cartesianos dos municípios da Região 3.

Espera-se, no Diagnóstico Territorial Ampliado, detalhar e propor ações prioritárias para conservação dessas sub-bacias hidrográficas, considerando seus aspectos morfométricos e os dados fluviométricos estimados para essa região. Além disso, deve ser alvo de discussão as possíveis ações de gestão local, incluindo políticas públicas municipais e estaduais para melhoria da qualidade desses cursos d'água afluentes do rio Paraopeba, visando a melhoria da sua qualidade e sua recuperação a médio e longo prazo.

Figura 12: Áreas de influência de cada uma das sub-bacias mapeadas em km².

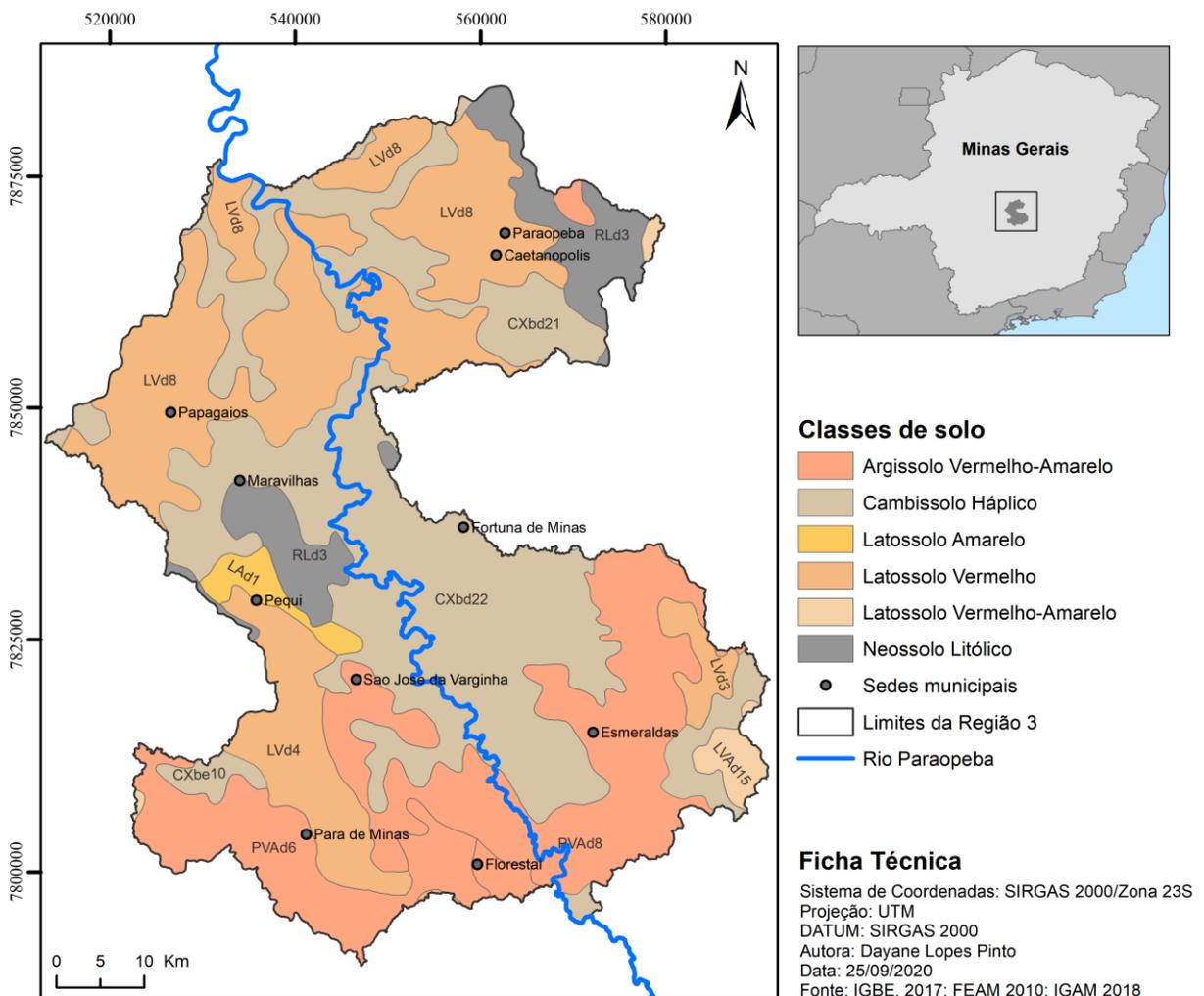


Obs. Como as áreas das sub-bacias perpassam os limites cartesianos dos municípios da Região 3, a soma das áreas das sub bacias serão maiores que a área total da Região 3

d. Solos

Os dados secundários de solos disponíveis e recortados para os limites da Região 3 foram extraídos do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (FEAM, 2010) (Figura 13). Este mapa foi elaborado em nível de levantamento de solos de reconhecimento de baixa intensidade, em escala 1:600.000. Segundo IBGE (2015), este nível de levantamento, com grau de generalização relativamente alto, tem como objetivo fornecer informações para avaliar o potencial dos solos, e precisão em torno de 50 a 70%. As unidades de mapeamento (UM) representadas neste mapa são constituídas por associações de solos, sendo representadas pela sigla do componente principal, e cada componente individual ocupa no mínimo 20% da área do polígono.

Figura 13: Distribuição das classes de solo dentro dos limites da Região 3.



Os solos predominantes na Região 3 são as ordens dos Cambissolos, Latossolos, e Argissolos, com variações de tipos dentro de cada uma, e também ocorre a ordem dos Neossolos em menor proporção (Tabela 3). As características dos solos da região seguem as definições do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018), também são baseadas na legenda do Mapa de Solos de Minas Gerais (FEAM, 2010), e estão apresentadas a seguir.

Tabela 3: Unidades de Mapeamento (UM) do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais que ocorrem na Região 3.

UM	LEGENDA
CXbd21	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico e léptico, A moderado, textura média e argilosa, pedregoso e não pedregoso + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, A moderado + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura média e argilosa
CXbd22	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, textura média e argilosa, cascalhento e não cascalhento + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura média/argilosa, cascalhento e não cascalhento + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, A fraco; todos fase floresta subcaducifólia, relevo ondulado a forte ondulado
LAd1	LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico, textura argilosa + LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico, A proeminente, textura argilosa; ambos fase floresta subcaducifólia e floresta subperenifólia, relevo plano e suave ondulado
LVAd15	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura média e argilosa; ambos fase floresta subperenifólia, relevo suave ondulado, ondulado e forte ondulado
LVd3	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A fraco/moderado, textura argilosa + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A fraco/moderado, textura argilosa; ambos fase cerrado, relevo plano e suave ondulado
LVd4	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa + LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa; ambos fase cerrado, relevo plano e suave ondulado
LVd8	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, textura siltosa e argilosa, fase cascalhenta/não cascalhenta; ambos fase cerrado, relevo plano e suave ondulado
PVAd6	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, cascalhento/não cascalhento + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico e léptico, A moderado, textura siltosa/argilosa + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, A fraco; todos fase floresta subcaducifólia, relevo suave ondulado e ondulado
PVAd8	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura média/argilosa + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, A moderado, textura siltosa/argilosa; todos fase floresta subcaducifólia, relevo ondulado e forte ondulado.
RLd3	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico, A fraco/moderado + AFLORAMENTO ROCHOSO; ambos fase campo cerrado, relevo ondulado, forte ondulado e montanhoso

i. CAMBISSOLOS

São constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura, ou horizonte A chernozêmico quando o B incipiente apresentar argila de atividade alta e saturação por bases alta. Plintita e petroplintita, horizonte glei e horizonte vértico, se presentes, não satisfazem os requisitos para Plintossolos, Gleissolos e Vertissolos, respectivamente.

Estes solos apresentam baixo grau de desenvolvimento pedogenético, e têm tendência a serem rasos, possuem teores elevados de silte, apresentar restos da sua rocha de origem (pedregosos ou cascalhentos) e/ou alguns minerais primários e secundários menos resistentes ao intemperismo. A baixa intensidade de intemperismo ao qual este tipo de solo foi exposto faz com que tenha muitas características químicas e mineralógicas semelhantes ao seu material de origem, tornando-o uma ordem de solo com características muito heterogêneas entre seus indivíduos, à depender da rocha/sedimento do qual foi originado.

Em termos de aptidão agrícola não são solos muito utilizados pois além das características citadas anteriormente, que dificultam a infiltração/permanência de água, dificultam o desenvolvimento de raízes e não favorecem a mecanização, geralmente ocorrem em relevos com declive acentuado – ou se em relevos planos são muito rasos e/ou pedregosos. Na Região 3 ocorrem dois tipos de Cambissolos, descritos no tópico abaixo.

a. Cambissolos Háplicos Tb Distróficos

Os Cambissolos Háplicos Tb Distróficos típicos e os Cambissolos Háplicos Tb Distróficos lépticos são os solos predominantes em CXbd21 e CXbd22, mas também ocorrem nas UM PVAd6 e PVAd8. São solos de ocorrência em todos os municípios da região

Suas características em cada localidade variam de acordo com o seu material de origem local. Mas, de maneira geral possuem baixa disponibilidade de nutrientes (distrófico) e baixa capacidade de troca catiônica (Tb). A diferença entre os típicos e os lépticos, é que no segundo caso o contato com a rocha ocorre entre 50 e 100 cm, enquanto nos primeiros, o horizonte B incipiente provavelmente está acima de horizonte C. Em todos eles ocorre horizonte superficial A moderado; podem ser pedregosos ou não; a textura varia entre média, siltosa e argilosa;

ocorrem desde relevos suave ondulados até forte ondulados, e estão sob vegetação de floresta subcaducifólia.

ii. ARGISSOLOS

São solos minerais que apresentam processos de migração de argila representados por incremento relativo ou presença de cerosidade em seu horizonte B. Caracterizam-se pela ocorrência do horizonte B textural abaixo de qualquer horizonte superficial, exceto horizonte Hístico. São solos minerais que apresentam processos de migração de argila representados por incremento relativo ou presença de cerosidade em seu horizonte B. Caracterizam-se pela ocorrência do horizonte B textural abaixo de qualquer horizonte superficial, exceto horizonte Hístico.

Podem apresentar profundidade e fertilidade variável, são de fortemente a imperfeitamente drenados, exibem cores variadas, e a textura pode variar de arenosa a argilosa no horizonte A, e de média a muito argilosa no horizonte B.

Quanto à sua aptidão agrícola, varia de acordo com as características citadas anteriormente. Um fato que deve ser considerado em seu uso é a presença do gradiente textural (acumulação de argila no horizonte B em relação ao horizonte A). Por um lado, esta característica favorece processos de erosão, principalmente em relevos declivosos, uma vez que a descontinuidade vertical de tamanho de poros interfere na velocidade de infiltração de água nestes solos, podendo causar erosão de seu horizonte superficial. Por outro lado, se bem manejados e em relevo plano ou suave ondulado, esta mesma descontinuidade de poros acarreta em uma quebra de capilaridade e maior permanência da água em subsuperfície no solo, protegendo cultivos de possíveis veranicos em algumas regiões. Na Região 3 ocorrem os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos, descritos a seguir.

a. *Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico*

São os componentes principais das unidades PVAd6 e PVAd8, ocorrendo também em CXbd22 e LVAd15. Só não ocorrem nos municípios de Caetanópolis, Paraopeba e Papagaios. Apresentam cor com matiz 5YR, podem ser profundos ou rasos, bem a moderadamente

drenados, possuem baixa CTC e baixa disponibilidade de nutrientes. Possuem textura média no horizonte A e textura argilosa no horizonte B, seu horizonte superficial é do tipo A moderado, ocorrem sob floresta subcaducifólia e relevos de suave ondulado a forte ondulado.

iii. LATOSSOLOS

Os Latossolos são solos muito intemperizados com presença de horizonte B latossólico, imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte superficial, exceto horizonte Hístico. Nestes solos são praticamente inexistentes os minerais primários (exceto quartzo), ou secundários menos resistentes ao intemperismo. A capacidade de troca catiônica (CTC) é sempre inferior a 17 cmol_c/kg de argila. São solos que além da baixa CTC, apresentam baixa disponibilidade de nutrientes, são ácidos, e geralmente têm teores elevados de alumínio disponível.

Apesar das características químicas desfavoráveis, seus atributos físicos os colocam como ótimos solos em termos de aptidão agrícola. Variam de acentuadamente bem drenados, bem estruturados, e geralmente são profundos ou muito profundos. São considerados de boa aptidão porque suas deficiências químicas são corrigíveis através do manejo (correção de pH, adubação e etc), enquanto atributos físicos de solos em geral dificilmente são corrigidos a curto e médio prazo. Na região 3 ocorrem 3 tipos de Latossolos, sendo eles descritos abaixo:

a. *Latossolos vermelhos*

Os Latossolos Vermelhos Distróficos típicos são os solos predominantes nas UM LVd3, LVd4 e LVd8, e ocorrem em todos os municípios da Região 3. Apresentam cores avermelhadas, com matizes 2.5YR ou menor, são profundos, bem acentuadamente drenados, possuem baixa CTC e baixa disponibilidade de nutrientes. Em todas as UM citadas, estes solos apresentam textura argilosa, estão sob vegetação de cerrado, situados em relevos planos ou suave ondulados, e contam com horizonte A moderado, exceto LVd3 que também tem porções com horizonte A fraco.

Na unidade LVd3, restrita ao município de Esmeraldas, também ocorrem os Latossolos Vermelhos Distrofêricos típicos, que além das características citadas anteriormente, apresentam altos teores de óxidos de ferro (Fe₂O₃ entre 18 e 36%).

b. Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico

O Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico é o solo predominante da unidade de mapeamento LVAd15, porém, também ocorre como componente das unidades CXbd21 e PVAd8. A primeira ocorre apenas no município de Esmeraldas, enquanto as demais estão presentes em Caetanópolis, Paraopeba, Florestal e também em Esmeraldas.

Apresentam cores com matiz 5YR, são profundos, bem acentuadamente drenados, possuem baixa CTC e baixa disponibilidade de nutrientes. Em LVAd15 e PVAd8 estes solos apresentam textura argilosa, enquanto que em CXbd21 também podem apresentar textura média. Em todas as UM possui horizonte A moderado, está sob floresta subcaducifólia ou subperenifólia.

c. Latossolos Amarelos Distróficos

A UM LAd1 é composta por dois tipos de Latossolos Amarelos, sendo o componente principal o Latossolo Amarelo Distrófico húmico, e o outro componente o Latossolo Amarelo Distrófico típico. A diferença entre eles é que o segundo apresenta horizonte A proeminente, enquanto o primeiro tem horizonte A húmico – ambos horizontes superficiais possuem elevado teor de carbono orgânico (matéria orgânica) e são profundos, mas o A húmico conta com maiores teores. São restritos aos municípios de Pequi e São José da Varginha.

Apresentam cores com matizes 7.5YR ou maiores, são profundos, bem acentuadamente drenados, possuem baixa CTC e baixa disponibilidade de nutrientes. São solos de textura argilosa, ocorrem sob florestas subcaducifólia e subperenifólia, em relevos planos e suave ondulados.

iv. NEOSSOLOS

Os Neossolos talvez seja a ordem mais heterogênea do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Podem ser desde solos incipientes rasos, intimamente ligados à rocha de origem (Neossolo Litólico e Neossolo Regolítico), a solos relacionados a ambiente de formação fluvial (Neossolos Flúvicos), ou solos profundos e arenosos (Neossolos

Quartzarênicos). Sua característica principal, e que define a ordem, é a ausência de horizonte B, podendo apresentar sequências de horizontes A-C ou A sobre rocha.

São solos frequentemente descritos como inaptos para utilização agrícola, seja pela pouca profundidade efetiva, pela posição na paisagem próximo aos leitos fluviais e potencialmente atingido pelas cheias, ou pela constituição arenosa que apresenta baixa capacidade de retenção de nutrientes e água. Porém, estes últimos (Neossolos Quartzarênicos) têm sido utilizados com sucesso para alguns cultivos comerciais se manejados adequadamente, como por exemplo a soja na região do Matopiba. Na Região 3 foi identificado apenas o Neossolo Litólico, sendo descrito a seguir.

a. Neossolo Litólico Distrófico típico

A UM RLd3 conta com o Neossolo Litólico Distrófico típico como componente principal, e como componente secundário tem-se Afloramento Rochoso. Na região, está presente nos municípios de Pequi, Maravilhas e Paraopeba. Este solo está intimamente ligado a ambientes montanhosos e pontões rochosos, e possui apenas horizonte A em cima da rocha. É o tipo de solo menos desenvolvido dentre os descritos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Na região, em alguns pontos possui horizonte A moderado, em outras horizonte A fraco. Em todos os casos apresenta baixa reserva de nutrientes (distrófico).

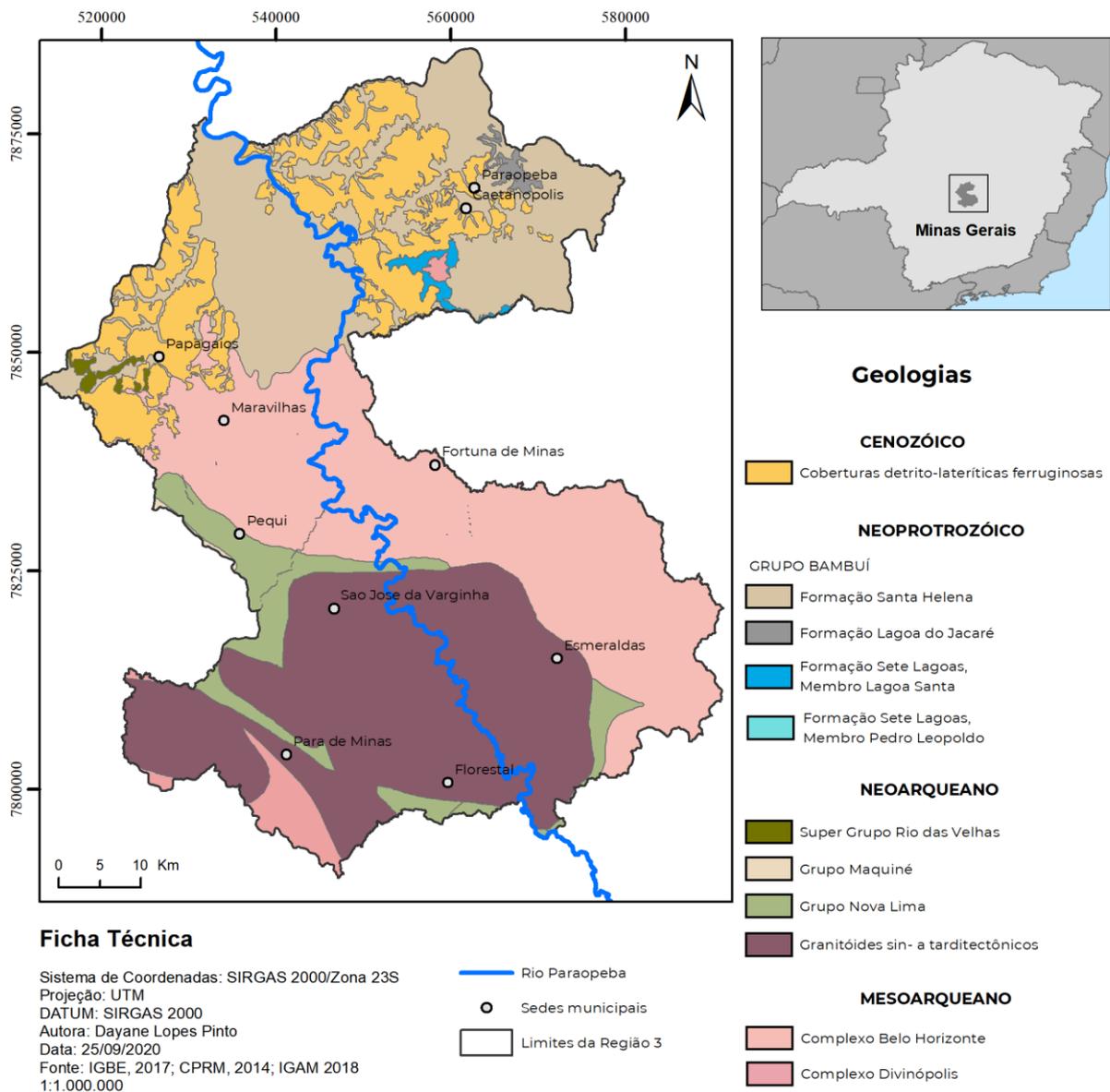
e. Geologia

O mapa de geologia do estado de Minas Gerais (CPRM, 2003) foi recortado para os limites da Região 3 (Figura 14). Este mapa foi formulado a partir da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, produzida pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM, e está apresentado numa escala de 1:1.000.000. Este material reúne um compilado de mapeamentos das diversas folhas que ocorrem no estado, e que foram sistematizados, bem como suas legendas reestruturadas, a partir da consulta e contribuição de profissionais especialistas da área. O grau de generalização é alto, porém é o material mais recente e robusto produzido e disponibilizado de forma gratuita pelo CPRM.

Os municípios da Região 3 foram caracterizados também em diferentes folhas de mapeamento que abrangem escalas mais detalhadas de 1:100.000, e que embasaram o mapa do

estado. É possível encontrar, por exemplo, a caracterização geológica dos municípios de Maravilhas, Pequi e São José da Varginha descrita no mapa geológico da folha de Pará de Minas (SE.23-Z-C-IV) (ROMANO; SOARES, 2005); a do município de Papagaios que integra as áreas da folha Pompéu (SE.23-Z-C-I) e a dos municípios de Florestal, Fortuna de Minas na folha Contagem (SE.23-Z-C-V) (ROMANO, 2014).

Figura 14: Distribuição da geologia dentro dos limites da Região 3.



Ao observar o mapa da Região 3, é possível identificar que a parte norte da região, nos municípios de Paraopeba, Caetanópolis e Papagaios há uma forte representação das rochas sedimentares datadas do Neoproterozóico do Grupo Bambuí. Inserido no Supergrupo São

Francisco, este grupo representa um vasto conjunto de rochas pelito-carbonáticas, que na região foram depositadas sobre rochas arqueanas pertencentes aos complexos Belo Horizonte e Divinópolis. Este grupo é dividido em cinco formações, e na Região 3 ocorre a Formação Sete Lagoas, Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré (BAPTISTA et al., 1984, TULLER et al., 2009).

A Formação Serra de Santa Helena é a unidade do grupo Bambuí de maior expressão na parte norte da Região 3, quando comparada às demais. Essa formação corresponde às rochas siliclásticas, representadas por siltitos e argilitos. As litologias características na região são os siltitos argilosos com coloração cinza, cinza-esverdeados e cinza-escuros, com laminação discreta, podendo apresentar ou não clivagem ardosiana, com níveis de arenito nas áreas mais altas. Segundo Tuller et al. (2009), estas rochas podem ser facilmente visualizadas nos paredões de uma série de pedreiras que ocorrem ao longo do vale do Rio Paraopeba. O contato das rochas dessa formação com as rochas do Complexo Belo Horizonte ocorre por vezes de modo brusco e tectônico, havendo a ocorrência de superfícies de descolamento onde pode ser observada a presença de milonitos (TULLER et al., 2009).

Formação Sete Lagoas, caracterizada por sua deposição em ambiente marinho plataformar, ocorre com forte expressão no município de Sete Lagoas, vizinho da região. Segue ainda com a ocorrência de afloramento a sul do município de Caetanópolis, na região da Serra da Lontra e adjacências, e também em Paraopeba. A Formação nestas áreas é representada pela sua subdivisão Membro Lagoa Santa, ocorrendo ainda a Membro Pedro Leopoldo, porém de forma quase insignificante na borda Nordeste do município de Esmeraldas, não sendo possível identificá-la visualmente no mapa. As áreas de cobertura do Membro Lagoa Santa (NP2sls) possuem forte presença de rochas de calcário calcítico, geralmente puros, utilizados na produção de cimento, cal ou brita. As cores predominantes das rochas são cinza médio, escuro a preto, com odor fétido ao serem quebradas e com forte presença de matéria orgânica (MARCHESE, 1974, TULLER et al., 2009)

A Formação Lagoa do Jacaré é formada por uma série de bancos de calcarenitos finos a médios normalmente oolítico a intraclásticos (calcirruditos), e bancos de calcissiltitos que de forma geral estão relacionadas a ciclos de granodecrescência ascendente contendo, nas áreas mais próximas ao topo, marcas de ondas e, no topo, gretas de ressecção. A litologia é caracterizada principalmente pela presença de calcarenito, siltito e marga. A presença das rochas ricas em calcário, tem seu beneficiamento mais voltado para a construção civil, na produção de brita, pós de brita, sendo registradas pedreiras no município de Paraopeba com

esse intuito. Há áreas na região, como a pedreira de calcário desativada (GMD) no município de Paraopeba, no qual a exposição da formação é facilmente identificada (TULLER et al., 2009).

Ainda na porção norte da Região 3 ocorre o afloramento das coberturas quaternárias detrito-lateríticas ferruginosas, coincidente com a Formação Serra de Santa Helena. Estes sedimentos, datados do período cenozóico, normalmente apresentam granulometria areno-argilosa, com níveis de cascalho e coloração marrom avermelhada. Estes sedimentos normalmente são espessos, apresentando-se endurecidos, sendo que o cascalho é constituído por clastos de quartzo que podem alcançar até 20 cm de diâmetro. Em algumas localidades de cobertura, pode ocorrer a formação de cangas, com presença de quartzo cimentado por material ferruginoso (TULLER et al., 2009).

Na borda oeste da Região 3 é possível notar pequenas áreas de ocorrência do SuperGrupo Rio das Velhas, e mais a sul a ocorrência das suas subdivisões principais, os Grupos Nova Lima e Maquiné, sendo que este último ocorre numa área muito pequena, na borda oeste do município de Pequi e na borda sudoeste de Maravilhas. O SuperGrupo Rio das Velhas, também referenciado como greenstone belt Rio das Velhas, é caracterizado pela presença de rochas metavulcano-sedimentares, muito comum na região do Quadrilátero Ferrífero e possui litologia caracterizada pela presença de Filito, Quartzito, Metagrauvaca, Mica e Xisto (TULLER et al., 2009).

O Grupo Nova Lima, representante de uma sequência do tipo greenstone belt, ou cinturão de pedras verdes, é reconhecido pelas suas associações litológicas associadas à mineralização de ouro no Quadrilátero Ferrífero (Lobato et al., 2001). Em afloramentos é possível visualizar características como presença de “rocha xistosa cinza e amarelada, roxa e avermelhada finamente laminada, argilosa, sericítica, com intercalações de níveis de granulação mais grossa, com grãos de quartzo” (p. 35). Já as rochas do Grupo Maquiné são classificadas como sendo quartzitos cinza a esverdeados e esbranquiçados, muito silicificado, com presença de grãos e grânulos arredondados de quartzo e feldspatos (TULLER et al., 2009).

Os Granitóides Sin a Tarditectônicos, muito representativos nos municípios de Florestal, Pará de Minas, Esmeraldas e São José da Varginha, ocorrem na região representados pelo Maciço Granitóide de Maravilhas – Cachoeira da Prata de composição granítica a tonalítica e granodiorítica (OLIVEIRA, 1999).

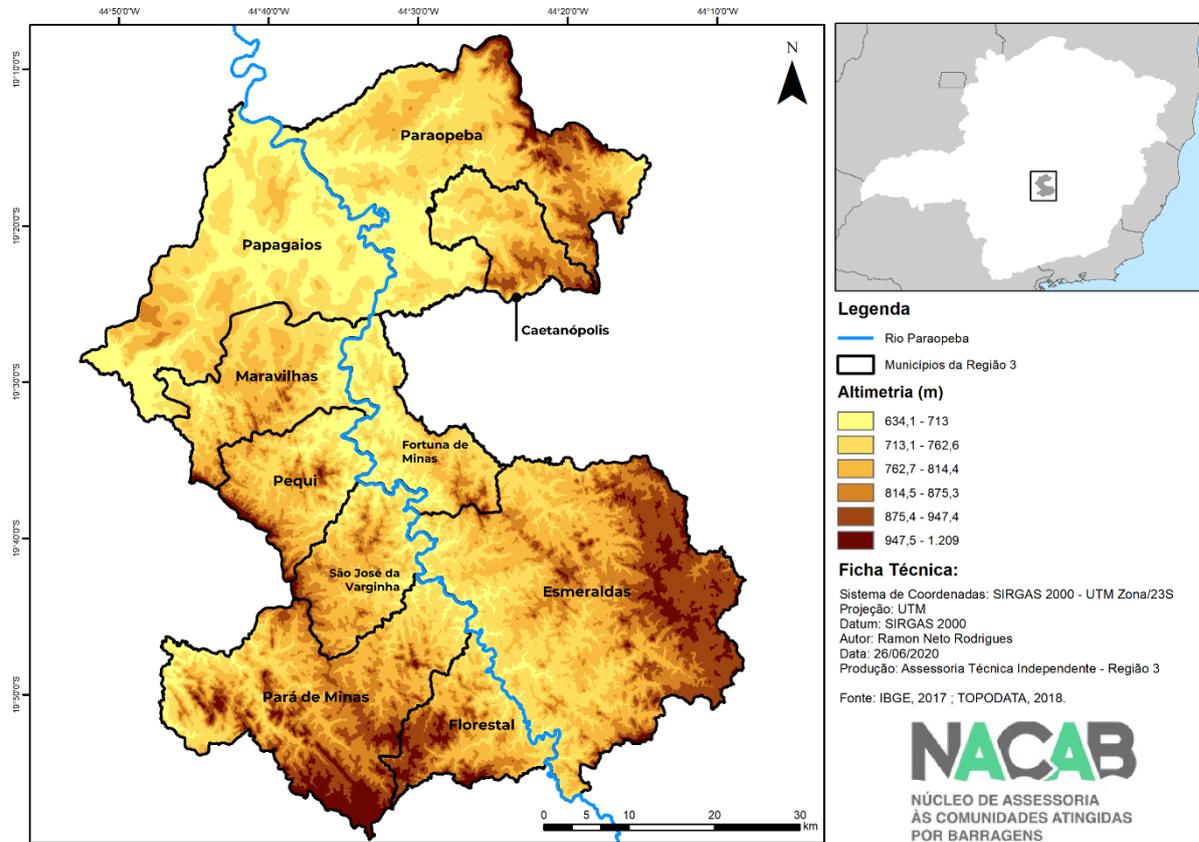
As rochas do Embasamento Cratônico como o Complexo Belo Horizonte e o Complexo Divinópolis também são verificados em uma área expressiva da região. O complexo Belo Horizonte, formação dominante do município de Fortuna de Minas, e que abrange os municípios de Pequi, Maravilhas e Esmeraldas, é formado por ortognaisses e migmatitos com rochas infracrustais gnáissicas e graníticas, ou embasamento cratônico. É uma formação que pode englobar uma série de rochas de diferentes naturezas, como granitóides e afloramentos variados. O complexo Divinópolis que ocorre em áreas do município de Florestal, está separado do Belo Horizonte por um divisor formado pelas rochas do SuperGrupo Rio das Velhas e os granitóides tarditectônicos e sua litologia é formada pela ocorrência de ortognaisses miloníticos a protomiloníticos diversos e migmatitos (ROMANO; SOARES, 2007).

f. Hipsometria e Declividade

Outro tema importante, que interfere em diversas características da bacia é a hipsometria e a declividade. Esses dados foram obtidos através do projeto Brasil em Relevo, elaborado pela Embrapa Monitoramento por Satélite. Este produto foi gerado a partir de dados de radar, obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, no projeto SRTM (em inglês, *Shuttle Radar Topography Mission*), uma parceria das agências espaciais dos Estados Unidos (NASA e NIMA), Alemanha (DLR) e Itália (ASI), com escala de 90 metros refinados pelo Projeto Topodata até a resolução de 30 metros (TOPODATA, 2018).

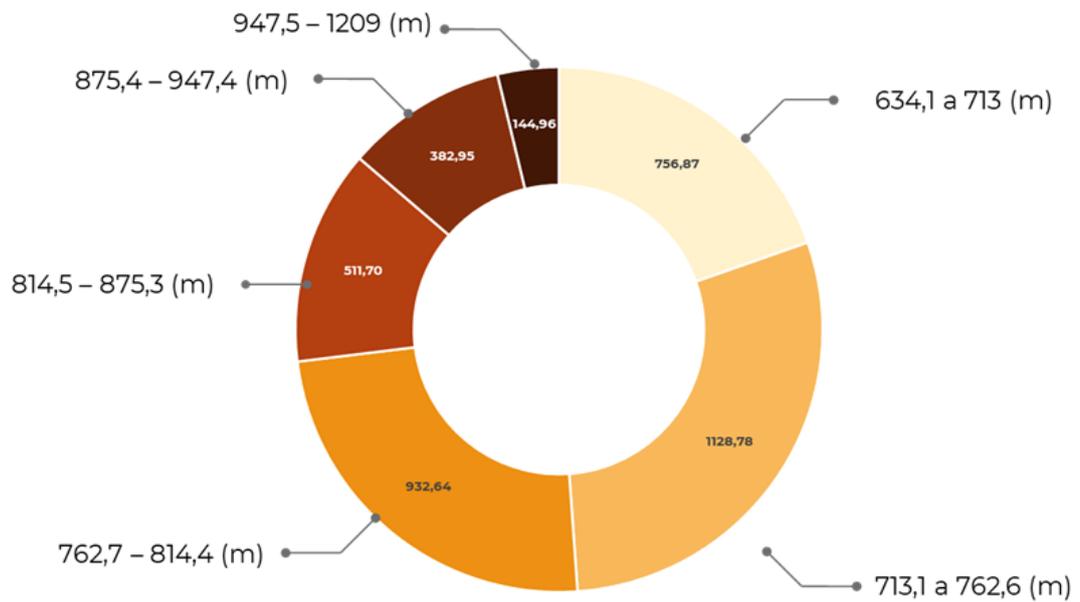
A análise do mapa hipsométrico possibilita observar que a porção norte da Região 3, concentra as menores altitudes topográficas da área de abrangência. Esse baixo altimétrico ocorre principalmente ao longo do canal principal do rio Paraopeba. Por outro lado, já os pontos de maior altitude estão localizados ao sul da Região 3, justamente nos pontos divisores das vertentes da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba e as Bacias Hidrográficas do rio Pará e Velhas, nos municípios de Esmeraldas, Florestal e Pará de Minas (Figura 15).

Figura 15: Altimetria (m) dos municípios pertencentes à Região 3 com base no Modelo Digital de Elevação, disponibilizado pelo Projeto TopoData.



A apresentação da hipsometria também tem como objetivo identificar áreas com altitudes superiores a 1.800 metros, definidas pelo Código Florestal, Lei nº 12651/2012, como Áreas de Preservação Permanente. No entanto, a altitude máxima identificada da área não ultrapassou a cota de 1.209 metros. A maior parte da Região 3 é constituída de cotas medianas entre 713,1 e 762,6 metros. Esses limites representam 1128,78 km², que representa 29,25% da área total da região. As cotas mais altas, entre 947,5 e 1.209 metros, são as mais raras, representando apenas 3,75% da área total e ocupando 144,96 km² do território. As áreas ocupadas por cada intervalo de cota hipsométrica definidos na carta anterior são apresentadas na Figura 16.

Figura 16: Quantitativo de área ocupada por cada intervalo de cotas hipsométrico definidos para a Região 3.



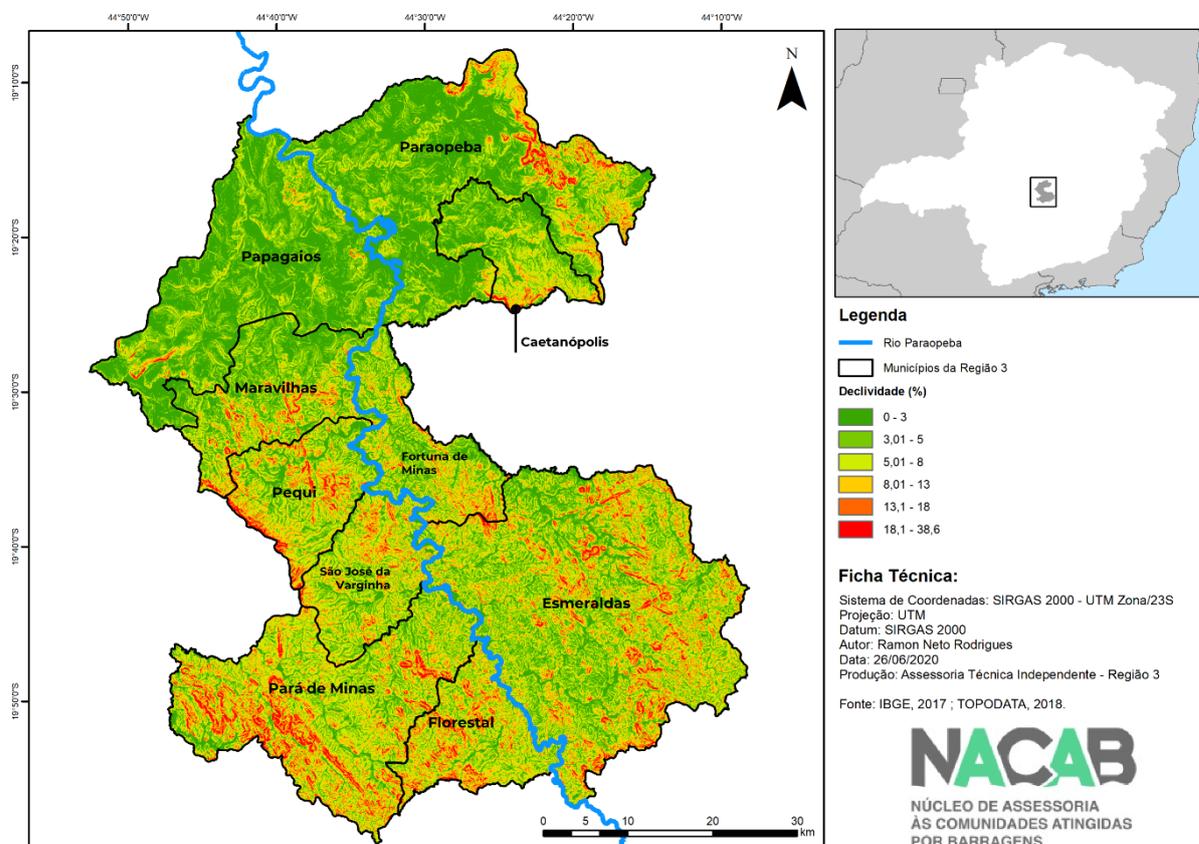
Quantitativo de área em km².

Utilizando os dados de altimetria e relevo, foi possível construir o mapa de declividade para a Região 3, por meio de técnicas de geoprocessamento. Como é possível observar na Figura 17, as maiores declividades se encontram nos municípios ao sul da Região 3 e nos divisores de água com as bacias do rio das Velhas, em Paraopeba e Rio Pará, em Pará de Minas e Pequi. Observa-se que a parte mais ao norte, principalmente Papagaios e Paraopeba, apresentam baixas declividades. As áreas de maior declividade, correspondem às áreas de maior propensão a geração de escoamento superficial, e, portanto, maior perda de solo devido à erosão. Já as áreas de menor declividade favorecem a infiltração direta e a inundação de grandes áreas, principalmente nas cotas mais baixas, e, portanto, podendo ser pontos de atenção para o monitoramento de riscos de cheias.

A declividade é um fator que costuma influenciar nos aspectos econômicos de uma região, uma vez que áreas com menor declividade são mais adequadas à agricultura de extensas áreas devido às facilidades de trabalho com maquinário especializado e uso de grandes pivôs centrais, como é comum na região de Papagaios e Paraopeba, caracterizadas por grandes propriedades agrícolas. Além disso, essas áreas favorecem a criação de animais para corte, enquanto que áreas com maior declividade são destinadas à criação de leite. Desta forma,

entender a geomorfologia da Região 3 e as características da paisagem pode fornecer bons elementos para identificação dos tipos de danos econômicos para as diferentes áreas do território. Com essa resolução espacial de mapa (30 metros) não foi possível identificar áreas com declividade superior a 45% (encostas), definidas pelo Código Florestal, Lei nº 12.651 de 2012, como áreas de preservação permanente (BRASIL, 2012).

Figura 17: Declividade (%) dos municípios pertencentes à Região 3 com base no Modelo Digital de Elevação, disponibilizado pelo Projeto TopoData.



g. Biomas e Vegetação

Os biomas e os tipos de vegetação observados na bacia possuem uma associação direta com o clima da região, sendo elementos importantes para a sustentabilidade do balanço hídrico. Do ponto de vista do ciclo hidrológico, alterações significativas na vegetação podem gerar distorções no microclima, em decorrência das condições físicas específicas, e como consequência alterar o comportamento das precipitações e das vazões ao longo do tempo. Outro

aspecto importante é a influência destes fatores nos aspectos socioeconômicos, uma vez que estão diretamente relacionados à oferta de possibilidades de aproveitamento dos recursos naturais para obtenção de renda, como a agricultura, aquicultura e turismo, muito evidentes na Região 3.

A Região 3 encontra-se na área de transição dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, no entanto, o bioma predominante é o Cerrado, que abrange 82,7% (3190 km²) da área total da Região 3 (Figura 18). Percebe-se ainda que toda a porção de Mata Atlântica, 17,3% ou 667,5 km² se encontra a oeste do rio Paraopeba, sendo a sua maior parte distribuída no município de Pará de Minas e fora da bacia hidrográfica do rio Paraopeba. Na Figura 19 é possível visualizar o percentual de área de abrangência de cada bioma dentro da região.

Figura 18: Delimitação das áreas dos biomas nos municípios que compõe a Região 3.

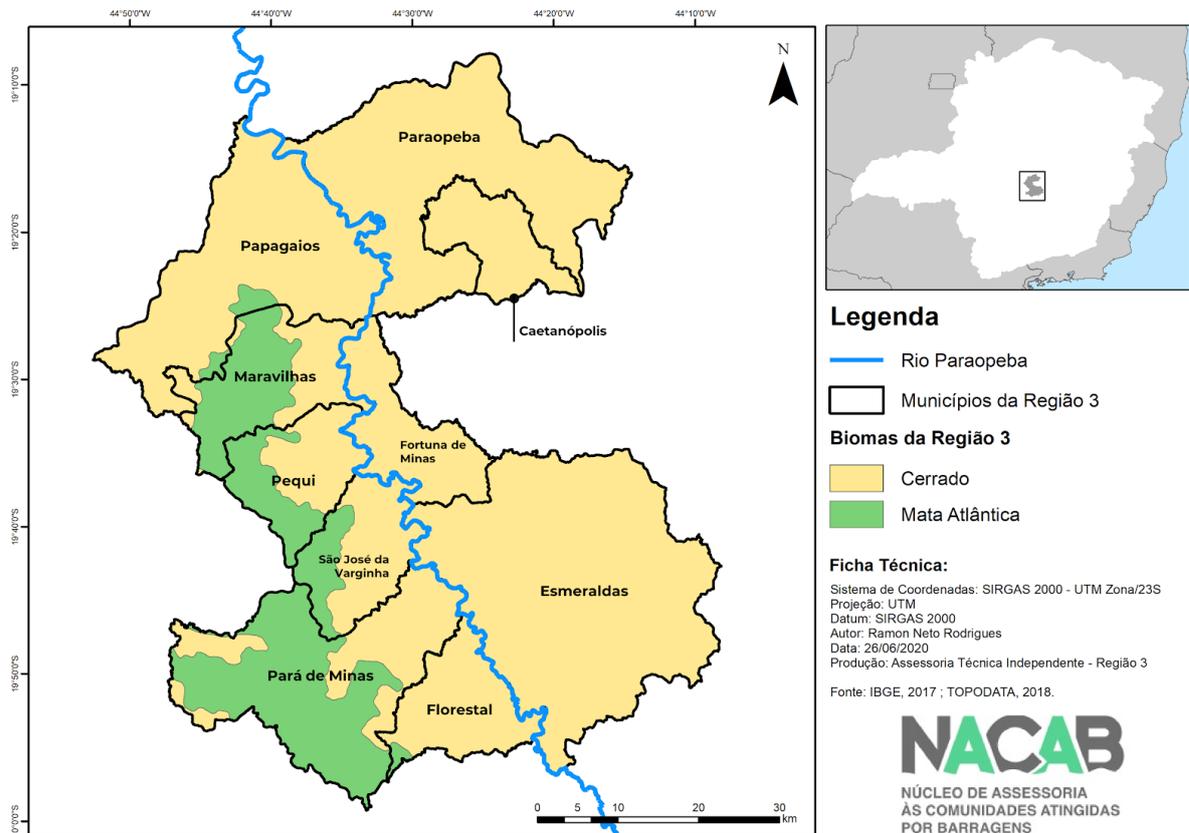
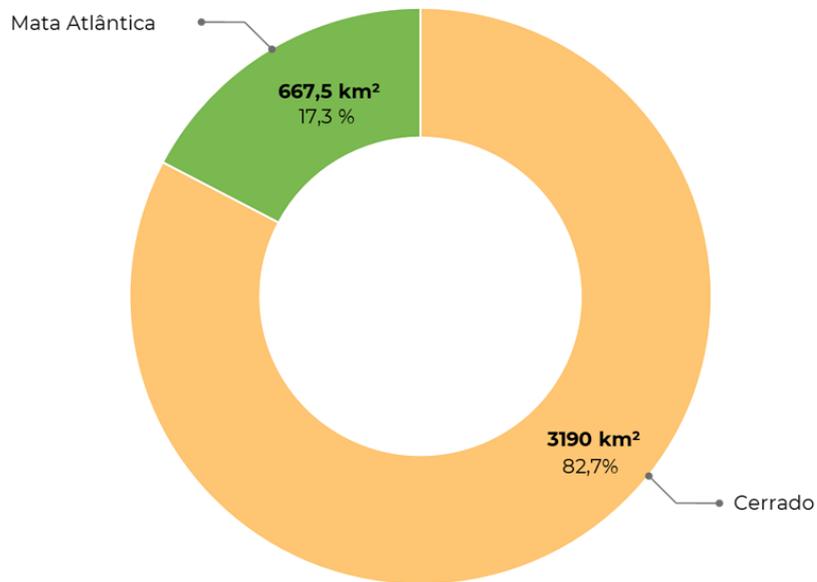


Figura 19: Percentual da área de abrangência dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, dentro da Região 3.



De modo geral, regiões de distribuição do bioma Cerrado apresentam uma grande heterogeneidade de ambientes, compreendendo uma gama de comunidades bióticas, relacionadas a sua origem geológica, composição e profundidade do solo, altura e outros fatores climáticos e cuja fisionomias variam entre formas mais rasteiras e rupestres até florestas (EITEN, 1994; HENRIQUES, 2005). Este bioma é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando uma área de aproximadamente dois milhões de km² e cerca de 22% do território brasileiro. Neste espaço territorial encontram-se nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Amazônica, São Francisco e Prata). O Cerrado é, portanto, a segunda maior formação vegetal do país, atrás apenas da Floresta Amazônica (OLIVEIRA-FILHO; RATTER, 1995).

Assim como ocorre para os demais biomas, a posição e extensão do bioma Cerrado são um reflexo do clima. Porém, apesar das precipitações variarem entre 750 e 2000 mm por ano, em média, sua vegetação e densidade não dependem do regime pluviométrico, como ocorre nas savanas típicas do continente Africano. No Cerrado, essa variação está mais ligada a fatores edáficos do solo, como fertilidade e teor de alumínio, além de modificações associadas ao próprio regime de fogo, o que gera uma alta diversidade de fisionomias (MARINHO-FILHO et al. 2010).

O Cerrado brasileiro é considerado um dos hotspots mundiais de biodiversidade, o que significa que esse bioma apresenta uma alta biodiversidade, grande número de espécies endêmicas e está altamente ameaçado (MYERS, 2003). Do ponto de vista da diversidade biológica, o Cerrado é reconhecido como a savana mais rica do mundo, abrigando 11.627 espécies de plantas nativas já catalogadas. São conhecidas cerca de 200 espécies de mamíferos e 837 espécies de aves. Os números de peixes (1.200 espécies), répteis (180 espécies) e anfíbios (150 espécies) são elevados. Além disso, de acordo com estimativas recentes, o Cerrado é o refúgio de 13% das borboletas, 35% das abelhas e 23% dos cupins dos trópicos (KLINK; MACHADO, et al., 2005).

Para além dos aspectos ambientais, o Cerrado tem grande importância sociocultural. Muitas populações sobrevivem por meio da utilização de seus atributos naturais, incluindo indígenas, quilombolas e geraizeiros. Do total de espécies arbóreas, 220 espécies têm uso medicinal e quase 400 possuem uso na recuperação de solos degradados. Além disso, o cerrado brasileiro produz uma série de frutos comestíveis que são regularmente consumidos pela população local e vendidos em centros urbanos, entre eles temos o Pequi (*Caryocar brasiliense*), Buriti (*Mauritia flexuosa*), Mangaba (*Hancornia speciosa*), Cagaita (*Eugenia dysenterica*) e outros (REIS; SCHMIELE, 2019; MORZELLE ET AL., 2015).

Apesar do reconhecimento de sua importância biológica, de todos os hotspots mundiais, o Cerrado é o que possui a menor porcentagem de áreas sobre proteção integral. O Bioma apresenta apenas 9,6% de seu território legalmente protegido por unidades de conservação. Desse total, apenas 3,2% são unidades de conservação de proteção integral (FRANÇOSO, et al., 2015).

O bioma Mata Atlântica, caracterizado pelo seu conjunto de formações florestais (Florestas: Ombrófila Densa, Ombrófila Mista, Estacional Semidecidual, Estacional Decidual e Ombrófila Aberta) e ecossistemas associados, como as restingas, manguezais e campos de altitude, tem como característica marcante das formações florestais, a presença de árvores de médio e grande porte, formando florestas densas com todos os níveis sucessionais. Os avanços do desmatamento sob o bioma, diretamente relacionado ao processo de expansão urbana brasileiro, concentrado em sua maior parte na área de distribuição do bioma e aliado à alta demanda por grandes áreas agrícolas e à intensificação do uso da terra, provocaram a redução drástica de mais de 80% de sua área de cobertura (RIBEIRO et al., 2009), que com grande esforço das políticas conservacionistas chegam a apenas 28% de sua cobertura nativa original, em diferentes estágios de conservação (REZENDE et al., 2018).

Assim como o Cerrado, a Mata Atlântica é considerada um dos hotspots para conservação da biodiversidade e está entre os biomas mais ameaçados do mundo (MITTERMEIER et al. 2004, MYERS et al., 2000). Um estudo recente realizado pela ONG SOS Mata Atlântica, indicou que em Minas Gerais, restam apenas cerca 11,6% da cobertura natural desse bioma (SOS MATA ATLÂNTICA, 2019). Além disto, cerca de 80% da cobertura florestal remanescente estão restritas a fragmentos com áreas menores que 50 hectares (RIBEIRO et al., 2009) altamente perturbados (EISENLOHR, 2013; METZGER, 2000), e sofrem severamente as consequências do efeito de borda, se tornando pouco efetivos na manutenção dos serviços ecossistêmicos e para a persistência de muitas espécies (FAHRIG, 2003, MAGNAGO et al., 2017).

Mesmo reduzida e muito fragmentada, estima-se que a Mata Atlântica possua cerca de 20.000 espécies vegetais (algo entre 33% e 36% das espécies existentes no Brasil). Até se comparada com a Floresta Amazônica, a Mata Atlântica apresenta, proporcionalmente ao seu tamanho, maior diversidade biológica. Os levantamentos já realizados indicam que a Mata Atlântica abriga 849 espécies de aves, 370 espécies de anfíbios, 200 espécies de répteis, 270 de mamíferos e cerca de 350 espécies de peixes (MMA, 2010).

Segundo dados do PDRH da bacia do rio Paraopeba, o quadro de degradação para a bacia não é diferente do encontrado para o restante do estado, e portanto, a área de cobertura de vegetação nativa vem sendo reduzida gradativamente ao longo da bacia (COBRAPE, 2018).

3.2 Avaliação preliminar da situação fundiária na Região 3

Para composição do diagnóstico fundiário, foram utilizadas três bases de dados: dados do Cadastro Ambiental Rural - CAR, a base de imóveis do Sistema Gestão Fundiária - SIGEF e do Sistema Nacional de Cadastro Rural - SNCR, sendo as duas últimas organizadas e mantidas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA.

O Cadastro Ambiental Rural - CAR, criado pela Lei nº 12.651/2012, no âmbito do Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente - SINIMA, é um registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais referentes à situação das Áreas de Preservação Permanente - APP, das áreas de Reserva Legal - RL, das florestas e dos remanescentes de vegetação nativa, das Áreas de Uso Restrito e das áreas consolidadas, de

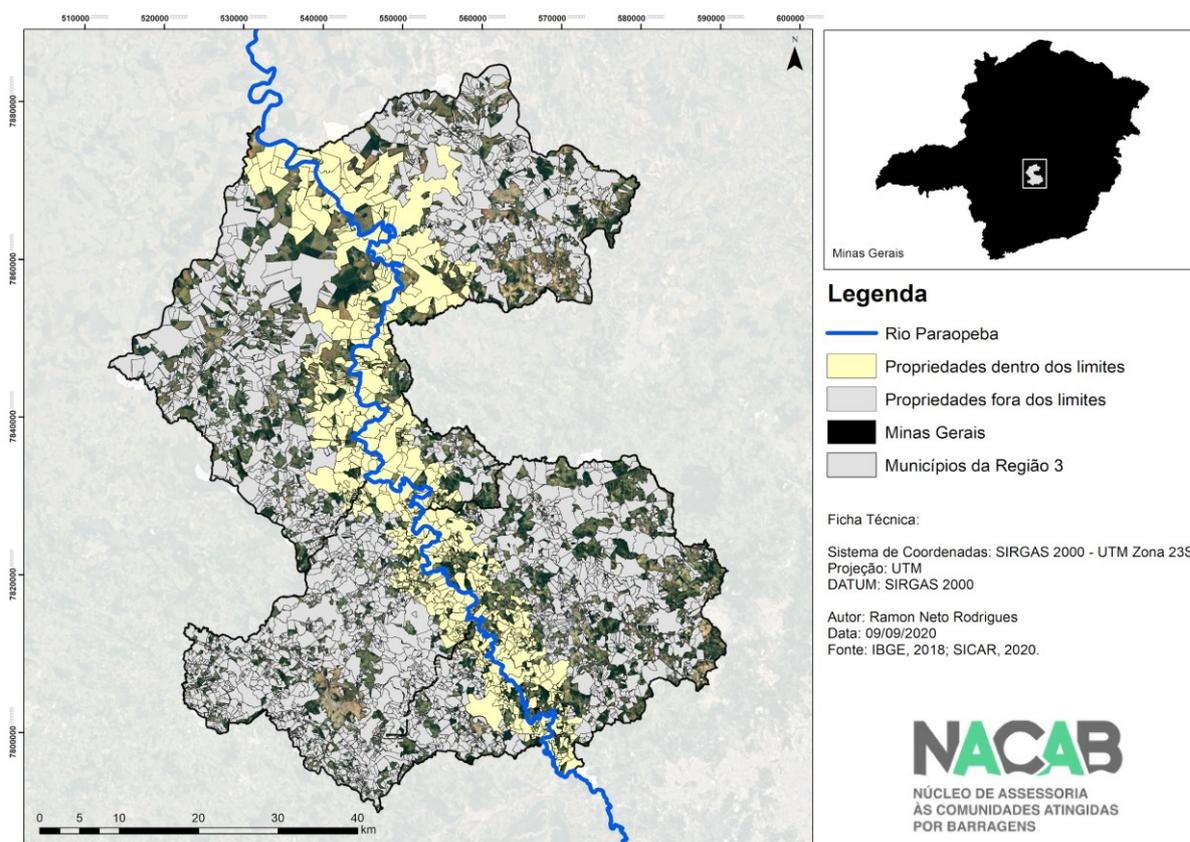
modo a compor uma base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento.

O Cadastro Ambiental Rural pode ser feito pelo proprietário, com auxílio de uma pessoa capacitada ou com auxílio dos funcionários dos órgãos públicos municipais e estaduais. Como esse cadastro é baseado na interpretação de imagens de satélite, existem inúmeros problemas de sobreposição de propriedades, rélicas e erros de preenchimento. Além disso, como o CAR depende do interesse do proprietário em fazer o cadastro, muitas propriedades ainda não o possuem, principalmente nas áreas de chacreamentos e grandes núcleos populacionais rurais. Como essas áreas normalmente são caracterizadas por pequenas propriedades, em sua grande maioria de tamanho de um lote padrão, não há interesse pelo proprietário em fazer a regularização ambiental, minimizando o índice de cadastramento nessas regiões. Dessa forma, o número de terrenos cadastrados pelo CAR tende a ser muito mais baixo do número real, principalmente nos municípios de maior densidade populacional.

Tendo ciência dessas limitações, a base do CAR para os 10 municípios da Região 3 conta com 6.146 terrenos cadastrados. A soma da área desses imóveis é de 2908,57 km², o que representa 74,6% de todo o território. Há, portanto, uma lacuna espacial de aproximadamente 986,43 km², quando consideramos todo o território municipal. Ainda nesse contexto, o tamanho médio das propriedades cadastradas é de 47,32 hectares, com um desvio padrão de 129,22 hectares.

Considerando apenas os limites definidos para as comissões, foram identificadas 1.079 propriedades. O tamanho médio dos terrenos dentro dos limites das comissões é 53,91 hectares, sendo o maior 2.633 hectares, localizado no município de Paraopeba e o menor 0,05 hectares em Esmeraldas (Figura 20). Essas propriedades somadas ocupam uma área total 804,67 km², equivalente a 27,6% da região total com cadastros ativos na Região 3. Considerando que a área total com propriedades registradas, apenas dentro dos limites das comissões, é 582,13 km² e a área total das comissões é 789,37 km², então a área de lacuna do CAR para essa região é de 207,24 km².

Figura 20: Espacialização das propriedades cadastradas na base pública do Cadastro Ambiental Rural - CAR, para os municípios da Região 3 e para dentro dos limites das comissões.



Considerando os tamanhos dos módulos fiscais definidos para os municípios da Região 3, a maior parte dos imóveis cadastrados no CAR são classificados como propriedades pequenas, 76,87% do total, que representam aquelas propriedades com área inferior a quatro módulos fiscais. Legalmente, essas áreas são isentas de uma série de exigências legais que propriedades de porte médio e grande são obrigadas a cumprir. Um exemplo disso é a necessidade de recuperação da Reserva Legal, instituída pelo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). Neste caso, apenas médios e grandes proprietários precisam recuperar a mata nativa até a proporção da propriedade definida por lei. Além disso, pequenas propriedades rurais também não precisam recuperar toda a extensão das Áreas de Preservação Permanente - APP, sendo necessária apenas a manutenção de uma área mínima, a depender do tamanho do curso d'água. Essa flexibilização do Código Florestal Brasileiro para os pequenos proprietários rurais é ainda alvo de discussões, se por um lado a consolidação de áreas desmatadas aumenta a área produtiva do imóvel, a extinção da obrigatoriedade de recuperação pode trazer prejuízos à disponibilidade hídrica da bacia e a qualidade ambiental dos cursos d'água de modo geral.

A própria Constituição Federal em seu Artigo 5º, Inciso XXVI, ressalta que:

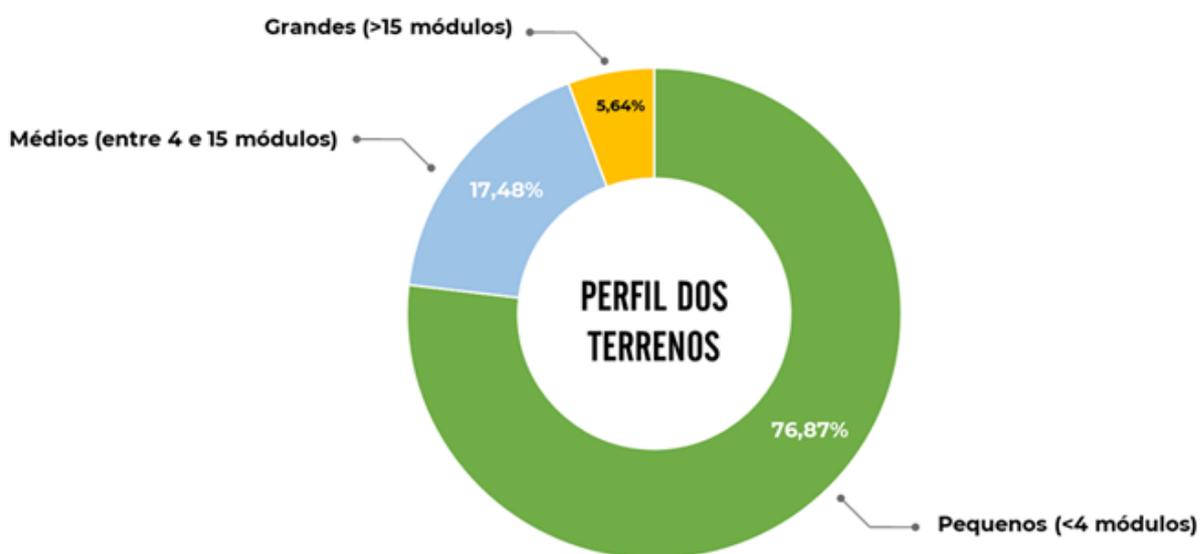
“A pequena propriedade rural, assim definida em lei, desde que trabalhada pela família, não será objeto de penhora para pagamento de débitos decorrentes de sua atividade produtiva, dispondo a lei sobre os meios de financiar o seu desenvolvimento”.

Por outro lado, considerando aspectos econômicos, pequenas propriedades possuem algumas facilidades de crédito e financiamento para produção agrícola familiar. Desta forma, pensar em políticas públicas que visam o desenvolvimento territorial para as pequenas propriedades atingidas, deve ser uma estratégia na busca da reparação integral dos danos sofridos pelo território.

As propriedades de porte médio, entre 4 e 15 módulos fiscais representam 17,15% do território, e o restante, 5,64%, são classificadas como propriedades de grande porte, ou seja, maior que 15 módulos fiscais (Figura 21). Esse resultado, mesmo com as lacunas de informações existentes no Cadastro Ambiental Rural - CAR, principalmente nas áreas de chacreamentos, indica a alta presença de pequenos produtores rurais na Região 3.

Já considerando a base do Sistema de Gestão Fundiária - SIGEF e do Sistema Nacional de Cadastro Rural - SNCR, ambas organizadas pelo INCRA, a Região 3 em estudo, conta com 779 imóveis cadastrados. A diferença entre os números de propriedades cadastradas na base do INCRA e no SICAR em relação aos do CAR se deve à necessidade de contratação de um responsável técnico habilitado pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) e credenciado junto ao Incra, para regularização do imóvel, o que não é uma exigência para o CAR. Desta forma, apesar desse processo de cadastramento e certificação do imóvel junto ao INCRA ser mais oneroso para o proprietário, ele minimiza problemas de sobreposição e permite a geração da planta e memorial descritivo para o registro do imóvel em cartório. Devido a isto, normalmente, os grandes proprietários rurais são quem mais optam por fazer essa certificação, diminuindo sua abrangência no território.

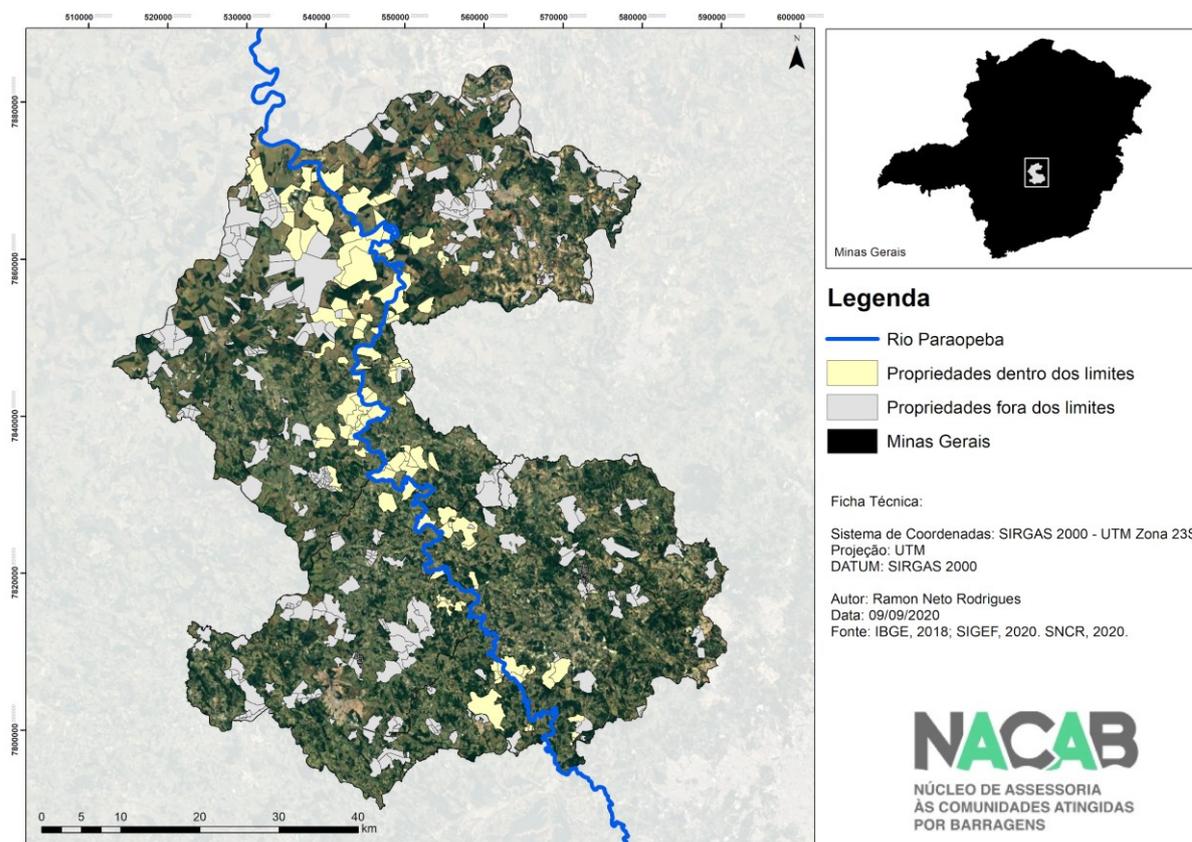
Figura 21: Perfil dos terrenos cadastrados no CAR dentro dos limites das comissões da Região 3, em relação ao seu tamanho baseado nos módulos fiscais.



Outra vantagem do banco de dados do SIGEF e SNCR é que ele identifica a propriedade pelo seu nome cadastrado e não pelo número de registro como o CAR. Esse tipo de informação é de extrema relevância para identificação das propriedades, direcionamento dos trabalhos de campo e construção de pontos de referência para orientar a circulação no território, bem como para a elaboração de materiais para apresentação dos resultados aos atingidos.

As 779 propriedades cadastradas no SIGEF e no SNCR ocupam uma área total de 843,71 km². Considerando a área total da região igual a 3895 km², essa base pública do INCRA, ocupa aproximadamente 21,6% da Região 3. O tamanho médio das propriedades cadastradas é de 108,37 hectares, com um desvio padrão de 195,5 km². A maior propriedade cadastrada para o território tem 2460 hectares e a menor 0,21 hectares. Considerando apenas a área definida para as comissões, essa base fundiária conta com um total de 158 propriedades cadastradas, que ocupam uma área total de 284,7 km², sendo que 193,87 km² estão dentro dos limites das comissões. Desta forma, têm-se que aproximadamente 24,5% da área das comissões ocupadas por propriedades certificadas pelo INCRA. A maior delas, é a Fazenda Capão da Madeira 1473,43 hectares, pertencente à comissão de Papagaios e a menor 0,86 hectares pertencentes à Fortuna de Minas (Figura 22).

Figura 22: Espacialização das propriedades cadastradas na base pública Sistema de Gestão Fundiária - SIGEF e Sistema Nacional de Cadastro Rural, do INCRA, para os municípios da Região 3 e para dentro dos limites das comissões.

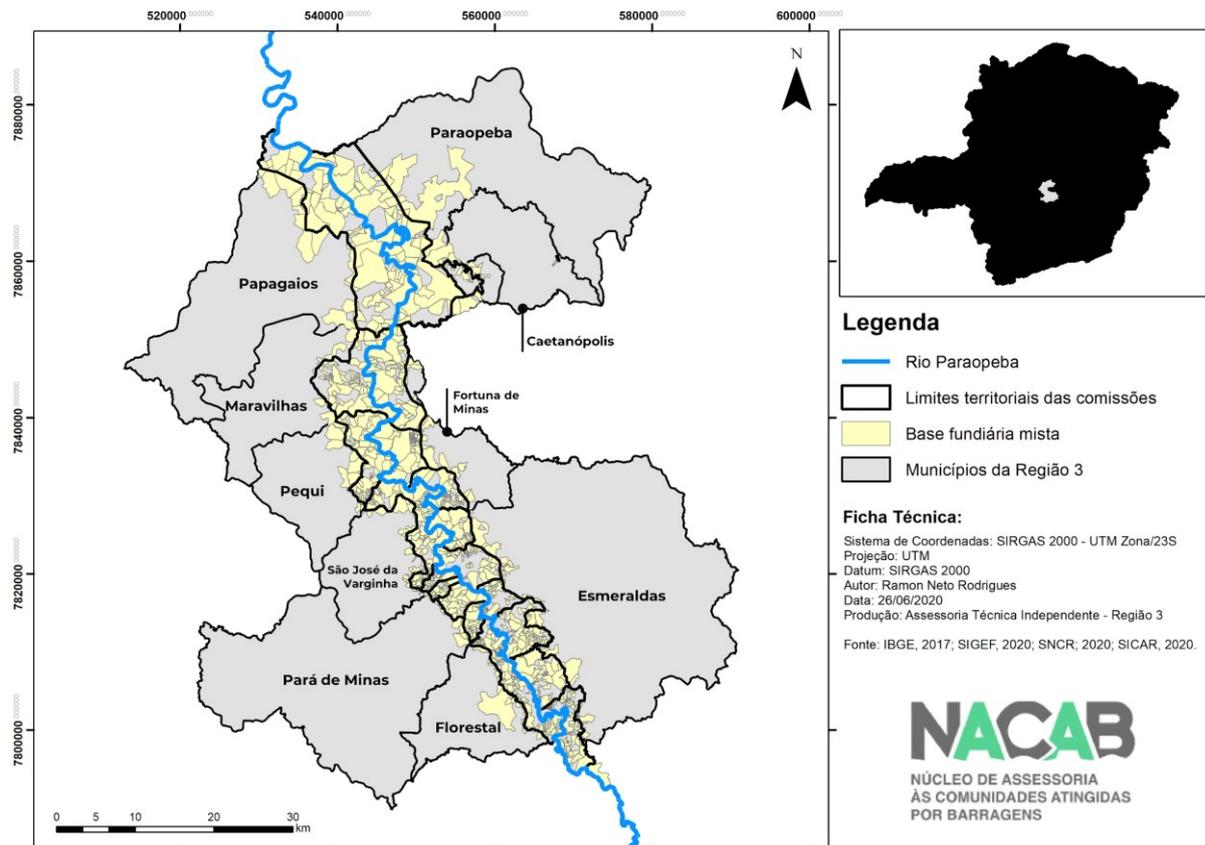


Assim como dito anteriormente, de modo a compor uma base fundiária única e identificar as lacunas existentes no território, foi realizada uma sobreposição das três bases apresentadas. Inicialmente optou-se, para esse diagnóstico preliminar, apenas a análise para as regiões dentro dos limites das comissões. Para composição dessa base única, foi realizada uma análise tipológica sistematizada, que possui como objetivo identificar os pontos de sobreposição entre as bases e entre os polígonos de uma mesma base, esta última apenas para a base do CAR, e os pontos de não sobreposição. Naqueles pontos onde se identificou sobreposição de polígonos entre as bases, foi considerada como verdadeira a base do INCRA e o polígono sobreposto do CAR foi excluído.

Somando as três bases de dados, chegou-se a um quantitativo de 1.237 propriedades para a Região 3. Porém, foram identificadas 88 propriedades cadastradas em ambas as bases. Desta forma, o quantitativo final de propriedades cadastradas é de 1.149 propriedades. Essas propriedades ocupam uma área total de 816,88 km². Deste total, cerca de 594,96 km² estão dentro dos limites territoriais das comissões. Considerando que a área total das comissões é de

789 km², então existe uma lacuna total de 194,41 km² ou 24,6% do território das comissões (Figura 23).

Figura 23: Composição da base fundiária mista para os limites territoriais das comissões pertencentes aos municípios da Região 3.



Retirando as áreas de lacunas devido à falta de perícia do cadastramento no Cadastro Ambiental Rural e as áreas onde a própria dinâmica do rio Paraopeba pode modificar os limites internos das propriedades ribeirinhas, foram identificados 206 polígonos com lacunas de informações dentro do perímetro das comissões. A área total é igual a 180,18 km², que representa 22,8% do território.

Não é possível mensurar, sem ir a campo, o número de propriedades que essas lacunas representam. Porém, como a maior parte das lacunas está em áreas com alto adensamento populacional, normalmente áreas distritais dos municípios, como a região que abarca as comissões de São José e Taquaras, cujas propriedades são pequenas e distribuídas em lotes e chácaras bem definidos, acredita-se que o número seja elevado. O número de áreas com lacunas

e o tamanho da área com lacunas de informações fundiárias por município podem ser visualizados na Tabela 4 abaixo.

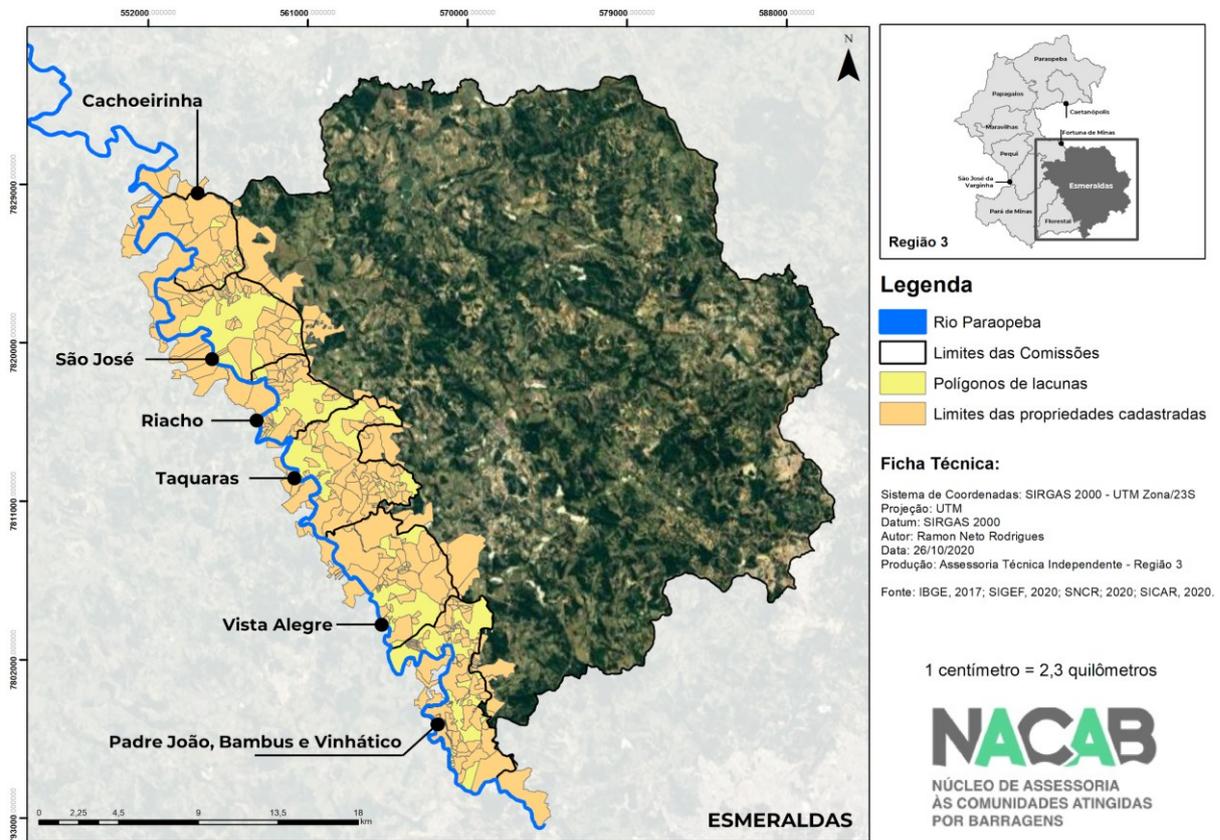
Tabela 4: Distribuição do número de áreas de lacunas e soma total das áreas com falta de informações fundiárias nas bases utilizadas para os municípios da Região 3.

MUNICÍPIO	NÚMERO DE POLÍGONOS	ÁREA TOTAL	PROPORÇÃO EM RELAÇÃO AO TOTAL
Esmeraldas	61	50,55	28,05%
Florestal	31	11,72	6,51%
Fortuna de Minas	26	14,79	8,21%
São José da Varginha	24	7,25	4,02%
Pará de Minas	19	3,08	1,71%
Papagaios	14	31,81	17,65%
Paraopeba	13	39,14	21,72%
Maravilhas	11	18,99	10,54%
TOTAL	206	180,18	100%

Outra lacuna de informação que precisa ser investigada se refere às propriedades cuja localização e/ou limites se sobrepõe com o do território da Comunidade Quilombola da Pontinha, no município de Paraopeba. A comunidade é reconhecida pela Fundação Palmares desde 2005, porém ainda não tem seu território georreferenciado e regularizado, conforme Decreto Federal nº 4.887, de 2003 e Lei Estadual nº 21.147 de 2014.

O município com maior número e área com lacunas fundiárias é Esmeraldas, representando aproximadamente 28,05% do total (Figura 24). Esse valor pode estar relacionado tanto pela própria extensão territorial deste município quanto pelo próprio processo histórico de ocupação irregular na região rural, que deu origem ao alto número de chaceamento presentes nesta região, principalmente nas áreas próximas ao rio Paraopeba. É nessa região que estão localizadas as maiores densidades populacionais das comissões na Região 3.

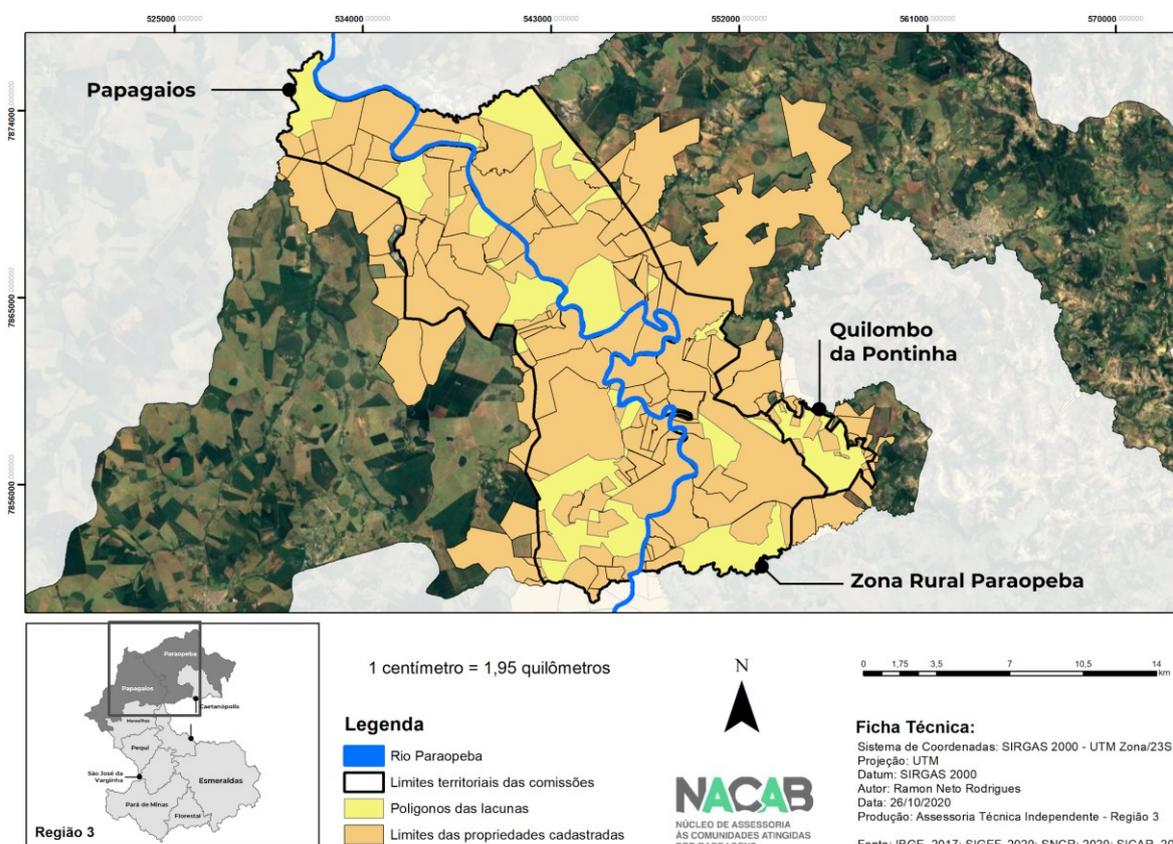
Figura 24: Distribuição das lacunas fundiárias para as comissões pertencentes ao município de Esmeraldas, Minas Gerais.



Detalhe para as grandes lacunas de informações nas áreas com maior adensamento populacional, como São José, Taquaras e Vista Alegre.

Outros pontos de atenção são os municípios de Paraopeba e Papagaios, que apesar de possuírem poucos polígonos com lacunas de informações fundiárias, esses polígonos são muito grandes, o que também é condizente ao perfil socioeconômico da região, caracterizada por grandes propriedades rurais tanto no lado de Paraopeba, quanto no lado de Papagaios (Figura 25). Devido ao modelo definido de análise para o município de Caetanópolis, focado principalmente nos danos às cadeias produtivas de iscas para pesca, não foram avaliadas as questões fundiárias deste município.

Figura 25: Distribuição das lacunas fundiárias para as comissões pertencentes aos municípios de Paraopeba e Papagaios, Minas Gerais.



Detalhe para os tamanhos das propriedades cadastradas que indicam um perfil socioeconômico diferente ao encontrado nas regiões mais alta da Região 3.

Considerando os limites territoriais das comissões (Tabela 5), a comissão com a maior concentração das lacunas de informações fundiárias é a Comissão de Papagaios e a Zona Rural de Paraopeba (31,81 km² e 30,61 km²). Essas expressivas áreas de lacunas são um reflexo do perfil socioeconômico da região e o próprio tamanho do território dessas comissões. Considerando a proporção em relação à área total da comissão, as comissões com maiores áreas de lacunas são as comissões de São José, Riacho e Taquaras, ambas no município de Esmeraldas. Assim como explicado anteriormente, essa alta proporção de áreas sem informações fundiárias é um reflexo do próprio processo de ocupação da região, principalmente nas áreas próximas ao rio Paraopeba. Com base no exposto é possível afirmar que a Região 3 possui um problema crônico de falta de informações fundiárias em todo seu território. Problemas atrelados à regularização fundiária são comuns em todo território brasileiro. Porém,

a inexistência dessa regularização pode afetar o acesso a políticas públicas e outros direitos, resultando em uma queda na qualidade de vida da população.

A Regularização Fundiária Rural é uma atribuição do Estado de Minas Gerais por meio da titulação definitiva dos posseiros, conforme Lei Estadual 11.020/93, e contribui para o reordenamento fundiário do Estado e traz inúmeros benefícios sociais, econômicos e ambientais para o município e produtores. Por meio da titulação, os beneficiários passam a ter acesso a políticas de crédito rural, principalmente na modalidade de investimento, o que proporciona melhorias na infraestrutura, aumentos na produção, na produtividade e na renda, trazendo, a geração de emprego e renda, bem como a permanência das famílias no campo, além de políticas de comercialização dos produtos agrícolas.

Tabela 5: Distribuição do número de áreas de lacunas e soma total das áreas com falta de informações fundiárias nas bases utilizadas para as comissões da Região 3.

COMISSÃO	NÚMERO DE POLÍGONOS	ÁREA TOTAL	PROPORÇÃO EM RELAÇÃO AO TOTAL
Papagaios	14	31,81	17,65%
Zona Rural	11	30,61	16,99%
Maravilhas	11	18,99	10,54%
Padre João, Vinhático e Bambus	16	17,22	9,56%
Riacho	5	16,62	9,22%
Valentim, Ribeirão do Ouro e Marinheiros	31	11,72	6,51%
Taquaras	13	10,55	5,86%
Quilombo da Pontinha	2	8,52	4,73%
Beira Córrego e Retiro dos Moreiras	9	8,04	4,46%
São José da Varginha	24	7,25	4,02%
Três Barras	9	4,64	2,57%
Pequi	7	2,86	1,59%
Cachoeirinha	9	2,49	1,38%
Córrego da Areia	8	2,12	1,18%
São José	9	2,00	1,11%
Vista Alegre	9	1,67	0,92%
Chacreamento Vargem Grande	7	1,26	0,70%
Córrego do Barro	6	0,72	0,40%
Chacreamento Paraopeba	3	0,59	0,33%
Muquém	3	0,51	0,28%
TOTAL	206	180,18	100%

Além da melhoria da produtividade, a regularização fundiária revela-se como elemento importante para o desenvolvimento sustentável que deve conciliar o uso produtivo da propriedade (geração de riqueza), promover a equidade social e assegurar a proteção do meio ambiente.

A regularização fundiária é ainda a solução de conflitos sociais, garantia do direito à terra e melhoria da qualidade de vida de produtores rurais, trazendo dignidade ao homem e a mulher do campo e promovendo a sua inclusão social. A falta de regularização é um fator gerador de conflitos entre os usuários. Segundo a Comissão Pastoral da Terra da Igreja Católica (CPT, 2018), em 2017 ocorreram no Brasil 1.431 conflitos no campo envolvendo 708.520 pessoas e 37.019.114 hectares de terra. Os conflitos ligados ao uso da terra e questões fundiárias são os mais numerosos e somaram 1.168. Parte desses conflitos originam violência contra a pessoa, especialmente contra camponeses e povos tradicionais.

Em Minas Gerais, a regularização fundiária rural é regulamentada pela Constituição Estadual no §6º do art. 247 estabelece que “quem tornar economicamente produtiva terra devoluta estadual e comprovar a vinculação pessoal a ela, até a área de duzentos e cinquenta hectares, tem o direito à Regularização Fundiária.”. A Lei Estadual nº 11.020/93 que dispõe sobre as terras públicas e devolutas estaduais, estabelece os parâmetros legais para a efetivação da regularização fundiária rural através da alienação gratuita ou por preferência a depender de critérios, principalmente do tamanho do imóvel. Conforme análise apresentada no banco de dados disponíveis, 76,87% dos imóveis da Região 3 são pequenas propriedades, não apenas passíveis de regularização, como uma responsabilidade do Estado em executar a referida política pública.

Atualmente, existem estratégias promovidas por estados e municípios para instrumentalizar o processo de regularização fundiária, a própria concepção do Plano Diretor Municipal pode direcionar a proposição de novas diretrizes para sua consolidação nos territórios. Os municípios são os principais executores da política pública em seus territórios, sobretudo através do Plano Diretor que são definidas as áreas urbanas e rurais da cidade. O Plano Diretor, conforme estabelecido no Estatuto da Cidade, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana.

A regularização fundiária urbana (Reurb) é também um importante instrumento na garantia de direitos sociais. Dentre os principais objetivos da Reurb, destacamos a garantia ao direito social à moradia digna, a efetivação da função social da propriedade e o ordenamento pleno do desenvolvimento das funções sociais da cidade e o bem-estar de seus habitantes.

A Lei Federal nº 13.465/2017 definiu três espécies de regularização fundiária: a. Regularização Fundiária de Interesse Social; Regularização Fundiária de Interesse Específico; e a Regularização Fundiária Inominada. A referida legislação também abrange os imóveis

urbanos localizados em áreas rurais, desde que a unidade imobiliária tenha área inferior à fração mínima de parcelamento prevista na Lei no 5.868, de 12 de dezembro de 1972.

Além das disposições contidas na Legislação Federal, em âmbito Estadual a regularização fundiária de imóveis devolutos urbanos está regulada pela Constituição do Estado em seu art. 246 e pela Lei Estadual 7373/78 que regulamenta o procedimento administrativo para legitimação e doação de Terras Devolutas Estaduais em zona urbana e de expansão urbana.

3.3 Uso e cobertura do solo a partir de dados secundários.

No campo científico, estudos diagnósticos cujo objetivo é compreender um fenômeno em específico ou situações desconhecidas, precisam, quase que obrigatoriamente, possuir uma primeira etapa exploratória. Etapas exploratórias possuem como objetivo central a caracterização do objeto de estudo e a obtenção de dados preliminares que possam ajudar a compreender a realidade, identificar lacunas de conhecimento e propor metodologias tangíveis para compreensão do contexto geral (CHOY, 2014). Além disso, esses tipos de pesquisa são excelentes fontes de informações para a construção de um olhar preliminar do assunto/problema, verificação do que já foi produzido anteriormente e a metodologia adotada. Esse tipo de informação reduz gastos e tempo com a produção, visto que possíveis fontes de erros são identificadas antes do início dos trabalhos (BOSLAUGH, 2007).

No contexto socioambiental, levantamentos de dados já produzidos por outros órgãos e equipes facilitam a compreensão mais holística do local investigado. Isso acontece, pois o meio ambiente, visto como algo complexo e integrado, é composto por múltiplos componentes que interagem entre si, dificultando a coleta de dados primários em todas as áreas do conhecimento por um longo período de tempo. Dessa forma, nas ciências ambientais, é comum que cada área do conhecimento produza dados primários apenas dentro da sua abrangência e depois relacione as informações obtidas com dados secundários de outras áreas do conhecimento (LITTEL et al., 2008).

Além disso, em casos em que se busca investigar o efeito de determinada ação sobre um recurso natural sem ser possível reproduzir a condição inicial, a utilização de dados secundários torna-se, praticamente, a única forma de avaliar os dados produzidos antes da ação, e dessa forma identificar o impacto real dessa ação. Assim, levantamentos de dados secundários se configuram como uma etapa fundamental para compreensão dos impactos do rompimento da

barragem I da Mina Córrego do Feijão dentro da Região 3, bem como podem subsidiar futuras tomadas de decisão frente à reparação dos danos socioambientais causados.

3.3.1 Dinâmica da alteração da cobertura vegetal e uso do solo na Região 3 (1985 a 2018)

Ao longo da história moderna têm-se observado que a expansão da ocupação humana no território se dá, principalmente, pela transformação do meio ambiente em busca de recursos naturais. No território brasileiro, de modo geral, o quadro não é diferente. No Brasil, a intensa alteração da paisagem, em consonância a interesses políticos e econômicos, partiu do litoral para o interior do território, utilizando os grandes rios como vias de acesso e exploração (SANTOS, 2001).

No contexto espacial da bacia do rio Paraopeba, a ocupação da bacia se iniciou no fim do século XVII com a construção de estradas e a ocupação de áreas por grupos de bandeirantes incentivados pela busca mineral (MINAS GERAIS, 1978; SCHVARTZMAN et al., 2002). Com a descoberta da existência de ouro na bacia, logo surgiram povoados mais densos nas regiões do alto e médio Paraopeba, cuja principal atividade era a mineração. Já no baixo Paraopeba, desenvolveram-se as rotas de comércio para apoio das outras regiões. Além disto, o terreno mais plano, associado às facilidades de escoamento dos rios São Francisco e Paraopeba, favoreceu o desenvolvimento de atividades agropecuárias e a consolidação de novos povoados (SCHVARTZMAN et al., 2002).

Diante do exposto, a detecção e avaliação das mudanças de uso e cobertura do solo ao longo do processo de ocupação da região podem proporcionar um melhor entendimento das interações entre os fenômenos naturais e humanos (BAKR et al., 2010). Esse tipo de avaliação tem sido usado como ferramentas no planejamento e tomada de decisões, em diversas esferas do conhecimento. Isso acontece pois esse tipo de estudo permite compreender melhor o conjunto de forças socioeconômicas e biofísicas que influenciam nas taxas de mudança no uso e ocupação do solo, permitindo ainda estimar possíveis impactos futuros diante diferentes problemáticas e cenários. (VERBURG et al., 2004).

Os impactos das alterações na cobertura e uso do solo sobre o ciclo hidrológico são observados desde o século XV (SHUKLA; MINTZ, 1982). Porém, foi só com o avanço das bacias hidrográficas experimentais que a relação entre a queda da cobertura vegetal e os efeitos

na qualidade e quantidade de água foram detectados (BOSCH; HEWLETT, 1982). Atualmente, pode-se afirmar, que as alterações do uso e cobertura do solo podem afetar diretamente, a interceptação da precipitação, e invariavelmente a erosão (BRUIJNZEEL, 1990), a capacidade de infiltração (TUCCI; CLARKE, 1997), a evapotranspiração (ZHANG et al., 2001), a vazão anual da bacia hidrográfica, e conseqüentemente a disponibilidade hídrica (ANDRÉASSIAN, 2004) e manutenção da qualidade hídrica e transporte de sedimentos (BRUIJNZEEL, 1990). Em todos os casos, a substituição da cobertura vegetal natural pode ainda afetar a manutenção da biodiversidade e relações ecológicas (FAHRIG et al., 2003; DEFRIES, et al., 2004), bem como a perda de serviços ecossistêmicos (SOARES-FILHO et al., 2012). Logo, compreender as taxas de alterações de uso e cobertura do solo na Região 3 pode ajudar a compreender os efeitos do rompimento sobre as taxas de mudança de uso e cobertura do solo e seus efeitos sobre os aspectos biofísicos e econômicos da Região.

A concepção de tal avaliação é um processo complexo, composto por diversas etapas preliminares de classificação de uso do solo e de custo operacional alto, considerando equipamentos e recursos humanos capacitados. Desta forma, optou-se nessa avaliação por usar os dados já produzidos pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil - Projeto MapBiomias (MAPBIOMAS, 2019) e disponibilizados ao público em sua plataforma online.

Esse projeto é uma iniciativa que envolve uma rede colaborativa com diversos especialistas em análise de biomas, usos da terra, sensoriamento remoto, Sistemas de Informações Geográficas - SIG e ciência da computação. As análises são realizadas com uso processamento computacional em nuvem e classificadores de uso e cobertura da terra automatizados, baseados em aprendizado de máquinas, desenvolvidos e operados a partir da plataforma Google Earth Engine para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil (SOUZA et al., 2020). Essa iniciativa surge da necessidade de se produzir mapas anuais de cobertura e uso do solo para todo o Brasil de forma significativamente mais barata, rápida e atualizada, para auxiliar a tomada de decisão e a produção de conhecimento científicos em diversas áreas do conhecimento.

Em sua última coleção publicada em agosto de 2020 (Coleção 5), a equipe do projeto mapeou o uso e cobertura do Brasil entre os anos de 1985 e 2019 com uma resolução espacial de 30 metros e uma acurácia global no nível um de avaliação igual a 91,2% e para o nível três de 87,7%, em ambos os casos esse acurácia na classificação é considerada ótima (PONTIUS;

MILLONES, 2011). Abaixo são apresentados os principais resultados obtidos ao recortarmos os dados de uso e cobertura do solo entre 1985 e 2018, para todo o perímetro da Região 3, bem como um tópico específico apresentando um comparativo entre 2018, antes do rompimento e 2019, após o rompimento, para toda Região 3 e para as áreas das comissões.

3.3.2 Principais resultados para a Região 3 (1985 a 2018).

A partir da leitura global dos mapas de uso e cobertura do solo para 1985 e 2018 (Figura 26), é possível identificar grandes mudanças, principalmente no que se refere ao crescimento das áreas de silvicultura no norte da região e as expansões dos perímetros urbanos municipais. Ao comparar apenas esses dois anos, pode-se observar que houve uma redução significativa na área ocupada por pastagens (Tabela 6).

No total, cerca de 12,8 mil hectares de pastagem foram convertidos em outros usos e coberturas do solo. Deve-se salientar que nesse tipo de classificação automática acontece um certo grau de confusão entre pastagem e vegetação nativa rasteira, comumente associada ao Cerrado, que, como vimos, é o bioma predominante na Região 3. Desta forma, se por um lado é interessante observar a diversificação das atividades produtivas na região, por outro é importante compreender que parte dessa redução está relacionada, na verdade, a algumas áreas de vegetação nativa, importantes para manutenção da biodiversidade e serviços ecossistêmicos.

Figura 26: Dinâmica de uso e cobertura do solo na Região 3 para os anos de 1985 e 2018.

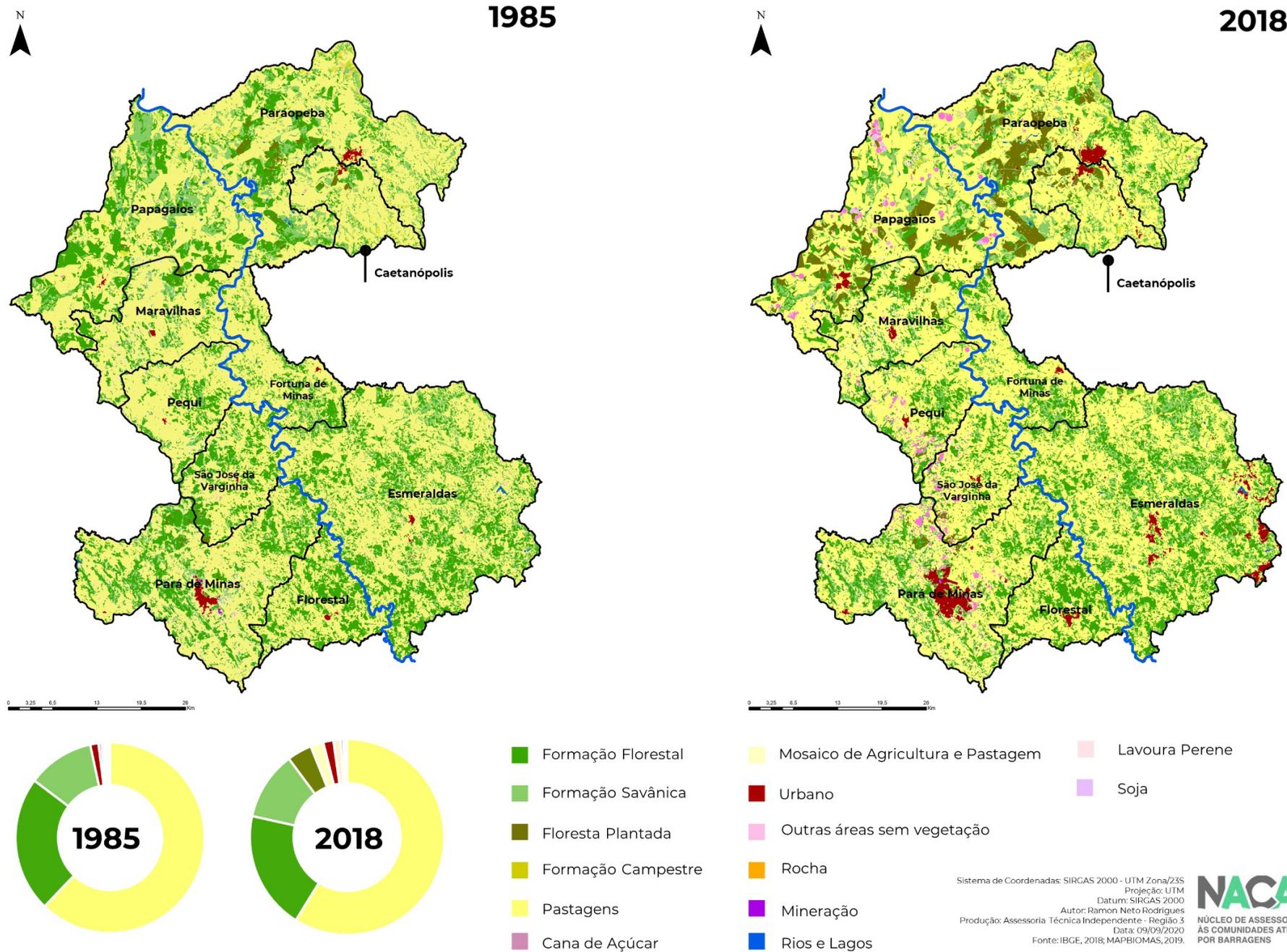


Tabela 6: Distribuição dos usos e coberturas do solo na Região 3 por classe para os anos de 1985 e 2018.

USO E COBERTURA DO SOLO	1985		2018		DIFERENÇA ENTRE 1985 E 2018 (HECTARES)
	HECTARES	%	HECTARES	%	
Pastagens	240057,39	62,19%	227175,29	58,85%	-12882,10
Formação Florestal	88938,52	23,04%	75656,41	19,60%	-13282,11
Formação Savânica	43964,58	11,39%	43718,96	11,33%	-245,62
Mosaico de Agricultura e Pastagens	5446,62	1,41%	8315,64	2,15%	2869,02
Floresta Plantada	2054,31	0,53%	15902,80	4,12%	13848,49
Formação Campestre	1884,48	0,49%	1607,26	0,42%	-277,22
Rio, Lagos e Oceano	1559,66	0,40%	1783,92	0,46%	224,26
Infraestrutura Urbana	1513,41	0,39%	6514,07	1,69%	5000,67
Outras áreas não vegetadas	482,17	0,12%	756,59	0,20%	274,41
Agricultura	70,67	0,02%	4553,92	1,18%	4483,25
Mineração	43,11	0,01%	28,80	0,01%	-14,31
Afloramento Rochoso	8,68	0,00%	9,77	0,00%	1,09
TOTAL GERAL	386023,59	100,000%	386023,42	100,000%	-

Além disso, pode-se observar que houve uma redução de 13,3 mil hectares de formações florestais naturais em toda a Região 3. Para o classificador automático utilizado pela equipe do MapBiomas, são consideradas formações florestais naturais áreas de floresta consolidada, comum na Mata Atlântica, nas áreas de transição entre esse bioma e o Cerrado, e no cerrado, fitofisionomia caracterizadas por árvores de médio e grande porte, rica em biodiversidade.

A redução e transformação de áreas de vegetação nativa em outros usos do solo são uma realidade em todo território nacional e tem provocado uma série de impactos aos ecossistemas, como a perda da biodiversidade e diminuição de serviços ecossistêmicos tão importantes como a regulação hídrica e a proteção do solo (IBAÑEZ et al., 2014; MACE, et al., 2012). Dados do próprio MapBiomas (2019) apontam que, entre 1985 e 2018, os usos e coberturas do solo naturais tiveram uma redução de aproximadamente 81,9 milhões de hectares. No estado de Minas Gerais, a redução dos usos e coberturas do solo naturais, incluindo as formações florestais, as formações savânicas e outras formações naturais, perderam cerca de 1,7 milhões de hectares, em sua maioria pela expansão das áreas de pastagem e agricultura.

O isolamento da vegetação remanescente, na maioria das vezes, por fragmentos dispersos em uma paisagem antropizada, constitui o principal fator de atenuação das ameaças a essas áreas (BARROS et al., 2019). O efeito de borda, gerado pelo contato destes fragmentos com as áreas limítrofes, provoca alterações no regime de luz e temperatura favorecendo a

invasão de espécies exóticas como as gramíneas utilizadas nas áreas de pasto, bem como lianas, que encontram condição favorável para seu desenvolvimento (CAMPBELL et al., 2018, MAGNAGO et al, 2015). Este processo gera grande pressão sobre as espécies naturais conduzindo ao aumento da competição entre espécies, bem como a morte de árvores mais sensíveis a essas alterações. Todo este processo acomete de forma mais intensa a estrutura de fragmentos pequenos, que com o tempo vão perdendo as árvores das bordas e diminuindo sua área total, deixando, muitas vezes, de ser aptos para o abrigo de espécies que exigem condições ambientais mais equilibradas (MATOS et al, 2017).

Outra consequência do desmatamento e isolamento dos fragmentos remanescentes é a redução de áreas para mobilidade dos animais, o que provoca a redução do fluxo gênico e a deriva genética tanto animal quanto vegetal, uma vez que a dispersão de sementes também é prejudicada. Segue ainda com a diminuição das populações isoladas, devido ao aumento da competição, bem como o aumento no risco de extinção das espécies mais vulneráveis (EMER et al, 2018, IBÁÑEZ et al., 2014, MARTINSON; FAGAN, 2014). A perda de áreas de floresta nativa pode afetar também a qualidade dos cursos d'água, uma vez que é retirada a vegetação que contribui no aumento da infiltração da água no solo e diminui os efeitos erosivos das enxurradas. Consequentemente, isso prejudica as atividades produtivas como a agropecuária e a pesca. No contexto atual da Região 3, a perda de áreas nativas nas sub-bacias dos afluentes do rio Paraopeba pode afetar a qualidade da água bem como o processo de depuração das águas do rio Paraopeba, atrasando, portanto, o processo de recuperação ambiental da região.

Observando os dados de transição entre 1985 e 2018, observa-se que maior parte da vegetação nativa foi transformada em áreas de pastagens e áreas de silvicultura. Não é possível afirmar, sem a construção de modelos preditivos, a continuidade da expansão das áreas de agropecuária e pastagens sobre as regiões de floresta nativa. De qualquer forma, deve-se pensar em modelos de produção mais sustentáveis, a adoção de políticas públicas e tecnologias capazes de fomentar a multifuncionalidade da paisagem de modo a garantir que os serviços ecossistêmicos promovidos pela vegetação nativa sejam garantidos sem afetar a produtividade. Outras estratégias, podem ser a adoção de modelos produtivos voltados ao extrativismo e beneficiamento de matérias-primas oriundo das áreas nativas, como forma de diversificação na renda.

Como citado anteriormente, é possível observar um ganho significativo na área ocupada por florestas plantadas na Região 3 entre 1985 e 2018 (13,8 mil hectares). O aumento dessa

classe de uso e cobertura do solo ocorreu, em sua maioria, nos municípios de Paraopeba e Papagaios (Tabela 7).

O avanço da silvicultura baseada no plantio de eucalipto para produção de carvão vegetal e celulose, no interior de Minas Gerais, não é um processo restrito à Região 3 ou à bacia do Rio Paraopeba. Estudos recentes apontam que desde 1961, quando se iniciaram os registros sistemáticos da exportação brasileira de celulose, os números têm ampliado continuamente, saindo de 3,3 mil toneladas em 1961 para 890,5 mil toneladas em 1980, 5,55 milhões de toneladas em 2005 e 14,75 milhões em 2019 (COMEXSTAT, 2019; IBÁ, 2019).

Tabela 7: Variação das áreas de floresta plantada para os municípios da Região 3, entre 1985 a 2018.

MUNICÍPIOS	1985	1995	2005	2015	2018	INCREMENTO EM RELAÇÃO A 1985
Caetanópolis	249,50	303,15	387,65	995,40	1045,92	319,21%
Esmeraldas	29,42	45,03	41,40	274,74	319,17	984,87%
Florestal	5,39	6,23	12,46	97,09	120,84	2141,93%
Fortuna de Minas	0,00	0,00	21,53	70,57	71,84	-
Maravilhas	45,93	64,92	319,71	954,32	992,39	2060,66%
Papagaios	268,46	1136,39	1733,85	5462,30	5616,84	1992,24%
Pará de Minas	205,73	131,00	351,03	622,81	717,50	248,76%
Paraopeba	1082,80	3034,34	4280,58	6332,70	6516,68	501,84%
Pequi	2,28	2,19	7,50	162,74	169,57	7337,28%
São José da Varginha	164,81	219,91	190,84	250,50	332,06	101,48%
TOTAL	2054,32	4943,16	7346,55	15223,17	15902,81	674,12%

Como Fortuna de Minas não tinha nenhuma área de floresta plantada em 1985 não foi possível calcular o incremento global.

Apesar de sua grande expansão no processo de diversificação econômica regional, a silvicultura em seus moldes mais tradicionais pode gerar uma série de impactos socioambientais, principalmente em regiões de Cerrado, onde as relações ecológicas coexistem a uma vegetação mais rasteira com características distintas das florestas semidecíduais, comuns na Mata Atlântica (VITAL, et al., 2007). Isso acontece, pois, a biodiversidade local não está adaptada às características biofísicas existentes nesses ecossistemas (GIOVANELLI, 2009; GARDNER, et al. 2008). Em alguns casos, principalmente para espécies de cerrado, os monocultivos podem servir como barreiras naturais para a dispersão, fragmentando o habitat e

diminuindo a conectividade global da paisagem (BENTO, 2013; DE PAULA, 2016), o que não necessariamente ocorre da mesma forma para espécies da Mata Atlântica (DA ROCHA, et al., 2013).

No que se refere às questões hidrológicas, estudos apontam que árvores de crescimento rápido podem alterar a disponibilidade hídrica de pequenas bacias hidrográficas e, se associadas a retiradas expressivas de água subterrânea, podem causar um desequilíbrio hídrico regional, além de aumentar na perda de sedimentos e nutrientes do solo (SOARES, et al., 2001; GUIMARÃES; OLIVEIRA; GONÇALVES, 2010) levando à diminuição da qualidade do habitat para espécies nativas e dos afluentes do rio Paraopeba, que recebem essa carga de material sedimentar.

O aumento expressivo das áreas urbanas dentro da Região 3, nesses últimos 30 anos, especialmente nos municípios de Pará de Minas, Papagaios e Esmeraldas também foi observado. Neste último caso, além da expansão do próprio centro urbano, é possível observar o avanço das infraestruturas urbanas da Região Metropolitana de Belo Horizonte, principalmente do município de Ribeirão das Neves, situado ao sudeste de Esmeraldas (Tabela 8). No total, foi identificado um aumento aproximado de 5 mil hectares de infraestruturas urbanas no território, a maior parte (3,1 mil hectares) originado da transformação de áreas de pastagens.

Outro fato interessante que pode ser observado é que houve uma diversificação produtiva na Região 3, saindo de um modelo econômico focado nas grandes áreas de pastagem, para um modelo mais integrado às áreas de agricultura. No total observou-se um aumento de 7,35 mil hectares nas áreas de agricultura somadas as áreas definidas como mosaicos de agricultura e pastagens. Esse processo de diversificação econômica da zona rural brasileira já vem sendo relatado e observado por outros estudos (TEIXEIRA; RIBEIRO, 2020; MENDES; PADILHA JÚNIOR, 2007). Para estes autores, isto pode estar relacionado às políticas públicas de apoio aos agricultores familiares, como Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF; BRASIL, 1996) e o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA; BRASIL, 2014) e o acesso a fontes de financiamento para adoção de tecnologias, instabilidades do mercado pecuário, aspectos ambientais e climáticos (KASSAM; FRIEDRICH, 2012), busca pela segurança alimentar (UZEDA, et al., 2017), o desgaste e exaustão do solo (MODENESE; SANT'ANA, 2019; DUTRA et al., 2016). Além de ser uma alternativa que possibilita o aumento na variedade e na quantidade de produtos ofertados ao consumidor.

Tabela 8: Variação das áreas de infraestruturas urbanas para os municípios da Região 3, entre 1985 a 2018.

MUNICÍPIOS	1985	1995	2005	2015	2018	INCREMENTO EM RELAÇÃO A 1985
Caetanópolis	103,42	196,88	243,76	387,55	424,22	310,19%
Esmeraldas	151,41	472,07	1160,68	1837,72	2010,87	1228,09%
Florestal	81,33	120,06	150,12	247,20	255,28	213,88%
Fortuna de Minas	32,82	44,29	53,82	77,28	84,11	156,27%
Maravilhas	62,45	104,05	116,79	154,09	166,75	167,01%
Papagaios	55,80	193,24	281,04	349,76	364,03	552,38%
Pará de minas	662,98	1281,43	1644,22	2155,31	2265,03	241,64%
Paraopeba	315,21	579,47	623,33	732,18	759,48	140,94%
Pequi	30,53	59,11	80,87	93,10	94,53	209,63%
São José da Varginha	17,45	37,76	44,76	78,64	89,77	414,44%
TOTAL	1513,4	3088,36	4399,39	6112,83	6514,07	330,42%

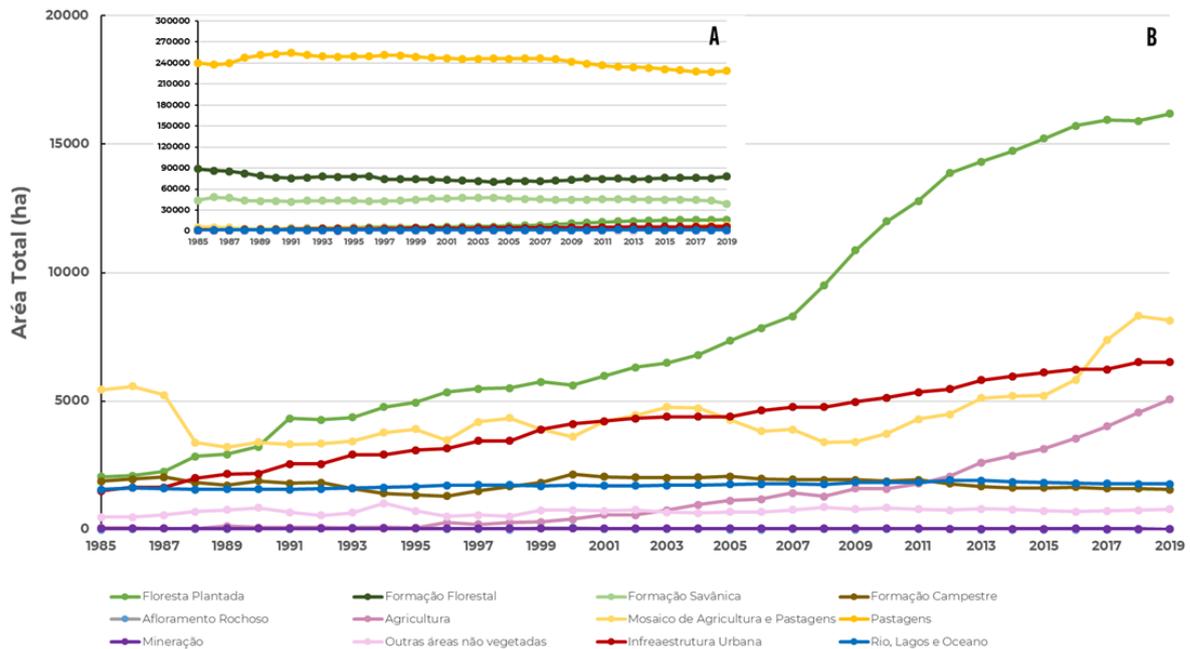
Desta forma, observa-se que a Região 3 tem caminhado em direção aos conceitos modernos de paisagens agrícolas multifuncionais, lançado na Agenda 21, construída em decorrência da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (RIO, 1992), atualizado e analisado por outra dezena de especialistas da área (FRY, 2001; O'FARREL; ANDERSON, 2010). Esse modelo surge como uma solução mais sustentável para o uso da paisagem. Incrementar multifuncionalidade a uma mesma propriedade diminui os riscos produtivos, melhora as características físico químicas do solo e, indiretamente, melhora a qualidade de vida das populações.

Alguns estudos, por exemplo, têm associado a diversificação de culturas agrícolas a menores índices de pobreza (MICHLER; JOSEPHSON, 2017) e melhoria na segurança alimentar, quando consideramos os riscos associados à atividade agropecuária (WAHA et al., 2018).

Avaliando o processo de transformação do uso e cobertura do solo ao longo de todo o período considerado pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil - MapBiomias (Figura 27a), visualmente as mudanças não parecem significativas. Isso acontece pois como trabalhamos com uma escala de território grande, as alterações mesmo que pequenas

visualmente representam milhares de hectares. Desta forma, de modo a visualizarmos a riqueza dos dados completos, o gráfico da dinâmica de uso e cobertura do solo para a Região 3 foi dividido em duas escalas. A primeira, representada pela letra A, apresenta as mudanças de uso e ocupação do solo em uma escala gráfica de 0 até 300 mil hectares e a segunda em uma escala gráfica de 0 a 20 mil hectares.

Figura 27: Dinâmica do uso e cobertura do solo para a Região 3, entre 1985 e 2018.



A: Áreas dos usos e ocupação do solo com escala entre 0 até 300 mil hectares. B: Áreas dos usos e ocupação do solo com escala entre 0 e 20 mil hectares.

Desta forma é possível observar visualmente as variações nas áreas de outras classes de solo, para além das mais representativas do território. Primeiramente, observando a Figura 27a, é possível observar que os grandes incrementos das pastagens ocorreram no final da década de 1980 e início da década de 1990. Segundo especialistas, esse incremento das áreas de pastagens pode estar relacionado a vários aspectos. Para Frederico (2013), parte significativa do aumento da área e da quantidade produzida ocorreu devido à expansão da fronteira agrícola moderna, iniciada a década de 1960, associadas às áreas de Cerrado, que por sua vez, está correlacionada às condições fisiográficas, como clima e a topografia, favoráveis (CARVALHO, et al. 2008). Para ele, essa expansão agrícola também pode estar relacionada à política governamental deliberada de ocupação da região central e norte do estado de Minas Gerais durante a década de 1970, cuja as terras ainda eram relativamente mais baratas que o sul do estado.

Outro aspecto que pode ter alterado a dinâmica de uso e ocupação do solo no início da década de 90 foi o incremento das tecnologias e a importação de raças de bovinos mais adaptadas a relevos declivosos, comum na porção sul da Região 3 (TEIXEIRA; HESPANHOL, 2014; SILVA, et al. 2013). Campos e de Paula (2002) ainda pontua que no início da década de 90, a desvalorização da moeda aliada às melhorias nas técnicas de produção e estruturação da cadeia produtiva, alavancou a participação do Brasil no mercado mundial, o que pode ter incentivado a conversão de áreas improdutivas em áreas para a pecuária de corte.

Porém, após esse crescimento substancial entre as décadas de 80 e 90, pode-se observar um grande período de estabilidade. Para alguns especialistas, a estabilização das áreas de pastagem no início da década de 90 pode estar relacionada à consolidação da fronteira agrícola no estado e ao aumento da produtividade por área, devido a melhorias das técnicas de criação. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2018), a produtividade da pecuária brasileira (cabeças/ha) quase dobrou entre 1990 e 2015, saindo de 0,8 cabeças/ha em 1990 para 1,5 cabeças/ha em 2015. Além disso, o IPEA (2018) aponta que a redução das áreas de pastagem no bioma Cerrado, a partir de 2010, pode estar correlacionada a intensa substituição das pastagens em detrimento do avanço do cultivo mecanizado em larga escala, como o da soja, milho e cana-de-açúcar, que tem empurrado a produção pecuária para bordo do bioma Amazônia, onde o custo da terra ainda é mais barato.

Por fim, Barreto e Araújo (2012) discutem que a substituição das áreas de pastagem pelas áreas agrícolas na última década pode estar associada ao aumento da fiscalização do poder público associada à pressão da sociedade, como a moratória da soja e a responsabilização da cadeia produtora de carnes na regularização ambiental das propriedades, que foram essenciais para redução das taxas de conversão de novas áreas nativas em pastagens.

Em uma escala menor (0 e 20 mil hectares), observa-se principalmente a ampliação das áreas de floresta plantada, principalmente entre os anos de 2007 e 2013, com a consolidação das áreas da Vallourec Florestal, sediada em Curvelo, nos municípios do norte da Região 3. Assim como descrito anteriormente, observa-se também o processo instável, mas crescente, da diversificação produtiva da Região 3, com a diminuição das áreas de pastagem e incremento dos mosaicos produtivos e o incremento significativo das áreas de agricultura. Como dito anteriormente, a diversificação produtiva e a adoção de conceitos associados à multifuncionalidade das pastagens tendem a produzir paisagens mais sustentáveis, além de minimizar os riscos associados às produções agrícolas.

Não é possível identificar na Figura 27, nenhum período de expansão urbana intensa. Observa-se um crescimento constante com poucos anos de estabilidade, que como dito anteriormente, pode estar associada ao crescimento natural das cidades, incluindo o crescimento da própria zona metropolitana de Belo Horizonte, e ao aumento das áreas de chaceamento com a migração de sítiantes para as regiões mais próximas ao rio Paraopeba em busca de lazer.

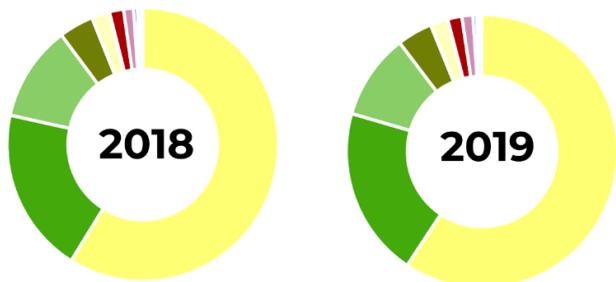
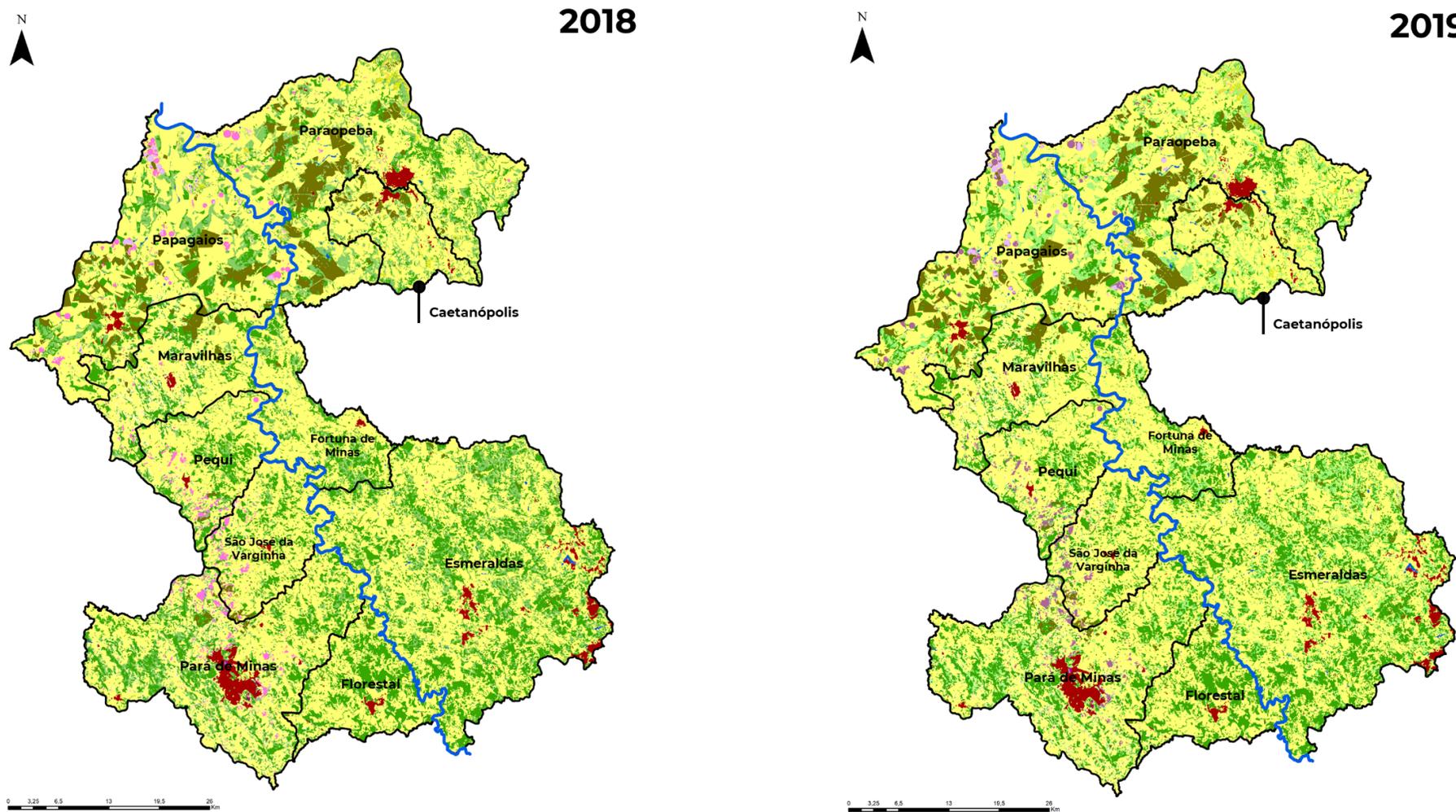
3.3.3 Principais resultados para a Região 3 (2018 a 2019): Antes e após o rompimento

Ao realizar uma leitura visual nos mapas de uso e cobertura do solo, recortados a partir dos dados produzidos pelo Projeto MapBiomas (2019), não é possível identificar alterações de uso e cobertura do solo na Região 3 em relação ao ano de 2018 (Figura 28). Deve-se ressaltar que nessa resolução espacial (30 x 30 metros), não é possível observar alterações visuais na cor do rio Paraopeba, e, portanto, possíveis confusões com outro tipo de solo, precisam ser visualizadas caso a caso.

Fazendo uma leitura visual na área de distribuição do rio Paraopeba, também não foi possível identificar mudanças relacionadas ao rompimento, como possíveis áreas de inundação. Isso acontece, pois não foram registradas inundações significativas nesse ano. As inundações na Região 3 só ocorreram no início de 2020 e, portanto, sem um mapeamento de uso da terra consolidado.

Porém, apesar de não ser claro visualmente as diferenças em todo o território entre os dois anos de análise, ao contabilizar o quantitativo de área, podemos observar que houveram algumas mudanças consideráveis (Tabela 9). A primeira refere-se a uma grande diminuição das áreas compostas por formações savânicas, típicas do Cerrado. Essa diminuição pode estar correlacionada, a um erro da classificação automatizada, visto que as diferentes fitofisionomias podem ser confundidas com as áreas de formação florestal, como é o caso do Cerradão, e o Cerrado *Stricto Sensu* com as áreas de pastagem, o que explicaria o aumento dessas áreas em 2019.

Figura 28: Dinâmica de uso e cobertura do solo na Região 3 para os anos de 2018 e 2019.



- Formação Florestal
- Formação Savânica
- Floresta Plantada
- Formação Campestre
- Pastagens
- Cana de Açúcar
- Mosaico de Agricultura e Pastagem
- Urbano
- Outras áreas sem vegetação
- Rocha
- Mineração
- Rios e Lagos
- Lavoura Perene
- Soja

Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000 - UTM Zona/23S
 Projeção: UTM
 Datum: SIRGAS 2000
 Autor: Ramon Neto Rodrigues
 Produção: Assessoria Técnica Independente - Região 3
 Data: 09/09/2020
 Fonte: IBGE, 2018, MAPEIOMAS, 2019.

NACAB
 NÚCLEO DE ACESSORIA
 ÀS COMUNIDADES ATINGIDAS
 POR BARRAGENS

Tabela 9: Distribuição das áreas em hectares por classe de uso e ocupação do solo para os limites territoriais da Região 3.

USO E COBERTURA DO SOLO	2018		2019		DIFERENÇA ENTRE 2018 E 2019 (HECTARES)
	HECTARES	%	HECTARES	%	
Pastagens	227175,29	58,85%	228994,42	59,32%	1819,12
Formação Florestal	75656,41	19,60%	77778,21	20,15%	2121,80
Formação Savânica	43718,96	11,33%	39164,14	10,15%	-4554,81
Floresta Plantada	15902,80	4,12%	16182,93	4,19%	280,13
Mosaico de Agricultura e Pastagens	8315,64	2,15%	8139,96	2,11%	-175,68
Infraestrutura Urbana	6514,07	1,69%	6514,66	1,69%	0,59
Agricultura	4553,92	1,18%	5071,70	1,31%	517,78
Rio, Lagos e Oceano	1783,92	0,46%	1770,67	0,46%	-13,25
Formação Campestre	1607,26	0,42%	1568,28	0,41%	-38,98
Outras áreas não vegetadas	756,59	0,20%	800,38	0,21%	43,80
Mineração	28,80	0,01%	24,17	0,01%	-4,63
Afloramento Rochoso	9,77	0,00%	14,07	0,00%	4,30
TOTAL GERAL	386023,42	100,000%	386023,59	100,000%	-

Ainda observando os dados de área contabilizados, é possível afirmar que a tendência de crescimento observada, entre 1985 e 2018, para as Florestas Plantadas e Agricultura, se manteve entre os anos de 2018 e 2019. Houveram aumentos significativos em ambas as áreas, o que reforça a proposição apresentada anteriormente de que a Região 3 tem passado por um processo de diversificação agrícola.

Apesar dos dados para todo o território ajudarem a compreender algumas características econômicas da Região 3, não é possível identificar possíveis efeitos do rompimento apenas olhando nessa escala. Desta forma, optou-se por fazer uma análise restrita aos limites das comissões (Figura 29; Tabela 10). Deve-se ressaltar que como os limites das comissões, para esse momento emergencial e considerando o contexto de pandemia, foram feitos na maioria dos casos de forma remota, os valores podem alterar com a validação desses limites diretamente com os atingidos.

Com exceção da redução das áreas de formação florestal, que foi observada para o território como um todo, as principais modificações referem-se ao incremento das áreas de soja entre 2018 e 2019. Pequenas variações das outras classes devem estar mais relacionadas a problemas de classificação de uma mudança específica.

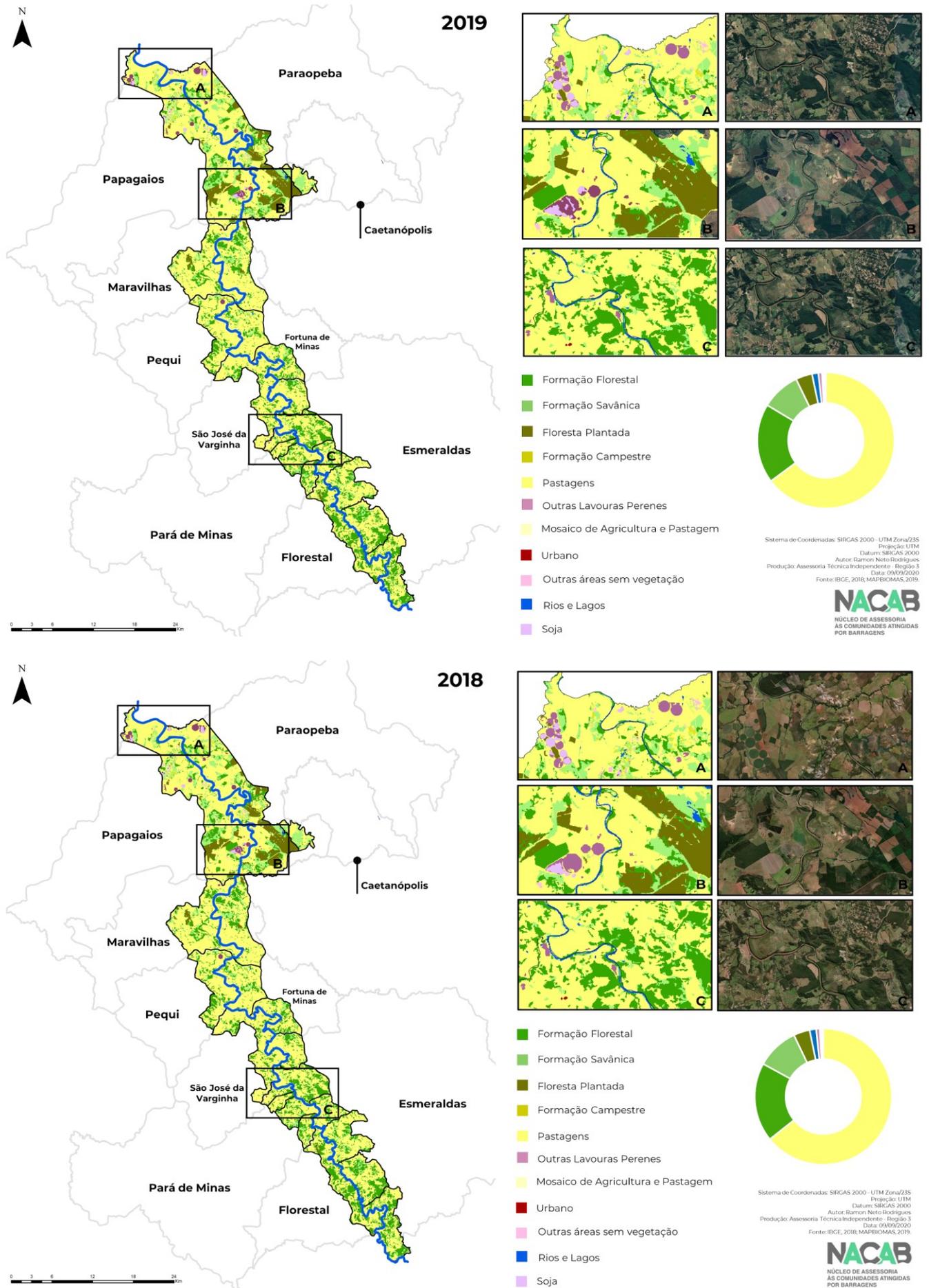
Tabela 10: Distribuição das áreas em hectares por classe de uso e ocupação do solo para os limites das comunidades que formam as comissões da Região 3.

USO E COBERTURA DO SOLO	2018		2019		DIFERENÇA ENTRE 2018 E 2019 (HECTARES)
	HECTARES	%	HECTARES	%	
Pastagens	50665,6253	64,23%	51085,2608	64,81%	419,64
Formação Florestal	14785,9579	18,74%	14874,1434	18,87%	88,19
Formação Savânica	7874,9159	9,98%	7240,0594	9,18%	-634,86
Floresta Plantada	3020,4379	3,83%	3060,2667	3,88%	39,83
Rio, Lagos e Oceano	1212,0083	1,54%	1179,6986	1,50%	-32,31
Outras Lavouras Temporárias	691,9946	0,88%	679,7562	0,86%	-12,24
Formação Campestre	275,6954	0,35%	256,877	0,33%	-18,82
Outras áreas não vegetadas	200,8141	0,25%	198,1999	0,25%	-2,61
Soja	97,0997	0,12%	201,5428	0,26%	104,44
Mosaico de Agricultura e Pastagens	46,3874	0,06%	45,3054	0,06%	-1,08
Infraestrutura Urbana	9,3284	0,01%	7,9174	0,01%	-1,41
TOTAL GERAL	78880,26	100,000%	78880,26	100,000%	-

O incremento das áreas de soja pode estar relacionado aos efeitos do processo, também identificado para todo território, de substituição das áreas de pastagens por áreas agrícolas, devido aos potenciais climáticos e topográficos do Cerrado para o trabalho com máquinas. Com a resolução espacial oferecida pelos mapas do Projeto MapBiomass não foi possível identificar mudanças decorrentes diretamente da proibição de uso das águas do rio Paraopeba. Isso acontece, pois, esse tipo de alteração é esperada, principalmente, para pequenos proprietários rurais que não possuem capital para investimento em outras fontes de água, como a perfuração de poços, e pequenas áreas de plantio não são identificadas com facilidade quando trabalhamos nesse nível de detalhe.

De qualquer forma, comparando os usos e ocupação do solo das áreas das comissões com o total, observa-se que a proporção de áreas de pastagens dentro das comissões (~64%), é superior a proporção encontrada para todo o território (~58%), o que pode indicar um maior potencialidade para esse tipo de atividade próximo ao rio Paraopeba, devido aos relevos mais planos e a presença de áreas de várzea, muito utilizada como pastagens por causa da fertilidade natural.

Figura 29: Mapa de uso e ocupação do solo de 2018 e 2019 para os limites das comunidades que formam as comissões da Região 3.



Em relação às áreas de mosaico de agricultura e pastagem, que apesar de serem relativamente comuns no território, não foi possível observar grandes áreas desta classe dentro dos limites das comissões. Explicações plausíveis para esse efeito é a presença de grandes produtores rurais no norte da Região 3, cujas áreas produtivas são bem definidas.

Por fim, pensando nas Áreas de Preservação Permanente - APP, definidas pelo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), era esperado uma maior proporção de áreas naturais dentro dos limites das comissões do que fora, devido à proximidade com o rio. Por lei, um rio com a largura do Paraopeba, entre 50 e 100 metros, deveria ter, por definição, uma Área de Preservação Permanente de 100 metros a contar do seu leito regular.

A exigência de recomposição da vegetação das APPs pode variar de propriedade a propriedade, conforme o proprietário comprove a existência de áreas que se enquadram no conceito de área rural consolidada, no local das APPs. Este conceito, atribuído, a grosso modo, às áreas desmatadas para uso antrópico, representa um marco temporal na legislação ambiental e foi inaugurado pelo novo Código Florestal, no qual é caracterizado como sendo a “área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio” (BRASIL, 2012a, art. 3º, IV).

A instituição de um novo regime sobre áreas ecologicamente tão importantes gerou muita polêmica na época e foi vista pela maioria dos órgãos ambientais e instituições que atuam em defesa do meio ambiente como uma forma arbitrária de regularizar os passivos ambientais advindos do desmatamento ilegal de APPs, bem como a ocupação humana nessas áreas, gerando de tal forma impunidade aos que não tinham mais a obrigação de recuperar os passivos (SOS FLORESTAS, 2011, p. 13). Essa alteração na lei gerou um tratamento diferenciado entre as APPs localizadas em áreas não consolidadas e consolidadas, sendo esta última orientada pelo artigo 61-A ao 64 da lei. Sendo assim, a área de recomposição obrigatória para essas propriedades irá variar conforme a área total da propriedade em módulos fiscais, que é uma unidade de medida agrária usada no Brasil, expressa em hectares e que varia por município.

Como ainda há lacunas espaciais a serem levantadas para finalizar o banco de dados fundiário com todos os limites das propriedades da Região 3, não é possível, neste momento, estimar o passivo de cobertura vegetal das APPs da região, conforme o que preconiza a Lei. Ainda assim, é imprescindível reconhecer o papel ecológico fundamental destas áreas na proteção dos recursos hídricos, atuando na proteção das margens, controlando os processos erosivos e o assoreamento dos cursos d'água; regulando a entrada de matéria orgânica que

mantém os processos ecossistêmicos aquáticos (CASOTTI et al., 2015, WANG et al., 2018); atuando como corredores da vida silvestre, facilitando a permeabilidade das espécies na paisagem e promovendo o fluxo gênico (PAOLINO et al., 2018); regulando a disponibilidade hídrica, capturando carbono do ar (GARRASTAZÚ et al, 2015) e atuando como elemento fundamental na preservação da biodiversidade em paisagens antropizadas (LIND et al., 2019). Dito isso, a pequena quantidade de áreas de vegetação nativa detectada dentro dos limites das comissões gera preocupação e pode afetar diretamente o processo de recuperação do rio Paraopeba afetado pós rompimento.

4. Considerações Finais

A partir das análises realizadas foi possível apresentar a diversidade de características físicas, fundiárias e de uso e cobertura do solo que caracterizam a Região 3. A sistematização destas informações constitui uma importante etapa de descrição das particularidades socioambientais do território, que ajudarão a orientar outros estudos e ações da ATIR3, bem como o processo de reparação integral dos danos. Ficou evidente que no contexto das áreas afetadas pelo rompimento, a Região 3 possui grande representatividade territorial, uma vez que reúne o maior número de municípios atingidos e abrange 55% da calha afetada. A sistematização destas informações constitui uma importante etapa de descrição da Região 3, que ajudarão a orientar outros estudos e ações da ATIR3.

A respeito da ocupação do território, esta se evidencia com uma clara diferença entre a parte Norte, que concentra menor número de edificações, propriedades de médio a grande porte e menor adensamento populacional, enquanto na parte Sul estão concentradas as pequenas propriedades rurais situadas em aglomerados e chacareamentos de alta densidade populacional, associados às atividades de lazer, principalmente a pesca, e a proximidade à Região Metropolitana de Belo Horizonte.

Pode-se observar grandes mudanças na dinâmica do uso e cobertura do solo na Região 3 entre 1985 e 2019. Entre as principais mudanças observadas pode-se identificar a grande expansão dos centros urbanos, principalmente no município de Pará de Minas, a expansão dos monocultivos de eucalipto principalmente dentro do Município de Paraopeba, onde áreas próximas à comunidade Quilombola da Pontinha (vide o conflito territorial na Comunidade Quilombola da Pontinha no Capítulo 3). Ainda observou-se uma transição de muitas áreas de vegetação nativa, seja formações florestais e savânicas, principalmente na década de 90, em pastagens e mais recentemente uma diversificação dos meios produtivos devido à transição dessas áreas de pastagens consolidadas para áreas de agricultura, incluindo os mosaicos, onde houve a integração da produção agrícola à pecuária.

Não é possível afirmar, sem a construção de modelos preditivos, a continuidade da expansão das áreas de agropecuária e pastagens sobre as regiões de floresta nativa. De qualquer forma, deve-se pensar em modelos de produção mais sustentáveis, a adoção de políticas públicas e tecnologias capazes de fomentar a multifuncionalidade da paisagem de modo a garantir que os serviços ecossistêmicos promovidos pela vegetação nativa sejam garantidos sem afetar a produtividade. Outras estratégias, podem ser a adoção de modelos produtivos voltados ao extrativismo e beneficiamento de matérias-primas oriundo das áreas nativas, como forma de diversificação na renda.

Com a resolução espacial de 30 metros, não é possível identificar de forma clara as mudanças decorrentes diretamente da proibição do uso das águas do rio Paraopeba. Para a equipe do NACAB/ATIR3, isso pode ter ocorrido, pois, essas mudanças ocorreriam principalmente em pequenas áreas associadas a pequenas propriedades e proprietários que não possuem capital para investimento em outras fontes de água, como a perfuração de poços, e nesta resolução espacial, pequenas áreas de plantio não são identificadas com facilidade.

Por fim, era esperado encontrar uma proporção maior de áreas de vegetação nativa dentro das áreas das comunidades/comissões da Região 3, devido a proximidade ao rio Paraopeba e as exigências legais para consolidação de áreas de preservação permanentes em cursos d'água desse porte. Porém, o que se observou foi uma proporção menor de vegetação nativa dentro dos limites das comissões do que quando se considera todo o território. Esse resultado gera preocupações e pode afetar diretamente o processo de recuperação do rio Paraopeba.

5. Referências Bibliográficas

AGÊNCIA MINAS. Rio Paraopeba será monitorado por plano diretor inédito no país. 19 dezembro 2019. Disponível em: <http://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/rio-paraopeba-sera-monitorado-por-plano-diretor-inedito-no-pais>. Acesso em: 21/11/2020.

ANTUNES, M.A.H.; DEBIASI, P.; SIQUEIRA, J.C. dos S. Avaliação espectral e geométrica das imagens RapidEye e seu potencial para o mapeamento e monitoramento agrícola e ambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.66, p.101-113, 2014.

ANDRÉASSIAN, V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, v. 291, n.1-2, p. 1–27. 2004. Disponível em: doi:10.1016/j.jhydrol.2003.12.015. Acesso em: 13/11/2020.

BAPTISTA, M.B.; BRAUN, O.P.G; CAMPOS, D.A. **Léxico Estratigráfico do Brasil**. Brasília: CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, Convênio DNPM/ CPRM. 1984. 541p.

BARROS, F. M. et al. Matrix type and landscape attributes modulate avian taxonomic and functional spillover across habitat boundaries in the Brazilian Atlantic Forest. **Oikos**, v. 128, n. 11, p. 1600–1612, 2019.

BAKR, N.; WEINDORF, D. C.; BAHNASSY, M. H.; MAREIB, S. M.; & ELBADAWI, M. M. Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using multitemporal Landsat data. **Climate Change and Applied Geography**, v. 30, p. 592-605, ISSN: 01436228, dez. 2010

BARRETO, P.; ARAÚJO, E. O Brasil atingirá a sua meta de redução do desmatamento ? Belém: Imazon, 2012. 51 p.

BENTO, L. F. A. R. A. Área de vida e territorialidade do lobo-guará (*Chrysocyon Brachyurus illiger*, 1811) no Parque Nacional da Serra do Canastra, Minas Gerais, Brasil. [Dissertação de Mestrado]. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2013.

BOSCH, J. M. ; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v. 55, n.1-4, p. 3–23. 1982. Disponível em: doi:10.1016/0022-1694(82)90117-2. Acesso em: 12/11/2020.

BOSLAUGH, S. Secondary data sources for public health: a practical guide. 1st ed. Cambridge University Press, 2007.

BRASIL. Decreto nº 1.946, de 28 de junho de 1996. Cria o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar - PRONAF, e dá outras providências. Diário Oficial da União - Seção 1 - 1/7/1996, Página 11854.

_____. Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome. (2014). Programa de Aquisição de Alimentos – PAA. Recuperado em 13 de junho de 2017, de http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/seguranca_alimentar/manualPAA.pdf.

_____. Lei nº 12.651 de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, Publicado no DOU em 28 de maio de 2012.

BRUIJNZEEL, L.A. Hydrology of most tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review. Amsterdam: UNESCO Humid Tropics Programme. 1990. 244p.

CAMPBELL, M. J. et al. Edge disturbance drives liana abundance increase and alteration of liana–host tree interactions in tropical forest fragments. **Ecology and Evolution**, v. 8, n. 8, p. 4237–4251, 2018

CAMPOS, A. C. PAULA, N. A evolução da agropecuária brasileira nos anos 90. **Indic. Econ. FEE**, Porto Alegre, v. 29, n.4, p. 177 - 199, fev. 2002.

CARVALHO, T. M.; FERREIRA, M. E.; BAYER, M. Análise integrada do uso da terra e geomorfologia do bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife - PE. V. 01 n. 01, p. 62-72, Mai/Ago, 2008.

CASOTTI, C. G. et al. Assessing the importance of riparian zones conservation for leaf decomposition in streams. **Natureza e Conservacao**, v. 13, n. 2, p. 178–182, 2015.

CASTRO, E. J. M.; MACEDO, A. O.; SILVA, A. L. R.; TALHARI, T. F.; BEZERRA, D. S.;BRITO, F. S. Uso de geotecnologias para gestão de recursos naturais: caso do macrozoneamento ecológico econômico do Maranhão. **Revista Ceuma Perspectivas**, Edição Especial, v. 30, n. 1, p. 49 – 58, 2019.

CHOY, L. T. Page The Strengths and Weaknesses of Research Methodology: Comparison and Complimentary between Qualitative and Quantitative Approaches. **Journal Of Humanities And Social Science**, v. 19, n. 4 (3), p. 99 – 104. 2014.

COMEXSTAT. Dados estatísticos do comércio exterior Brasileiro. Base de dados pública. 2019. Governo Federal. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: 13/11/2020.

COMISSÃO PASTORAL DA TERRA - CPT. Conflitos no Campo Brasil. Centro de Documentação Dom Tomás Balduino – CPT. Goiânia - GO. 247p. Disponível em: <https://www.cptnacional.org.br/publicacoes-2/destaque/4687-conflitos-no-campo-brasil-2018> Acesso em: 13/11/2020.

COSTA, E. M.; ANTUNES M.A.H.; DEBIASI, P.; ANJOS, L.H.C. Processamento de imagens RapidEye no mapeamento de uso do solo em ambiente de Mar de Morros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.52, n.9, p.1417-1427, 2016.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS /SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico do estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2003. Escala 1:1.000.000. disponível em < RELATÓRIO TÉCNICO METODOLÓGICO DE ANÁLISE

AMBIENTAL | 70 <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/5016?show=full>>. Acesso em 24 de novembro de 2020.

DA ROCHA, P. L. B., VIANA, B. F., CARDOSO, M. Z., DE MELO, A. M. C., COSTA, M. G. C., DE VASCONCELOS, R. N. ; DANTAS, T. B. What is the value of eucalyptus monocultures for the biodiversity of the Atlantic forest? A multitaxa study in southern Bahia, Brazil. **Journal of Forestry Research**, v. 24, n.2, p.263–272. 2012. Disponível em: doi:10.1007/s11676-012-0311-z. Acesso em: 10/11/2020.

DEFRIES, R.S.; FOLEY, J.A.; ASNER, G.P. Land-use choices: Balancing human needs and ecosystem function. **Front. Ecol. Environ.**, v. 2, p. 249–257. 2004. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3868265>. Acesso em: 10/11/2020.

DE PAULA, R. C. Adequabilidade ambiental dos biomas brasileiros à ocorrência do Lobo-Guará (*Chrysocyon brachyurus*) e efeitos da composição da paisagem em sua ecologia espacial, atividade e movimentação. [Tese de Doutorado] Universidade Federal de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, SP. 2016.

DUTRA, R. B. Diversificação produtiva na agricultura familiar. **Revista de Administração do Sul do Pará (REASP) - FESAR** – v. 3, n. 1, Jan/Abr 2016.

EISENLOHR, P. V. et al. 2013. Disturbance, elevation, topography and spatial proximity drive vegetation patterns along an altitudinal gradient of a top biodiversity hotspot. **Biodivers. Conserv.** v. 22, p. 2767 – 2783. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-013-0553-x>. Acesso em : 10/11/2020.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (Ed.). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. 2. ed. Brasília: UnB: SEMATEC, 1994. p. 17-73.

FAHRIG, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v.34, n. 1, p. 487–515. 2003 Disponível em: doi:10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419. Acesso em: 10/11/2020.

FRANÇOSO, R. D. ; BRANDÃO, R. ; NOGUEIRA, C. C. ; SALMONA, Y. B. ; MACHADO, R. B. ; COLLI, G. R. . Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. **Natureza & Conservação**, v. 13, n. 1, p. 35–40. 2015. Disponível em: doi:10.1016/j.ncon.2015.04.001. Acesso em: 10/11/2020.

FREDERICO, S. Agricultura científica globalizada e fronteira agrícola moderna no Brasil. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**. v.17. Online. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.8153>. Acesso em: 10/11/20

FREITAS, C. M. et al. Da Samarco em Mariana à Vale em Brumadinho: desastres em barragens de mineração e Saúde Coletiva. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 35, n. 5, e00052519, 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2019000600502. Acesso em: 13/11/2020.

FRY, G. L. A. Multifunctional landscapes—towards transdisciplinary research. **Landscape and Urban Planning**, v. 57, n.3, p. 159–168. 2001. Disponível em: doi:10.1016/s0169-2046(01)00201-8. Acesso em: 13/11/2020.

GARDNER, T. A., HERNÁNDEZ, M. I. M., BARLOW, J., & PERES, C. A. (2007). Understanding the biodiversity consequences of habitat change: the value of secondary and plantation forests for neotropical dung beetles. *Journal of Applied Ecology*, 45(3), 883–893. doi:10.1111/j.1365-2664.2008.01454.x

GARRASTAZÚ, M. C. et al. Carbon sequestration and riparian zones: Assessing the impacts of changing regulatory practices in Southern Brazil. **Land Use Policy**, v. 42, p. 329–339, 2015.

GIOVANELLI, J.G.R. Diversidade de anfíbios anuros em cerradão e plantio de eucalipto em Três Lagoas, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Anais do III Congresso Latino Americano de Ecologia**, 2009. 3p. São Lourenço - MG.

GUIMARÃES, R. Z.; OLIVEIRA, F. A.; GONÇALVES, M. L. Assessment of the impacts of forestry activity on the quality of surface water. **Sci. For., Piracicaba**, v. 38, n. 87, p. 377-390, set. 2010.

IBÁÑEZ, I. et al. Assessing the integrated effects of landscape fragmentation on plants and plant communities: The challenge of multiprocess-multiresponse dynamics. **Journal of Ecology**, v. 102, n. 4, p. 882–895, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES - IBÁ. Relatório 2019. Coord. Piva, H.L; Hartung, P. Online. 80p. 2019.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Efeito poupa-terra e ganhos da produção no setor agropecuário brasileira. Prod. Filho Vieira, J. E. Texto para discussão. Brasília : Rio de Janeiro: IPEA. 48p

JÚNIOR, H. de M.; LOPES, F. A.; MACEDO, D. R. Diagnóstico multitemporal do uso e cobertura da terra e qualidade das águas na bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais como subsídio à gestão dos recursos hídricos superficiais. **Revista Espinhaço | UFVJM**, [S.l.], p. 47-57, dec. 2019. ISSN 2317-0611. Disponível em: <<http://revistaespinhaco.com/index.php/journal/article/view/274>>. Acesso em: 26/09/2020.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T. An ecologically sustainable approach to agricultural production intensification: global perspectives and developments. *Field Actions Science Report*, special issue 6, 2012.

KLINK, C. A., ; MACHADO, R. B. . Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n.3, p. 707–713. 2005. Disponível em: doi:10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x. Acesso em : 25/10/2020.

LIND, L.; HASSELQUIST, E. M.; LAUDON, H. Towards ecologically functional riparian zones: A meta-analysis to develop guidelines for protecting ecosystem functions and biodiversity in agricultural landscapes. **Journal of Environmental Management**, v. 249, n. August, p. 109391, 2019.

LITTELL, J. H.; CORCORAN, J.; PILLAI, V. *Systematic Reviews and Meta – Analysis*. 2. Ed. Oxford, University Press, 2008.

MACE, G. M. ; NORRIS, K. ; FITTER, A. H. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. **Trends in Ecology & Evolution**, 27(1), 19–26. 2012. doi:10.1016/j.tree.2011.08.006

MAGNAGO, L. F. S. et al. Microclimatic conditions at forest edges have significant impacts on vegetation structure in large Atlantic forest fragments. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 9, p. 2305–2318, 2015.

MARCHESE, H.G. Estromatólitos Gymnosolenida em el lado oriental de Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.4, n.4, p.257- 271, 1974

MARINHO-FILHO, J., MACHADO, R.B. & HENRIQUES, R.P.B. 2010. **Evolução do conhecimento e da conservação do Cerrado brasileiro. In Cerrado - conhecimento científico quantitativo como subsídio para ações de conservação.** (I.R. Diniz, J. Marinho-Filho, R.B. Machado & R.B. Cavalcanti, eds.). Editora UnB, Brasília, p. 13-32.

MARTINSON, H. M.; FAGAN, W. F. Trophic disruption: A meta-analysis of how habitat fragmentation affects resource consumption in terrestrial arthropod systems. **Ecology Letters**, v. 17, n. 9, p. 1178–1189, 2014.

MATOS, F. A. R. et al. Effects of landscape configuration and composition on phylogenetic diversity of trees in a highly fragmented tropical forest. **Journal of Ecology**, v. 105, n. 1, p. 265–276, 2017.

MENDES, J. T. G.; PADILHA JUNIOR, J. B. Agronegócio uma abordagem econômica. São Paulo: Pearson, 2007.

METZGER, J.P. Tree functional group richness and spatial structure in a tropical fragmented landscape (SE Brazil). **Ecological Applications**, v. 10, p. 1147-1161. 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1147:TFGRAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1147:TFGRAL]2.0.CO;2). Acesso em: 10/11/2020.

MICHLER, J. D.; JOSEPHSON, A. L. To Specialize or Diversify: agricultural diversity and poverty dynamics in Ethiopia. **World Development**, v. 89, p. 214-226, 2017

MINAS GERAIS. A agropecuária mineira: sua história, sua evolução. 1978, 146 p.

MITTERMEIER, R. A. ; P. R. GIL, ; M. HOFFMANN ; J. PILGRIM ; J. BROOKS ; C. G. MIITERMEIER ; J. LAMOURUX ; G. A. B. FONSECA. Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. Cemex. Washington, DC. 2004.

MMA. Mata Atlântica: manual de adequação ambiental / Maura Campanili e Wigold Bertoldo Schaffer. – Brasília: MMA/SBF, 2010. 96 p. ; il. color. : 29cm. (Série Biodiversidade, 35)

MODENESE, V. S. ; SANT'ANA, A. L. Diversificação produtiva e de comercialização de agricultores familiares assentados de Mirandópolis (SP): contribuições do Programa de Aquisição de Alimentos. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília , v. 57, n. 4, p. 636-655, Dec. 2019.

MORZELLE, M. C., BACHIEGA, P., SOUZA, E. C., VILAS BOAS, E. V. B., & LAMOUNIER, M. L. (2015). Caracterização química e física de frutos de curriola, gabirola e murici provenientes do Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n.1, p. 96-103. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-036/14> Acesso em : 13/11/2020.

MYERS, N.. Biodiversity hotspots revisited. **Bioscience**, v. 53, p. 916-917. 2003 Disponível em: doi:10.1641/0006-3568(2003)053[0916:BHR]2.0.CO;2. Acesso em: 13/11/2020.

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO. 2001

OLIVEIRA, E.A. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Maciço Granitóide de Cachoeira da Prata. 1999. 85p. Tese (Mestrado em Geodinâmica e Evolução Crustal) - Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. A study of the origin of central brazilian forests by the analysis of plant species distribution patterns. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburgh, v. 52, n. 2, p. 141-194, 1995.

O'FARRELL, P. J., & ANDERSON, P. M. . Sustainable multifunctional landscapes: a review to implementation. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 2, n. 1-2, p. 59 – 65. 2010. doi:10.1016/j.cosust.2010.02.005

PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 11/11/2020.

REIS, A. F. ; SCHMIELE, M. . Characteristics and potentialities of Savanna fruits in the food industry. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, e2017150. 2019 Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15017>. Acesso em: 13/11/2020.

RIBEIRO, L. Entrevista com o presidente do CBH Rio Paraopeba, que acaba de aprovar o Plano Diretor da Bacia. Belo Horizonte. 03 fevereiro 2020. Disponível em: <https://cbhvelhas.org.br/noticias/bacia-vizinha-do-velhas-paraopeba-aprova-seu-plano-diretor-2/>. Acesso em: 21/11/2020.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biol. Conserv.** v. 142, p. 1141 – 1153. 2009.

ROMANO A.W. Nota explicativa da Folha Pará de Minas (SE.23-Z-C-IV) 1:100.000. Convênio CPRM-UFMG, 65p. 2007. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/10765>. Acesso em: 24/11/2020.

ROMANO, A. W. Geologia e recursos minerais da folha Contagem SE.23-Z-C-V, estado de Minas Gerais, escala 1:100.000. Brasília : CPRM, 2014. 87 p. 2014.

SANTOS, J. F. C. DOS et al. Potential Areas for the Formation of Ecological Corridors Between Remnants of Atlantic Forest. **Revista Árvore**, v. 40, n. 5, p. 803–813, 2016.

SANTOS, M. O Brasil: território e sociedade no início do século XXI/ Milton Santos, Maria Laura Silveira. 2ª ed. – Rio de Janeiro: Record, 2001.

SANTOS et al., 2018. H.G. SANTS, P.K.T. JACOMINE, L.H.C. ANJOS, V.A. OLIVEIRA, J.F. LUMBRERAS, M.R. COELHO, J.A. ALMEIDA, J.C. ARAUJO-FILHO, J.B. Oliveira, T.J.F. Cunha. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (fifth ed.), Embrapa Solos, Brasília, 2018.

SCHVARTZMAN. Alberto Simon; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; SPERLING, Marcos Von. Outorga e Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos: Aplicação à Bacia do Rio Paraopeba, MG. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n.1, p. 103-122. Jan/Mar 2002.

SHUKLA, J.; MINTZ, Y. Influence of land surface evapotranspiration on the earth's climate. **Science**, v. 251, p. 1498-1501, 1982. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/215/4539/1498>. Acesso em: 10/11/2020.

SOARES-FILHO, B.S. ; MOUNTINHO, P.; NEPSTAD, D.; ANDERSON, A.; RODRIGUES, H.; GARCIA, R.; DIETZSCH, L.; MERRY, F.; BOWMAN, M.; HISSA, L.; SILVESTRINI, R.; MARETTI, C. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 24, p. 10821-10826. Disponível em : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2890753/>. Acesso em: 10/11/2020.

SOARES, J. V. ; ALMEIDA, A. C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 253, n.1-4, p. 130–147. 2001. doi:10.1016/s0022-1694(01)00477-2

SOS MATA ATLÂNTICA. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica. Relatório Técnico. Período de 2017 a 2018. São Paulo, 2019. p. 35.

SOS FLORESTAS (ONG). Código Florestal: Entenda o que está em jogo com a reforma da nossa legislação ambiental. [s.n.], 2011, 19 pgs. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?27443/Codigo-Florestal-Entenda-o-que-esta-em-jogo-com-a-reforma-de-nossa-legislacao-ambiental>> Acesso em: 21/11/2020.

SOUZA at. al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine - Remote Sensing. v.12, n.17, e2735. Disponível em: 10.3390/rs12172735. 2020. Acesso em: 10/11/2020.

SOUZA, M. J. L. O território: sobre espaço e poder, autonomia e desenvolvimento. In: CASTRO, I. E. Geografia: Conceitos e temas. 5ª. Ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 77-116, 1995.

TEIXEIRA, J. C.; HESPANHOL, A. N. The Trajectory of Brazil's Beef Cattle. **Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente**, n.36, v.1, p.26-38, jan./jul. 2014.

TEIXEIRA, M. L. C.; RIBEIRO, S. M. C. Agricultura e paisagens sustentáveis: a diversidade produtiva do setor agrícola de Minas Gerais, Brasil. **Sustainability in Debate - Brasília**, v. 11, n.2, p. 29-41, aug/2020.

THOMPSON, F., DE OLIVEIRA, B. C., CORDEIRO, M. C., MASI, B. P., RANGEL, T. P., PAZ, P., DE REZENDE, C. E. Severe impacts of the Brumadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. **Science of The Total Environment**, e135914. 2019. Disponível em: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135914. Acesso em: 10/11/2020

TOPODATA. Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Coord. Valeriano, M. M. CNPTIA/EMBRAPA. 2018. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 13/11/2020.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.2, p.135-152, 1997.

TULLER, MP, RIBEIRO, JH, SIGNORELLI N, FÉBOLI WL, PINHO, JMM. **Projeto Sete Lagoas - Abaeté, Estado de Minas Gerais (CPRM)**. Orgs.- Belo Horizonte: CPRM-BH. 06 mapas geológicos, escala 1:100.000 (Série Programa Geologia do Brasil) versão impressa e em meio digital, textos e mapas, 160 p. 2009.

UZEDA, M. C.; TAVARES, P. D.; ROCHA, F. I.; ALVES, R. C. Paisagens agrícolas multifuncionais: intensificação ecológica e segurança alimentar. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 67p.

VERBURG, P. H.; SCHOT, P.; DIJST, M., VELDKAMP. A. Land use change modelling: current practice and research priorities. **GeoJournal**, v. 61, n. 4, p. 309-324, ISSN: 0343- 2521, D

VITAL, M. H. F. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. **Revista do BNDES, Rio de Janeiro**, v. 14, n. 28, p. 235-276, dez. 2007.

WAHA, K. et al. Agricultural diversification as an important strategy for achieving food security in Africa. **Global Change Biology**, v. 24, n. 8, 2018.

ZHANG, L., DAWES, W. R., & WALKER, G. R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. **Water Resources Research**, v.37, p.3, p. 701–7082001. Disponível em: doi:10.1029/2000wr900325. Acesso em: 13/11/2020.

CAPÍTULO 2

DIAGNÓSTICO DE COMPROMETIMENTOS AO ABASTECIMENTO DE ÁGUA PÓS-ROMPIMENTO DE BARRAGEM

1. Introdução

Grande parte dos elementos e matérias-primas usados em aplicações industriais, desenvolvimento tecnológico e geração de energia são produzidos pela extração e processamento de minério de ferro. Entretanto, as atividades de mineração produzem diversos impactos ambientais devidos a mudanças na paisagem, à elevada demanda de água e energia e à produção de resíduos. Na realidade, a mineração pode ser considerada uma das principais atividades antropogênicas poluidoras de recursos naturais, com sérias implicações sobre a saúde humana e a biodiversidade (HILSON, 2006).

Um dos grandes problemas associados à mineração é o rompimento de barragens de rejeitos, dada a liberação abrupta de cargas elevadas de rejeitos. Em casos assim, todo o sistema fluvial é transformado pelo aumento dramático do nível de sedimentos em suspensão e de elementos químicos, que produzem uma série de mudanças físicas e biológicas em sua estrutura por centenas de quilômetros a jusante do rompimento.

Isso é devido às características físicas e químicas do rejeito - composto basicamente de partículas sedimentares muito finas originadas da mistura de solo, rochas trituradas e fluidos de processamento remanescentes do processo de extração (BJELKEVIK, 2005). Partículas mais finas tendem a ser transportadas por áreas maiores, elevando a magnitude do impacto. Além disso, o tamanho das partículas as torna cineticamente propensas à oxidação e à provável liberação de elementos químicos, como, por exemplo, a oxidação de sulfetos que levam à liberação de cobre e manganês (KOSSOFF et al., 2012).

Quimicamente, a composição do rejeito varia conforme a mineralogia da região de origem do minério, os fluidos utilizados no processo de separação e extração dos metais de interesse e o grau de intemperismo durante o armazenamento (KOSSOFF et al., 2014). De toda

forma, a presença de sílica e ferro é quase certa e, juntamente com oxigênio, são os elementos mais abundantes. Outros elementos encontrados com frequência são: alumínio, cálcio, potássio, manganês, magnésio, sódio, fósforo, titânio e enxofre (KOSSOFF et al., 2014). Outros estudos, apontam ainda arsênio, cobre, chumbo, zinco e cádmio presentes em altas concentrações (MECK et al., 2006; HELLSTRÖM et al., 2007; KOSSOFF et al., 2011).

Entre os impactos imediatos, ou seja, aqueles relativos ao impacto direto da lama de rejeito, podem ser citados: mortandade de peixes e animais aquáticos, animais terrestres e de plantas, por impacto e soterramento direto da lama; entupimento das vias respiratórias de peixes; queda instantânea do oxigênio dissolvido e pH; aumento do níveis de elementos tóxicos na água e nos sedimentos (HUDSON-EDWARDS et al., 2003; MACKLIN et al., 2003).

Um caso que bem ilustra os impactos decorrentes de rompimentos de barragens é o da Barragem de Fundão, da Samarco, em novembro de 2015. Estima-se que mais de 35 milhões de m³ de rejeito de mineração deslizaram pela encosta da montanha diante da ruptura da barragem, causando a morte de 19 pessoas e danos em mais de 650 km do rio Doce, o qual era a principal fonte de água e alimento para diversas comunidades ribeirinhas. Estudos publicados recentemente apontam que a concentração de material particulado em suspensão atingiu valores próximos a 33.000 mg/L (HATJE et al., 2017), sendo esta quase trinta mil vezes a média histórica para o rio Doce.

Próximo ao local de rompimento foram encontradas concentrações elevadas de níquel, chumbo, cromo, manganês, cobre e cobalto (HATJE et al., 2017). Ao longo das estações de coleta do rio Doce, mesmo nas mais distantes do rompimento, foram encontrados valores de bário, alumínio e manganês acima dos padrões recomendados para água doce na regulamentação ambiental brasileira. Foram também encontrados teores de cromo, ferro, níquel e zinco mais elevados que aqueles observados próximos ao rompimento (HATJE et al., 2017). Este aumento gradual sugere que os elementos químicos tenham sido mobilizados quimicamente devido a processos de oxidação, tornando-se mais biodisponíveis (MIRANDA; MARQUES, 2016).

O caso do rompimento da barragem I da Mina Córrego do Feijão em Brumadinho/MG não é diferente. Um ano após o rompimento, o relatório da SOS Mata Atlântica (2020) indicava que, por toda a extensão do rio Paraopeba, a água continuava imprópria para consumo devido a valores de ferro, cobre e manganês superiores ao permitido pelos padrões legais. Foram também encontrados valores de cromo até 42 vezes acima dos limites máximos previstos pela Resolução Conama 357/2005 para rios de Classe 2 (SOS MATA ATLÂNTICA, 2020). Em

termos de oxigênio dissolvido e turbidez, em todos os pontos de amostragem foram constatadas condições inadequadas para manutenção da vida aquática. Em um dos pontos, o nível de oxigênio chegou a 1,3 mg/L, valor muito inferior ao previsto para a classe de enquadramento do rio Paraopeba (Classe 2) - 5 mg/L (SOS MATA ATLÂNTICA, 2020).

Assim como no caso do rio Doce, o cenário de riscos ocasionado pelo rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão levou à proibição de captação e qualquer tipo de uso da água do rio Paraopeba como medida de proteção à saúde humana. Especificamente para a Região 3, alvo deste estudo, a proibição continua válida.

Essa região abrange municípios, como Paraopeba e Pará de Minas, que tiveram suspensas as captações no rio Paraopeba para abastecimento público. Além disso, vários proprietários tiveram suas fontes de abastecimento para consumo humano (poços, por exemplo), irrigação e dessedentação animal (captação direta no rio, por exemplo) comprometidas – condenadas ou colocadas sob suspeita. Como decorrência, residentes, comerciantes, produtores rurais e indústrias tiveram que paralisar suas atividades e, em alguns casos, construir alternativas com recursos próprios para mitigar o problema.

Visando mitigar/solucionar problemas causados por interrupções de captação/abastecimento de água na Região 3, a empresa Vale S.A. implementou medidas tais, como: mudanças do ponto de captação ou fornecimento de água por meio de caminhão-pipa para regularização de abastecimento por meio de sistemas coletivos, perfuração de poços e/ou fornecimento de água engarrafada no casos em que fontes individuais de abastecimento foram comprometidas. No entanto, se faz necessário compreender quais foram os impactos socioambientais dessas ações e se foram capazes de suprir as necessidades das pessoas atingidas.

Assim, compreender a situação atual da Região 3 em relação ao abastecimento e consumo de água antes e pós-rompimento e avaliar as ações de reparação adotadas são fundamentais para as tomadas de decisão relativas aos critérios para recebimento do apoio emergencial e às medidas para reparação integral dos danos.

Este diagnóstico tem por objetivo principal identificar comprometimentos de captação e de abastecimento de água na Região 3 devido ao rompimento da barragem I da Mina Córrego do Feijão, bem como avaliar as respectivas consequências. Entre os objetivos específicos incluem-se: (i) levantar dados referentes às outorgas de direito de uso da água no rio Paraopeba; (ii) identificar usuários que captavam / captam água no rio Paraopeba para usos produtivos; (iii)

identificar captações de água para consumo humano no rio Paraopeba; (iv) identificar outras fontes de abastecimento de água para consumo humano, individuais ou coletivas, que tenham sido comprometidas ou que apresentem potencial de comprometimento; (v) construir um panorama situacional do abastecimento de água antes e após o rompimento; (vi) verificar a adequação das ações adotadas para solucionar os problemas de abastecimento de água. Todos esses objetivos subsidiarão a proposição de novos critérios de apoio emergencial (curto prazo) e reparação integral (médio e longo prazos), além de fornecer as bases para a implementação de ações de produção de água em quantidade e qualidade.

2. Metodologia

Inicialmente foi realizado um levantamento da situação dos sistemas de captação de água no rio Paraopeba antes do rompimento da barragem I da Mina Córrego do Feijão, sendo considerados os usos consuntivos para abastecimento público (consumo humano), irrigação e dessedentação animal. Para tanto, foi realizado um levantamento das outorgas de uso da água, cadastro de usos insignificantes e de usos de recursos hídricos para satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais distribuídos no meio rural em municípios da Região 3. A principal fonte para esta pesquisa foi o banco de dados do Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, que traz informações georreferenciadas quantitativas relativas às vazões mínimas e máximas outorgadas. Este levantamento permitiu a construção de um panorama situacional quantitativo e espacializado geograficamente sobre usos consuntivos do rio Paraopeba antes do rompimento.

Para fins de estimativa quantitativa das vazões de captação de água interrompidas após o rompimento, foram analisados dados de outorga de direito de uso e de cadastros de usos insignificantes no rio Paraopeba e de águas subterrâneas a uma distância de até 100 metros do rio, cujos usos não são recomendados pelo governo do Estado (IGAM, 2020c; IGAM, 2019b). Para isso, foram utilizados dados espaciais disponibilizados pelo SISEMA (2020). Foi utilizado o *software* livre Geokettle, que é uma ferramenta de ETL – Extração, Transformação e Carga (*Extract Transformation and Loading*) que automatiza os serviços de análise de dados em formatos tabulares ou vetoriais (*shapefiles*). Além disso, foram utilizadas as bases cartográficas em formato *shapefile* referentes ao rio Paraopeba e os limites das comissões de atingidos da Região 3.

A estimativa quantitativa de vazões foi baseada em quatro etapas principais: i) cruzamento espacial entre os dados de outorgas e os polígonos das comissões da Região 3, com registro das informações outorgadas e dos nomes e municípios das comissões; ii) cálculo das distâncias horizontais lineares entre as outorgas e o rio Paraopeba; iii) seleção das outorgas que distam até 100 metros do rio Paraopeba; iv) conversão das unidades de vazão (m^3/s e L/s) para m^3/h e sua padronização nesta última unidade de medida; e, v) estimativa dos volumes outorgados diários, realizada por meio da multiplicação entre a vazão e o tempo de captação outorgados. Para a realização desta última etapa, ressalta-se que em casos onde o tempo de captação não foi apresentado, adotou-se como valor de multiplicação, a média do tempo outorgado para o tipo específico de uso (subterrâneo ou superficial).

No planejamento dos trabalhos da ATI-R3, estava prevista a realização de uma entrevista semiestruturada presencial com os atingidos para compreensão dos prejuízos e desdobramentos da interrupção de captação de água do rio Paraopeba, poços e cisternas até 100 metros da margem do rio, após o rompimento da barragem I da Mina Córrego do Feijão. Primeiramente, previa-se que tal entrevista aconteceria a partir de meados de julho de 2019, entretanto, devido ao avanço da pandemia de COVID-19 e a impossibilidade de execução de atividades em campo nos meses iniciais da ATI-R3, optou-se pelo desenvolvimento de formulários virtuais que pudessem ser respondidos remotamente pelas pessoas atingidas.

Um formulário eletrônico foi proposto com o intuito de identificar / avaliar demandas de moradores da Região 3 relativas ao uso da água, incluindo: (i) análise de água; (ii) fornecimento de água engarrafada; (iii) distribuição de caixa d'água; (iv) fornecimento de água por meio de caminhão-pipa; e, (v) instalação de poço. Para cada uma dessas demandas, o(a) atingido(a) poderia descrever a situação de acordo com as seguintes categorias (i) falta de regularidade; (ii) fornecimento cortado; (iii) nunca recebeu/nunca foi realizado; (iv) qualidade ruim; (v) quantidade insuficiente; (vi) outros. O questionário foi aplicado entre maio e outubro de 2020.

Outro formulário eletrônico foi denominado “*Questionário para avaliação dos comprometermentos ao abastecimento de água - Região 3*”. A divulgação desse instrumento de pesquisa se iniciou em 31 de agosto e até final de outubro de 2020 foram feitas três chamadas nos grupos de *Whatsapp* das comissões de atingidos para reforçar a importância da participação dos(as) atingidos(as). O formulário segue disponível para preenchimento, no entanto, para efeito deste relatório, foram sistematizadas as informações levantadas até 05 de novembro de 2020.

3. Resultados

3.1. Usos de água

Segundo informações do IGAM (2020a), os usos outorgados e insignificantes nos trechos do ribeirão Ferro-Carvão e rio Paraopeba são, principalmente, para abastecimento público, geração de energia, agropecuária e consumo industrial. Para além dessas informações, buscou-se, por meio de consultas diretas às pessoas atingidas, identificar não somente usos, mas também comprometimentos de uso da água. Por meio da aplicação de formulário *on-line*, foram levantadas questões relacionadas ao acesso à água, à qualidade e à insegurança referente ao uso da água.

Essas informações foram coletadas por meio do “*Formulário Eletrônico para Acolhimento de Demandas Emergenciais dos Atingidos e Atingidas pelo Desastre da Vale - Região 3*” preenchido pelas pessoas via internet. Devido à pandemia de COVID-19, o acolhimento presencial das demandas foi inviabilizado, o que, obviamente, impôs dificuldades no alcance das pessoas atingidas. Sendo assim, as informações obtidas podem eventualmente subestimar a realidade na Região 3, uma vez que diversas pessoas e comunidades não possuem acesso adequado à internet. Acrescente-se a grande heterogeneidade socioeconômica da região, cujas comunidades são constituídas de forma tão diversa quanto trabalhadores rurais, quilombolas, sítiantes de finais de semana, fazendeiros. Sendo assim, tanto o nível de detalhamento das informações fornecidas nos formulários de demandas, quanto à representatividade territorial podem se apresentar de forma enviesada. Essas limitações devem ser consideradas nas análises e conclusões sobre as demandas relacionadas à água no território; não obstante, são as informações mais robustas até então compiladas sobre o assunto.

A Tabela 11 apresenta os percentuais de pessoas atingidas, por município/comissão, alcançadas por meio da consulta eletrônica. Nota-se que a comissão de Taquaras (Esmeraldas/MG) foi a mais bem representada (39,31%), seguida pela de Beira Córrego e Retiro dos Moreira (14,74%). As demais comissões, ou municípios, ficaram mal representadas.

Muitos(as) moradores(as) das comunidades da Região 3 possuem poços que distam até 100 metros da margem do rio e deles se utilizavam como fonte de água para usos diversos, tais como, bebida, higienização e preparo de alimentos, higiene pessoal, limpeza, lavagem de roupas, dessedentação animal e irrigação. Outros faziam uso de água do rio Paraopeba para

alguns desses usos, como por exemplo, dessedentação animal e irrigação. Porém, a proibição do uso dessas fontes, devido à possível contaminação da água, disseminou incertezas e insegurança entre a população. Questionamentos surgiram também em relação a possíveis riscos associados à contaminação do solo, do lençol freático, da fauna e flora, de animais de criação e de açudes, que tiveram contato com a água do rio Paraopeba, ainda que indiretamente (por exemplo, por meio de tributários) ou temporariamente (por exemplo, em períodos de cheia), ou ainda de riscos associados às atividades tais, como a pesca e extração de areia. A insegurança incide também sobre outros poços com distância superior a 100 metros, que não foram avaliados, mas que também podem ser passíveis de contaminação.

Tabela 11: Percentuais de pessoas atingidas por município/comissão que participaram do levantamento por meio do formulário eletrônico.

MUNICÍPIO/COMISSÃO	(%) ATINGIDOS	MUNICÍPIO/COMISSÃO	(%) ATINGIDOS
Beira Córrego e Retiro dos Moreiras ^(a) ^(d)	14,74	Produtores rurais de Paraopeba ^(f)	1,45
Cachoeirinha ^(b)	1,73	Quilombo da Pontinha ^(a) ^(f)	0,58
Chacreamento Paraopeba ^(c)	5,21	Riacho ^(b)	2,90
Chacreamento Vargem Grande ^(c)	2,61	São José ^(b)	0,29
Córrego da Areia ^(d)	0,29	São José da Varginha ^(e)	3,19
Córrego do Barro ^(c)	1,74	Shopping da Minhoca ^(a) ^(g)	0,58
Florestal ^(e)	1,16	Taquaras ^(b)	39,42
Maravilhas ^(e)	0,87	Três Barras ^(d)	0,58
Muquém ^(e)	1,74	Vista Alegre ^(b)	1,45
Padre João, Vinháticos e Bambus ^(b)	6,38	Comissão Não Participante	8,99
Papagaios ^(e)	1,16	Outra Comissão	0,29
Pequi ^(e)	2,61		

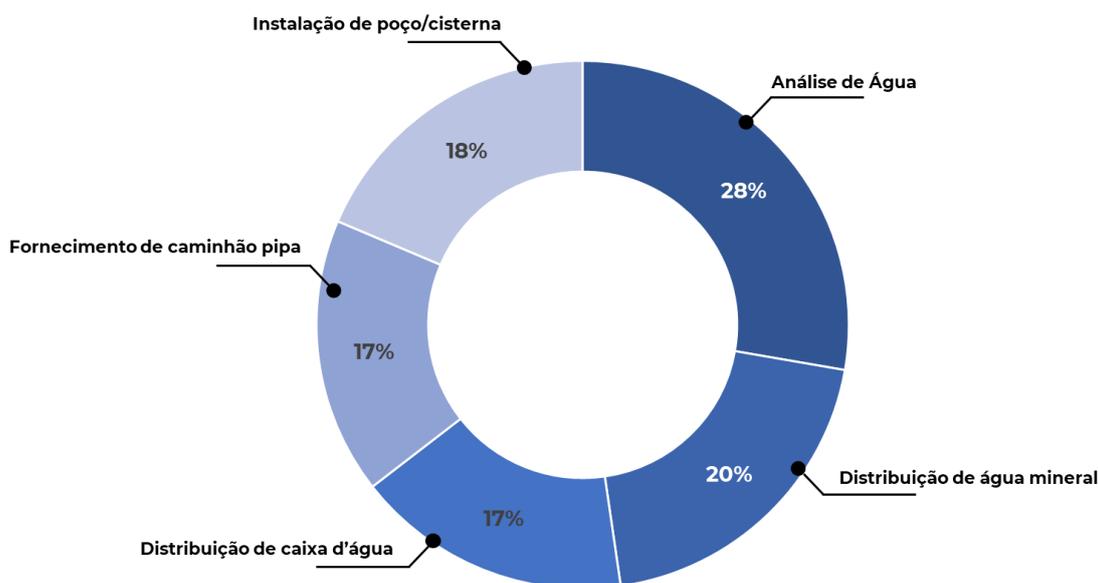
(a) Comunidade Quilombola
 (b) Comissão de Esmeraldas
 (c) Comissão de Pará de Minas
 (d) Comissão de Fortuna de Minas
 (e) Município
 (f) Comissão de Paraopeba
 (g) Comissão de Caetanópolis

Os formulários *on-line* foram acessados por 345 moradores, tendo registrado, no todo, 721 demandas (ou reclamações) relacionadas à água, as quais foram divididas em cinco

categorias: (i) análise de água; (ii) fornecimento de água engarrafada; (iii) distribuição de caixa d'água; (iv) fornecimento de água por meio de caminhão-pipa; e, (v) instalação de poço. Para cada uma dessas categorias, o(a) atingido(a) poderia descrever a situação no momento de preenchimento da ficha, em seis categorias: (i) falta de regularidade; (ii) fornecimento cortado; (iii) nunca recebeu/nunca foi realizado; (iv) qualidade ruim; (v) quantidade insuficiente; e, (vi) outros.

A Figura 30 mostra a distribuição de dados referentes às demandas registradas, as quais aparecem, de certa forma, equilibradas entre as cinco categorias consideradas. Em primeiro lugar aparecem as demandas por avaliação da qualidade da água (análises de água), porém as demais vêm logo a seguir.

Figura 30: Demandas dos(as) atingidos(as) da Região 3 relacionadas à água.

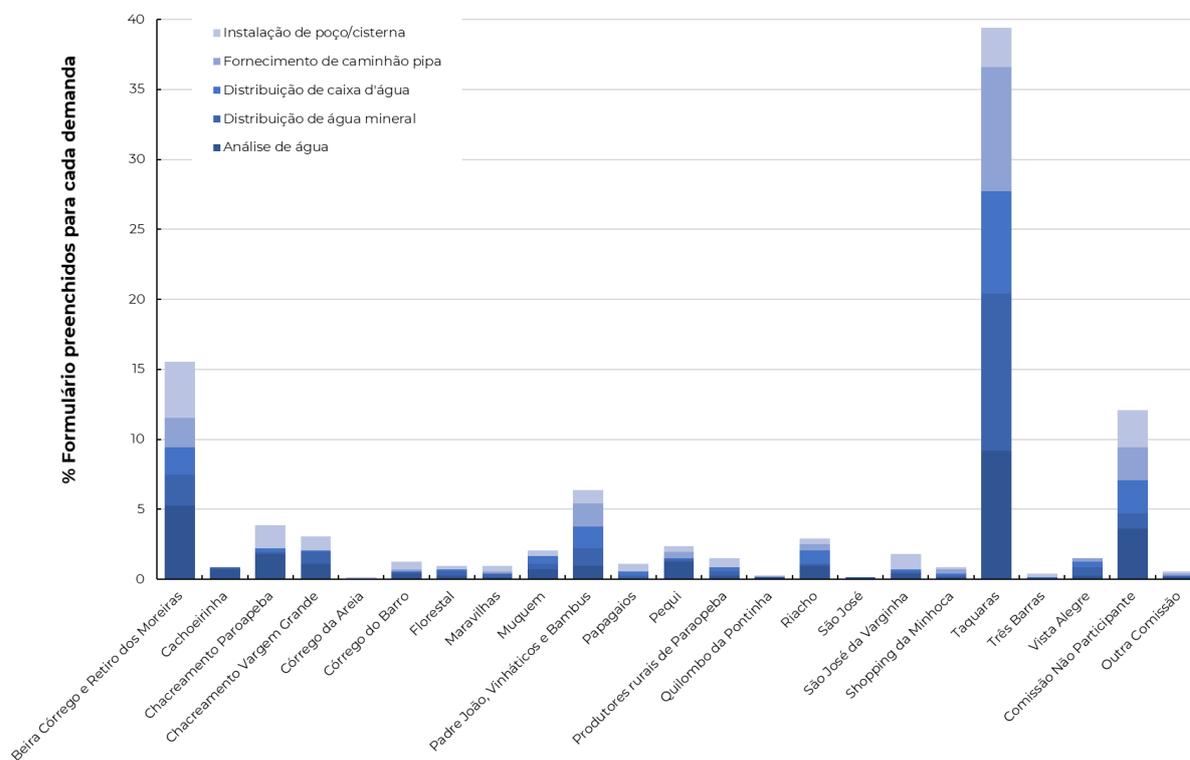


A discriminação dos usos da água por tipo de uso / fonte de abastecimento (por exemplo uso doméstico, dessedentação de animais, irrigação, poços) se tornou difícil, uma vez que poucas foram as respostas nesse sentido registradas no formulário. A título de ilustração, dos 721 registros analisados, apenas 178¹ discriminaram o uso da água na propriedade, sendo 37

¹ Esses registros foram avaliados por comissão/município. Beira Córrego e Retiro dos Moreiras obtiveram 15 registros para “dessedentação de animais”, 4 para “uso doméstico”, 7 para “poço” (comunitários), 10 para “irrigação” e 3 para “outros”. Cachoeirinha obteve 2 registros para “poço” (comunitários). Chacreamento Paraopeba obteve 1 registro para “uso doméstico” e 13 para “poço”; esses mesmos registros foram

descrições referentes à subcategoria “dessedentação de animais”, 16 à “uso doméstico”, 19 à “irrigação e uso agrícola em geral”, 101 à “poço/cisterna” e 5 à “outros”, o que inclui, 2 registros quanto ao uso de água em fábrica de polpa de frutas, 2 para lazer e 1 para alambique. Sendo assim, a real situação em que as pessoas atingidas se encontram pode se ver subestimada por “subnotificação”, o que, por sua vez, requer cautela na utilização destas informações para efeito de mensuração de ações corretivas e de reparação. A Figura 31 mostra o percentual de formulários preenchidos de acordo com as demandas de água, segundo a comissão/município, considerando os 721 registros.

Figura 31: Percentuais de formulários preenchidos segundo o tipo de demanda, por comissão ou município.



Nota-se que as comissões/municípios de Beira Córrego e Retiro dos Moreiras, Padre João, Vinhático e Bambus, Pequi, Riacho, Shopping das Minhocas e Taquaras apresentaram

observados em Chacreamento Vargem Grande. Em Córrego da Areia foi observado 1 registro para “dessedentação animal” e 1 para “irrigação”, assim como em Muquém. Em Córrego do Barro foram obtidos 4 registros para “poço”, enquanto em Florestal foram 2. Em Maravilhas houve 1 registro para “dessedentação animal”, assim como em Papagaios. Em Padre João, Vinháticos e Bambus foram observados 3 registros para “dessedentação de animais”, 2 para “uso doméstico” e 8 para “poço”. Em Pequi foram quantificados 5 registros para “dessedentação de animais”, 6 para “uso doméstico”, 4 para “poço”, 3 para “irrigação” e 2 para “outros”. No Quilombo da Pontinha e em São José, foi observado apenas 1 registro para “poço” (cada), enquanto em Riacho foi observado 1 registro para “poço” e 1 para “irrigação”. Em São José da Varginha foi obtido 1 registro para “dessedentação de animais” e 2 para “poço”. Em Taquaras foram quantificados 34 registros para “poços” e em Vista Alegre foram realizados 2 registros para “dessedentação de animais”. Outras comissões não pertencentes a região 3 registraram 7 fichas com “dessedentação de animais”, 2 com “uso doméstico”, 9 com “poço” e 3 com “irrigação”.

demanda de todos os tipos. Além disso, os percentuais médios (considerando todas as comissões) foram iguais a 27,74% e 18,59% para as demandas de análise de água e instalação de poço/cisterna, respectivamente.

3.2. Análise dos questionários para avaliação dos comprometimentos ao abastecimento de água - Região 3

Este questionário não esgota as possibilidades de problemas relativos ao abastecimento de água, uma vez que o número de questionários preenchidos² (118), até 05 de novembro de 2020, certamente está muito aquém do verdadeiro contingente de pessoas que têm vivenciado esses tipos de problemas. Ademais, dada a impossibilidade, até o momento, de aplicação presencial em larga escala desse questionário e considerando as dificuldades generalizadas de parte da população da Região 3 de acesso facilitado à internet e ferramentas digitais, essas perspectivas devem ser consideradas para ponderar o alcance do questionário e, conseqüentemente, sua representação fidedigna da realidade de todos os atingidos.

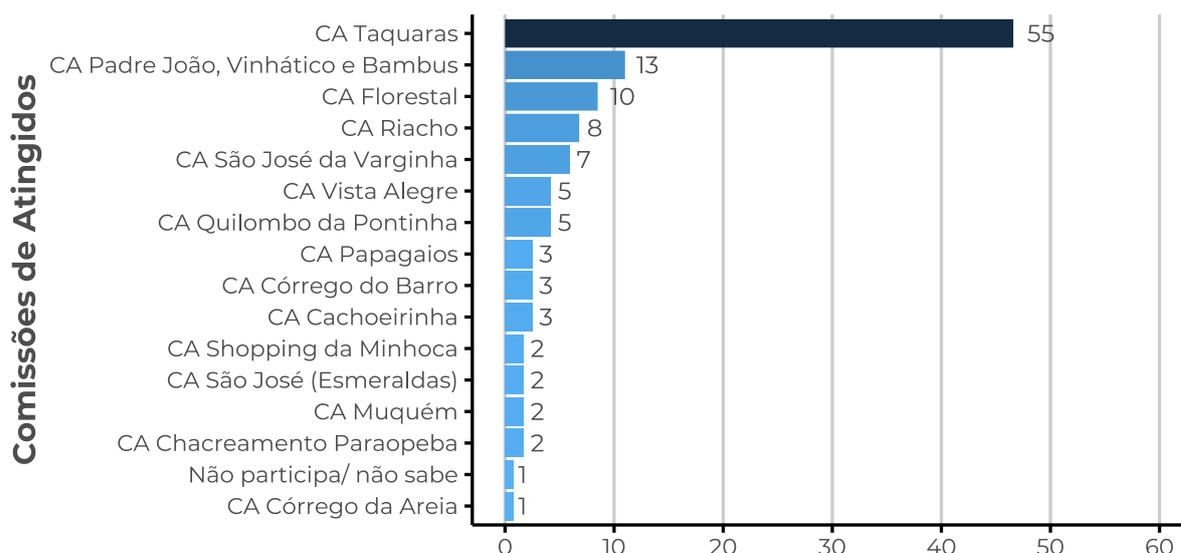
A Figura 32 apresenta a distribuição de respostas ao questionário nas comissões de atingidos da Região 3. Constata-se que mais de 50% (total de 55 pessoas) dos participantes pertencem à Comissão de Taquaras (apenas ou concomitantemente nesta comissão e outra). Esse resultado pode refletir tanto a maior facilidade de acesso à internet que essa comunidade tem em comparação a outras localidades da Região 3, quanto a preponderância, magnitude e percepção dos danos naquele território. A intensidade dos danos na comunidade de Taquaras pôde ser constatada no campo realizado pela equipe da ATI-R3 entre os dias 28 a 30 de setembro de 2020, quando foram levantados vários problemas de comprometimentos de captação e abastecimento de água, entre os quais: soterramento de poços e cisternas; caixas d'água que foram entregues sem instalação; interrupção de captação no rio Paraopeba (NACAB, 2020a).

Considerando as demais comissões de Esmeraldas – Padre João, Vinhático e Bambus; Riacho; Cachoeirinha; Vista Alegre; São José – a representação deste município no total de pessoas que responderam ao questionário corresponde a aproximadamente 80%. Das 21

² 107 pessoas responderam ao questionário, mas como algumas têm mais de um terreno na Região 3, foram obtidos 118 questionários respondidos.

comissões de atingidos na Região 3, não estiveram representados os seguintes municípios/comissões: Fortuna de Minas – Três Barras; Beira Córrego e Retiro dos Moreiras; Maravilhas; Pequi – Pindaíbas e Soledade; Pará de Minas – Chacreamento Vargem Grande; Paraopeba – Paraopeba (produtores rurais).

Figura 32: Distribuição dos participantes da pesquisa por comissões de atingidos.



*Uma pessoa pode participar de mais de uma comissão. Totais somam mais de 100%

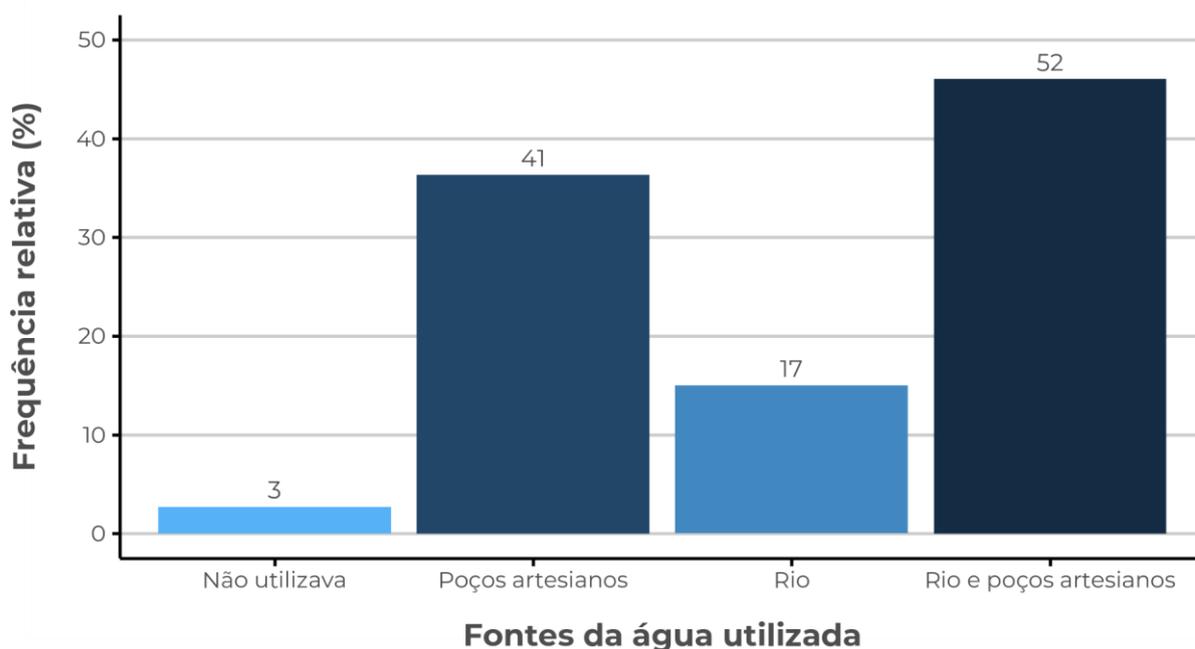
A Figura 33 sintetiza as respostas às perguntas “Nesse terreno, você utilizava a água do rio Paraopeba / de poço(s) artesiano(s) às margens do rio Paraopeba antes do rompimento. Observa-se que apenas três pessoas informaram não utilizar água dessas fontes antes do rompimento. Por outro lado, a elevada quantidade de usuários da água do rio e de poços permite inferir sobre a magnitude (elevada) dos impactos decorrentes da suspensão de uso da água sobre a vida dessas pessoas e suas possíveis atividades produtivas desenvolvidas nos terrenos.

Neste questionário, dos 108 poços que eram previamente utilizados (somatório entre poço 1, 2 e 3), 60 estão até 100 metros das margens do rio Paraopeba, distância essa para a qual o uso da água não é recomendado³.

³ A distância de 100 metros foi definida, em comum acordo por equipes da Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais e do Ministério da Saúde, para fins de monitoramento de poços potencialmente impactados logo após rompimento da barragem, considerando as características de baixa mobilidade dos contaminantes presentes no rejeito (IGAM, 2019b).

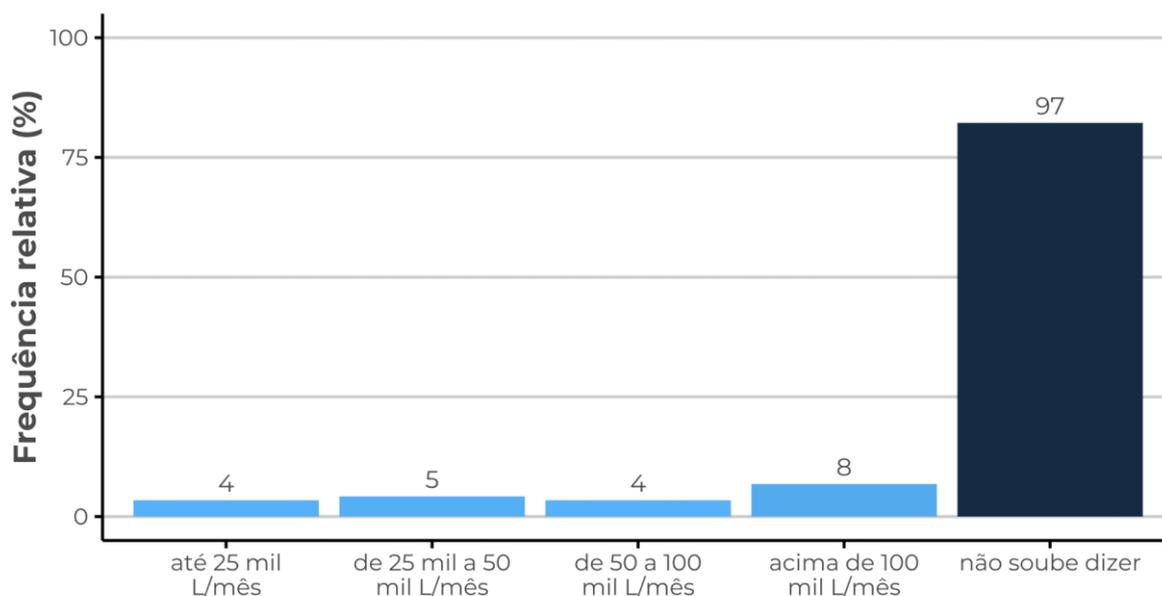
Dada a estrutura do questionário, para a qual buscou-se facilitar o autopreenchimento, não é possível correlacionar exatamente o volume de água utilizado de cada poço. No entanto, considerando que mais de 50% dos poços estão até 100 metros das margens do rio Paraopeba, pode-se conjecturar, a partir desse dado, a significância do volume de água comprometido para uso em terrenos da Região 3.

Figura 33: Respostas na enquete eletrônica sobre utilização da água do rio Paraopeba e/ou poços antes do rompimento da barragem.



No tocante à quantidade de água do rio Paraopeba que era utilizada nos terrenos das pessoas que responderam ao questionário, a distribuição em volumes está representada no Figura 34. Das 118 respostas obtidas, apenas 21 informaram o volume de água do rio Paraopeba que era utilizado previamente ao rompimento da barragem I. Dessas, oito respostas são de usuários que informaram utilizar mais de 100 mil litros de água por mês.

Figura 34: Distribuição dos volumes de água do rio Paraopeba que eram utilizados antes do rompimento.



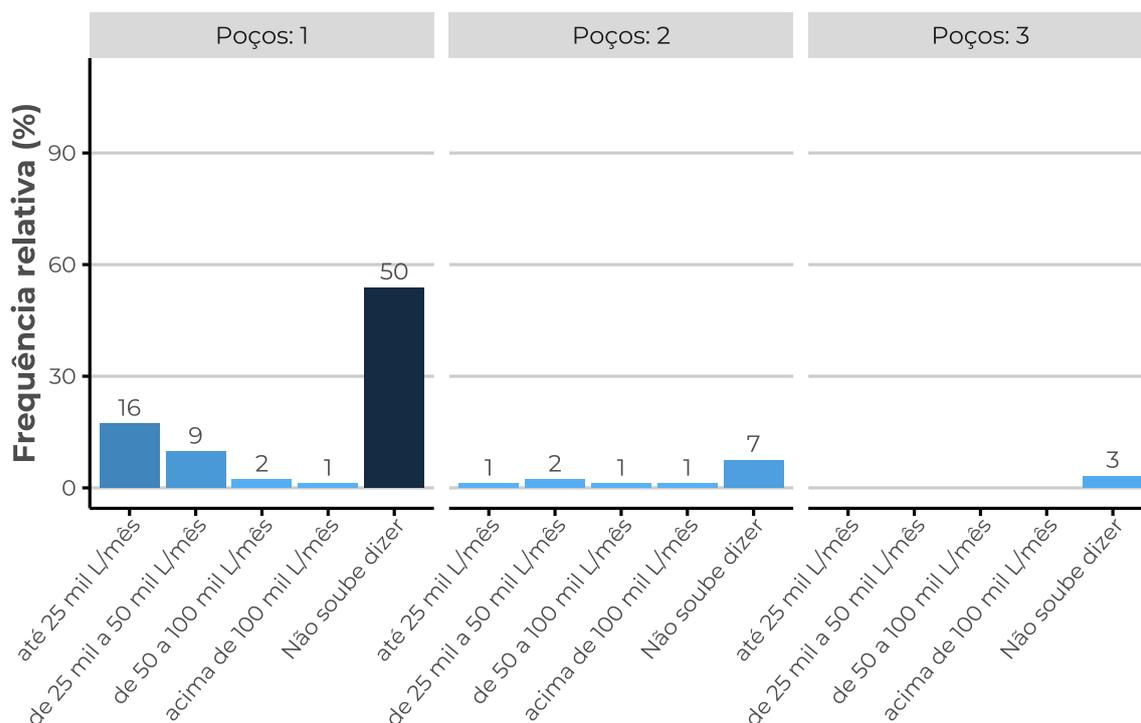
Não é possível, com este instrumento de pesquisa, correlacionar exatamente cada tipo de uso da água aos volumes informados. De qualquer maneira, para discussão dos dados obtidos e dimensionamento da quantidade de água utilizada do rio, pode-se tomar como referência o uso de água em um domicílio com quatro pessoas⁴ (IBGE, 2010). Considerando a estimativa de consumo médio *per capita* no Brasil, ou seja de 154,9 litros por habitante ao dia (BRASIL, 2018), obtém-se que na Região 3 cada unidade familiar com quatro membros poderia ter um gasto diário, anterior ao rompimento, de aproximadamente 620 litros de água, totalizando um volume de 18.600 litros por mês. Essa estimativa de consumo médio mensal, considerando apenas usos individuais domiciliares, é inferior à maior parte dos valores informados pelos atingidos da Região 3 (acima de 25 mil litros/mês), o que demonstra a relevância dos prejuízos a que vêm sendo submetidas essas populações desde 31 de janeiro de 2019, dada a permanência da recomendação de não uso das águas brutas do rio Paraopeba para os mais diversos fins: beber, nadar, pescar, irrigação, dessedentação de animais e abastecimento público (IGAM, 2020c). Além disso, ressalta-se que a maioria das respostas – 97 em 118 – são de pessoas que declararam não saber informar a quantidade de água do rio que era utilizada em seus terrenos,

⁴ Para a Região 3, considera-se uma média de 3,9 pessoas por domicílio.

o que não minora a amplitude dos danos, apenas reforça a urgência de levantamento sistemático ampliado dos comprometimentos ao abastecimento de água na Região 3.

A recomendação de não uso da água de poços e cisternas até 100 metros da margem do rio Paraopeba, implica em que seja dada uma atenção especial também aos comprometimentos advindos dessa fonte de abastecimento de água na Região 3. Para cada terreno que os participantes da pesquisa informavam dados, foi permitido o detalhamento de informações para até três poços. De qualquer maneira, a maior quantidade de informações é relativa a apenas um poço por terreno e, em menor medida, para dois poços por terreno (Figura 35). Constata-se pelas respostas (Poços: 1, 2 e 3) que uma parcela significativa das respostas obtidas – 60 em 118 - são referentes aos participantes da pesquisa que não sabem informar o volume de água utilizado de poços. Igualmente ao que foi apresentado para a discussão da Figura 34, tal ausência de informação não deve relativizar a magnitude dos danos tratados nesta seção.

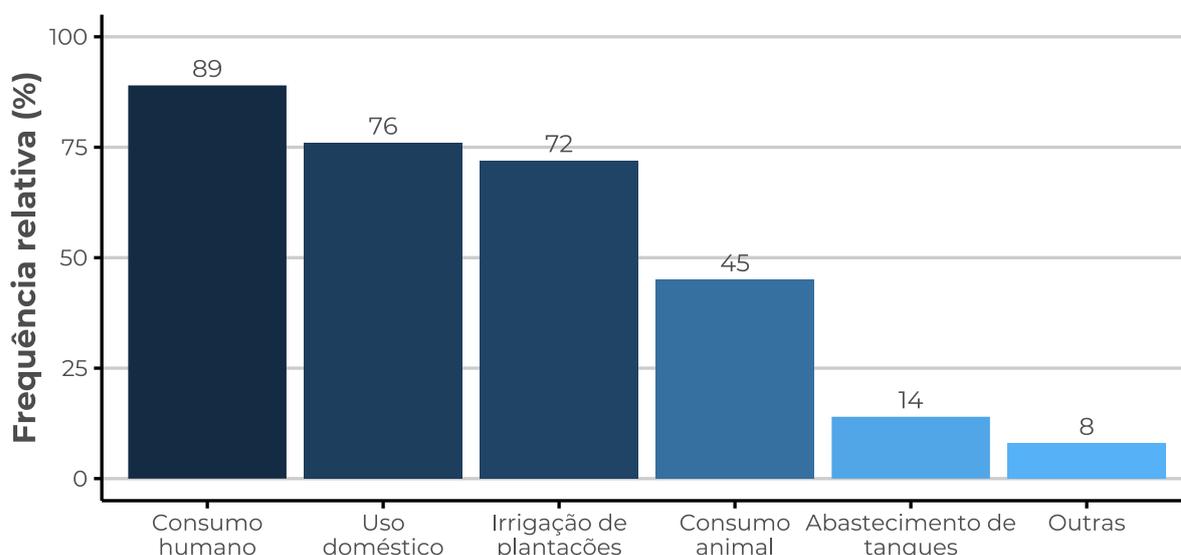
Figura 35: Distribuição dos volumes de água utilizados de poços antes do rompimento.



Com relação à pergunta “Para qual finalidade era utilizada a água do rio Paraopeba e/ou poço(s)?”, o padrão de respostas é apresentado na Figura 36. Mais de 50% das respostas se referem às finalidades “Consumo Humano” e “Uso Doméstico”, o que demonstra a

importância de se considerar os comprometimentos das necessidades básicas das populações locais. Se o rio Paraopeba é um dos principais mananciais provedores de água em quantidade para parte das localidades da Região 3, a recomendação de interrupção das captações de água nesse rio torna problemático o fundamento da Lei 9.433/97 que, em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos seja destinado ao consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997).

Figura 36: Finalidades de uso da água do rio Paraopeba e/ou poços antes do rompimento.



*Pergunta de resposta múltipla. Percentuais somam mais de 100%

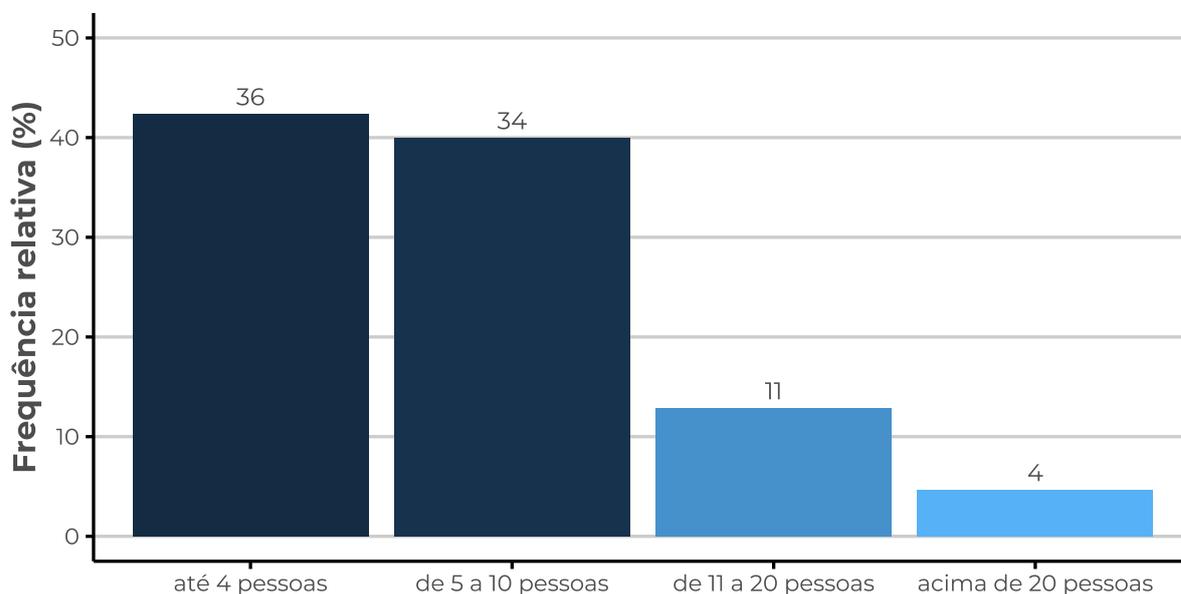
No tocante aos outros usos apontados da água do rio Paraopeba e/ou poços, encontram-se mineração (sem definição do mineral extraído) e extração de areia. Essa última, conforme relatado pelos atingidos nos Campos de Escuta, configura-se em uma atividade econômica local importante (NACAB, 2020b). Entretanto, a contaminação do rio Paraopeba pós-rompimento da barragem I da Mina Córrego do Feijão traz incertezas aos atingidos quanto à preservação da saúde das pessoas que trabalham nessa atividade e que têm, portanto, contato direto com suas águas e sedimentos.

No que diz respeito ao consumo animal, na Região 3 ainda que seja predominante a criação de aves, foram citadas também criações de bovinos, equinos, suínos, búfalos, caprinos e ovinos. Pelos questionários respondidos, foi informado um total de 2.593 cabeças de gado (entre bois, vacas e touros), havendo terrenos com apenas uma cabeça e outros com 500. As aves totalizam 2.741, variando entre 13 e 300 indivíduos por terreno. Na eventualidade das

únicas fontes de água para dessedentação animal nos terrenos serem a água do rio Paraopeba e/ou poços até 100 metros das margens, atividades agropecuárias de pequeno, médio ou grande porte e consumo de núcleos familiares vêm sofrendo severos danos, os quais podem ser ratificados pelos diversos relatos dos atingidos desde o início dos trabalhos da ATI-R3 (NACAB, 2020b).

Considerando as graves implicações das recomendações de não uso da água bruta do rio Paraopeba e de poços e cisternas até 100 metros das margens do rio, torna-se fundamental a análise de quantas pessoas faziam uso dessa água para consumo humano (Figura 37). A partir dessas informações, a ausência ou escassez de outras fontes de abastecimento de água nos terrenos atingidos, aliadas às deficiências de medidas adotadas pela Vale S.A. para abastecimento contínuo de água em algumas localidades, pode estar causando prejuízos significativos em comunidades atingidas.

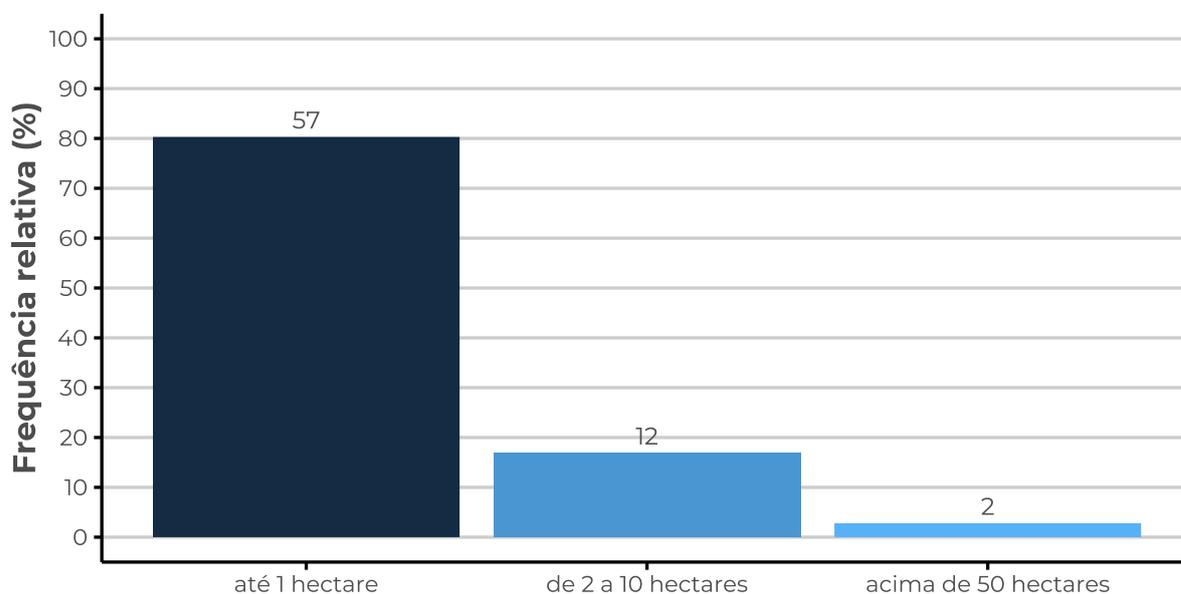
Figura 37: Quantidade de pessoas que utilizam as águas do rio Paraopeba e/ou poços para consumo humano.



Nas finalidades de uso de água que foram citadas como comprometidas, uma vez que as atividades eram realizadas com as águas do rio Paraopeba e/ou poços, em 3º lugar de número de citações encontra-se a modalidade “Irrigação de plantações”. Segundo os resultados obtidos, a maior parte das plantações irrigadas são de áreas de menos de um hectare, o que pode indicar o

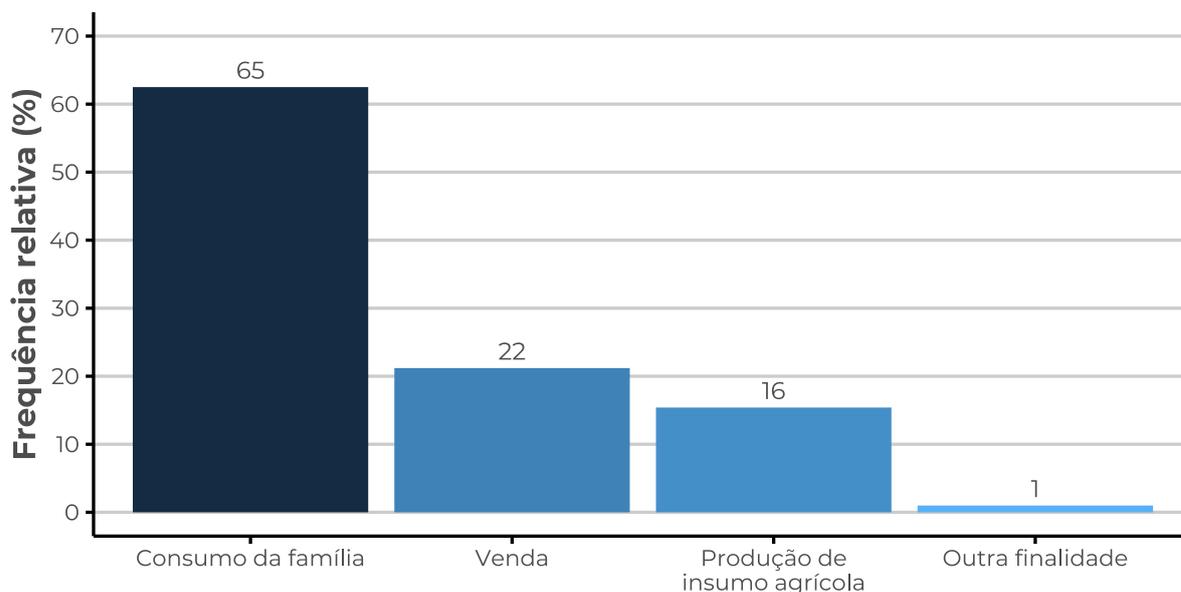
caráter de subsistência dessas plantações ou, alternativamente, como destinadas a atividades produtivas de pequena escala (Figura 38).

Figura 38: Tamanho, em hectares, da área irrigada de plantações.



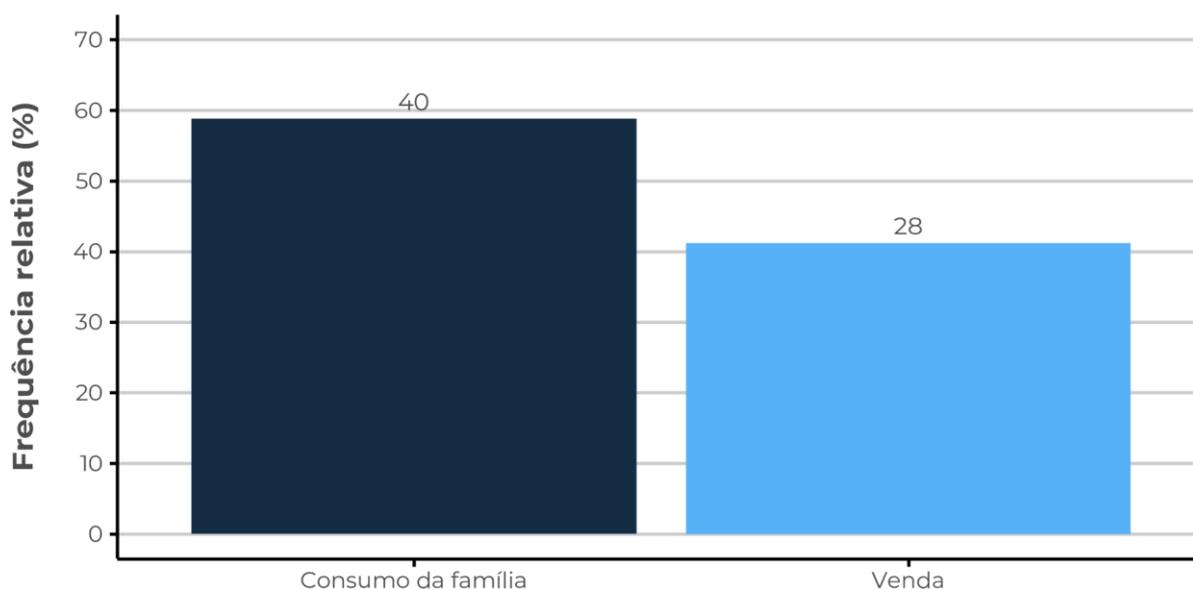
Para aprofundar a discussão acerca dos comprometimentos das áreas de plantações, foi apresentada a seguinte pergunta “*E qual era o destino da plantação?*” (Figura 39). Corroborando a hipótese apontada acima sobre a finalidade das plantações irrigadas, a maior parte das respostas se refere ao consumo familiar. Nesse sentido, prejuízos a essa atividade, devido à inexistência ou escassez de alternativas de irrigação por outras fontes de água, podem ameaçar a segurança alimentar das famílias e comunidades mais vulneráveis, caso existam dificuldades financeiras para a aquisição de gêneros alimentícios que garantam o devido suprimento nutricional. Ademais, a impossibilidade de continuidade de produção do próprio alimento prejudica a soberania alimentar das pessoas e comunidades atingidas. Do mesmo modo, considerando que a 2ª destinação dos plantios era a venda, seu comprometimento leva a uma série de danos econômicos que repercutem de forma sistêmica sobre as cadeias produtivas do território. Esse comprometimento, somado a diminuições na produção de insumos agrícolas, pode retroalimentar quedas na venda das plantações, o que por sua vez acentua a insegurança alimentar a que tais populações podem estar submetidas.

Figura 39: Destinação dos plantios que eram irrigados com água do rio Paraopeba e/ou poços.



Igualmente, foi apresentada no questionário a seguinte pergunta “*A que se destinavam as criações animais?*” (Figura 40). Assim como a análise realizada para a questão anterior, comprometimentos ao abastecimento de água pós-rompimento da barragem repercutem negativamente sobre o desenvolvimento das demais atividades agropecuárias, a segurança alimentar e nutricional de núcleos familiares e extrapolam o cerne da produção. Além das perdas nas safras, redução de rebanhos, perda de áreas de pasto, perda e redução de área de plantio, do aumento de gasto para manter a produção, da interrupção na criação de suínos, aves e atividades de apicultura, há também a perda de diversos postos de trabalhos associados a essas atividades. Trabalhadores locais, que ocupavam cargos de diaristas, caseiros, pedreiros, marceneiros e outras atividades associadas à produção agropecuária, perderam seus empregos e estão em situação de vulnerabilidade socioeconômica (NACAB, 2020b). Com relação ao uso da água do rio Paraopeba e/ou poços para abastecimento de tanques de criação de peixes, cuja principal destinação informada nos questionários respondidos é o consumo familiar, podem também ser suscitados problemas de segurança alimentar e nutricional. Assim como a recomendação de suspensão das atividades pesqueiras no rio Paraopeba gera implicações sobre o acesso regular e permanente à alimentação em quantidade e qualidade adequadas (NACAB, 2020b), a impossibilidade de uso da água do rio e/poços para abastecimento dos tanques de criação de peixes pode acentuar essa situação, aumentando os gastos com a compra de carnes para consumo, quando antes os peixes de tanques também poderiam ser uma fonte de obtenção/complementação proteica.

Figura 40: Destinação das criações de animais desenvolvidas nos terrenos.

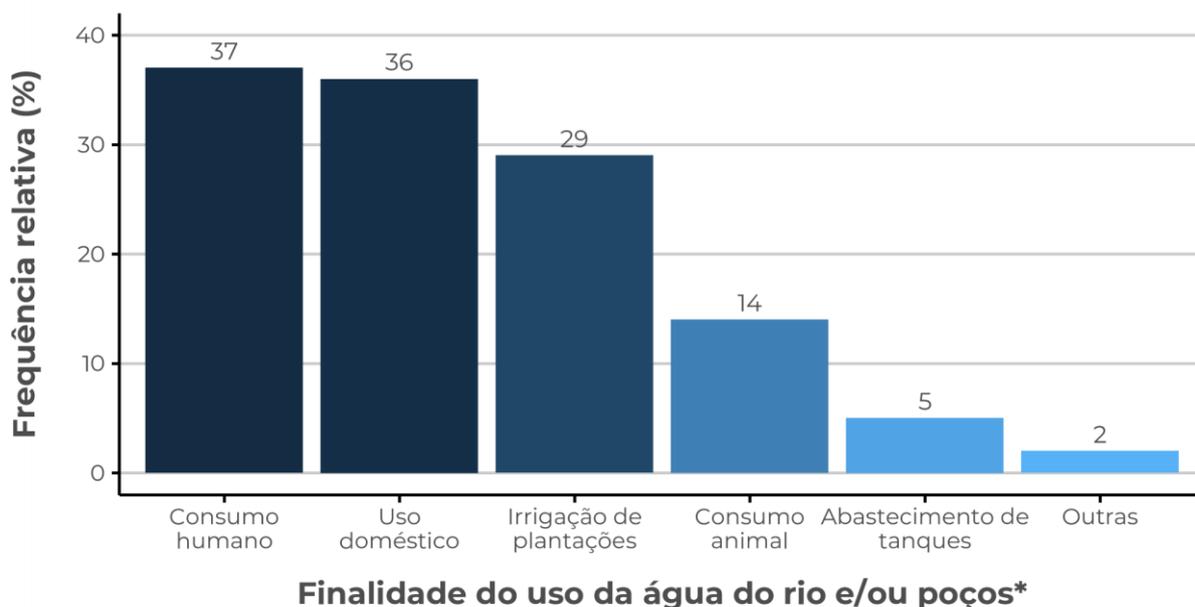


Apesar das recomendações do IGAM, Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais e Ministério da Saúde acerca da não utilização das águas brutas do rio Paraopeba, poços e cisternas até 100 metros, a equipe técnica da ATI-R3 recebe periodicamente notícias de pessoas que continuam usando essas fontes de água. Confirmando essas notícias, dos 118 questionários respondidos, 44 indicaram que continuam utilizando essas águas⁵. A continuidade de uso ocorre principalmente pela falta ou insuficiência de outras fontes alternativas, somadas aos fornecimentos parciais e irregulares de água ou até mesmo o total descumprimento dessa obrigação pela Vale S.A. em localidades da Região 3. Nessa perspectiva, outra dimensão essencial captada por esse questionário foi relativa aos usos que as pessoas e comunidades atingidas seguem realizando dessas águas, sobretudo para fins de consumo humano e outras atividades (Figura 41). Apesar da continuidade do uso da água pelos atingidos, resultados de análises de água do rio Paraopeba, apresentados nos Boletins Informativos do Cidadão (IGAM, 2020d), indicam a verificação de valores superiores aos estabelecidos para corpos d'água Classe 2 de acordo com a Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG nº 01/2008 e a Resolução Conama nº 357/2005 (MINAS GERAIS, 2008; BRASIL, 2005), em pontos e momentos específicos ao longo de 2019 e 2020. Assim, tendo em vista a presença de contaminantes como chumbo, mercúrio e arsênio em desconformidades aos limites legais, é

⁵ Não é possível distinguir, a partir dos resultados, se os poços que continuam sendo utilizados se referem aqueles situados até 100 metros das margens do rio Paraopeba ou a distâncias superiores.

necessária uma atenção especial sobre as possibilidades de riscos à saúde nas populações atingidas, as contaminações em produtos alimentícios de origem animal e vegetal e os impactos ecossistêmicos.

Figura 41: Usos da água do rio Paraopeba e/ou poços às margens do rio após o rompimento.



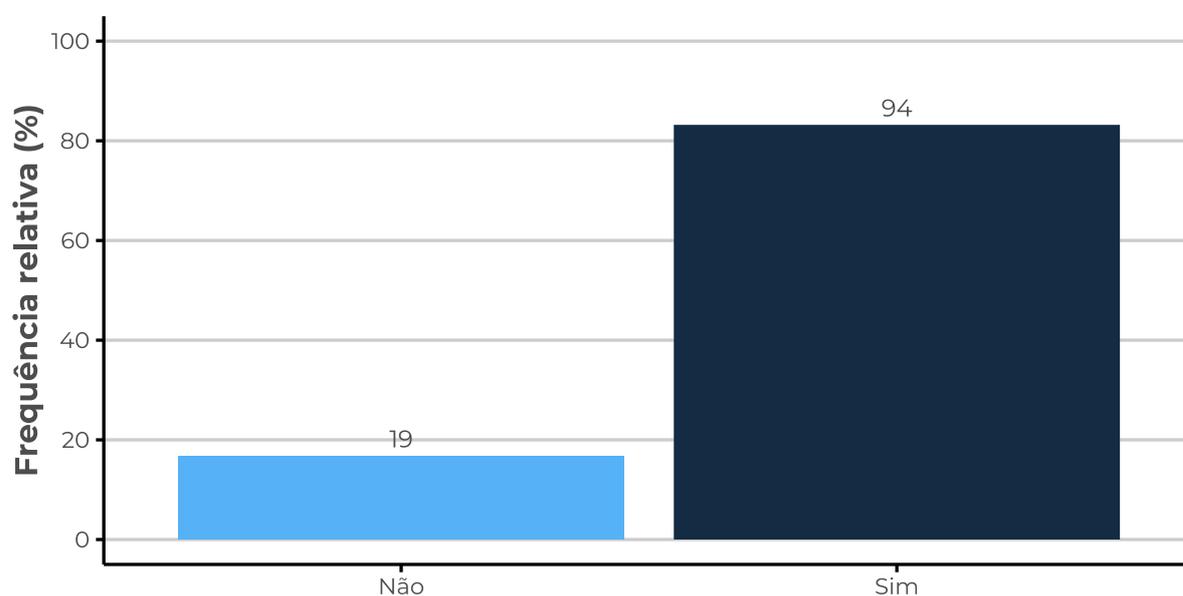
*Pergunta de resposta múltipla. Percentuais somam mais de 100%

A necessidade de uso continuado dessas águas provoca ainda a desvalorização de produtos da região e a insegurança alimentar. Pequenos, médios e grandes produtores estão sujeitos à rejeição ou desvalorização de seus produtos, devido ao estigma sistematicamente produzido com o rompimento da barragem. Não há certezas sobre a contaminação da carne e leite dos animais, nem dos produtos agrícolas, mas o receio relacionado à bacia do rio Paraopeba está instalado. De acordo com informações coletadas durante os Campos de Escuta em 2019, os produtores relataram problemas no escoamento e o consumo desses produtos, resultados da propagação da sensação de insegurança (NACAB, 2020b).

A Figura 42 demonstra que em uma quantidade significativa de questionários respondidos é declarada a exclusividade de uso da água do rio Paraopeba e/ou poços. Assim com a continuidade de uso, esse padrão de respostas traz preocupações sobre a situação das pessoas e comunidades atingidas que não têm outras alternativas e, portanto, tornaram-se, desde janeiro de 2019, dependentes das medidas emergenciais de fornecimento de água, seja por caminhões-pipa, distribuição de água mineral e caixas d'água e/ou solicitação de instalação de

poços/cisternas. Com relação às respostas daqueles que afirmaram não depender exclusivamente dessas águas, as principais fontes alternativas de abastecimento apontadas foram: poços naturais e artesianos, cisternas, represas e, em menor medida, outros cursos d'água. No tocante ao uso de outras fontes, deve ser considerada ainda a superexploração de cursos d'água e aquíferos que não tenham vazão suficiente para suprir novas demandas de água, o que pode repercutir negativamente sobre o balanço hídrico local/regional e o equilíbrio ecológico dos ecossistemas.

Figura 42: Exclusividade de uso da água do rio Paraopeba e/ou poços às margens.

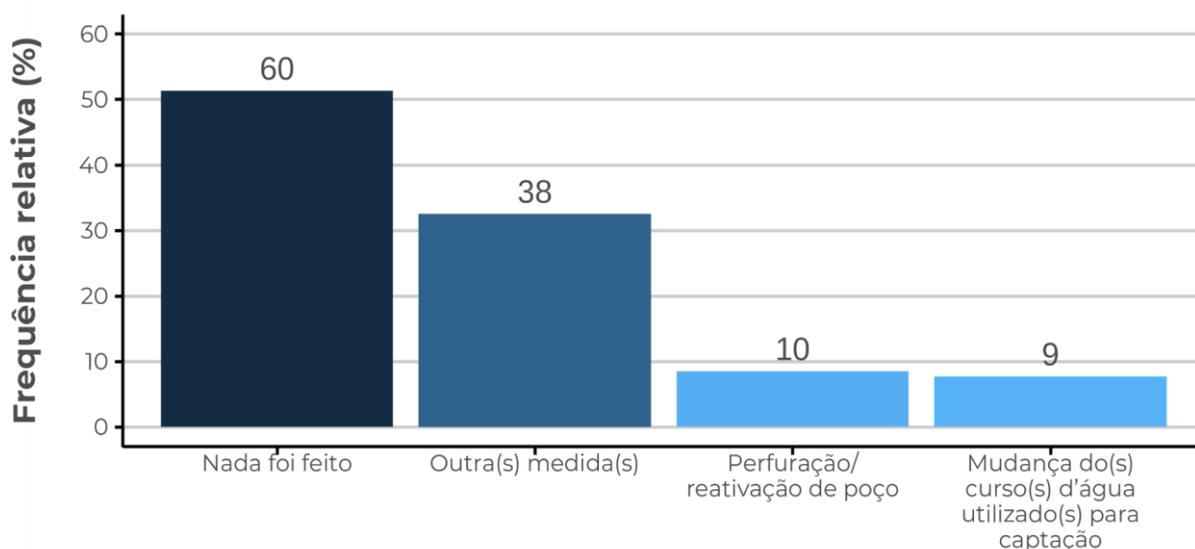


Para a pergunta “Com a proibição de uso da água do rio Paraopeba e poços a 100 metros das margens do rio, qual medida foi adotada no(s) seu(s) terreno(s) para manter o abastecimento?”, o maior número de respostas foi atribuída à opção “Nada foi feito”, o que impõe a necessidade de analisar detidamente se a ausência de alternativas de abastecimento de água têm provocado não apenas a diminuição, mas o fim generalizado de atividades produtivas, o abandono de propriedades, a evasão de pessoas de certas localidades, além de conflitos que podem surgir pelo uso da água. Ainda que em menor grau, a perfuração/reactivação de poços e a mudança(s) do(s) curso(s) d'água utilizado(s) para captação foram elencadas como ações adotadas (Figura 43). No tocante a essas duas últimas medidas que refletem a premência de novas fontes, é importante considerar que a adoção dessas, sem uma rigorosa avaliação prévia da disponibilidade hídrica regional, pode trazer consequências a médio e longo prazos,

comprometendo significativamente os usos múltiplos da água, seja ela superficial ou subterrânea.

Com relação às outras medidas, foram citadas: fornecimento de água mineral e caixa d'água; abastecimento por caminhões-pipa; compra de água potável; adoção de medidas incompletas, como perfuração de poço mas sem interligação às áreas de uso; utilização de água de poço, cisterna e represa; bombeamento de água; instalação de reservatório; armazenamento de água potável em garrafas PETs e bombonas. Parte das medidas foram implementadas pela Vale S.A., enquanto outras foram realizadas pelos próprios atingidos e com eventuais gastos particulares.

Figura 43: Medidas adotadas para manutenção do abastecimento de água.

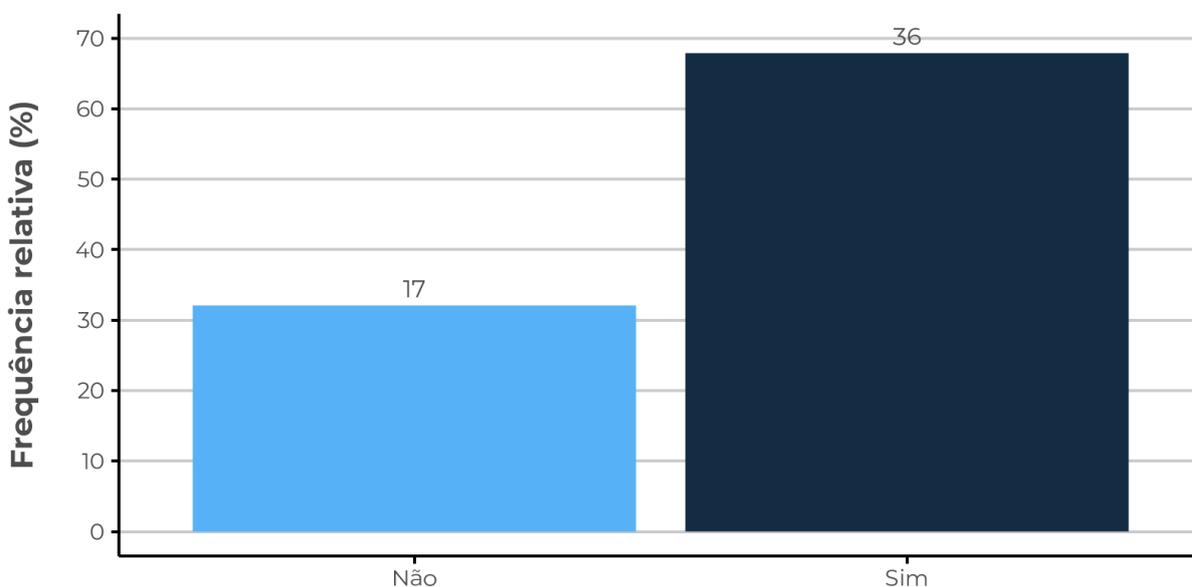


*Pergunta de resposta múltipla. Percentuais somam mais de 100%

Quando questionados se as medidas adotadas para garantir o abastecimento de água podem gerar algum problema futuro, a maior parte das respostas apresentadas pelos participantes foi “SIM” (Figura 44). Percebe-se que os problemas futuros apontados pelos participantes da pesquisa dizem respeito tanto ao escopo desta pergunta, quanto a outros tipos de problemas resultantes do rompimento, tais como: contaminação de peixes, água e solo; falta de água para atividades de lazer (ex.: enchimento de piscinas); morte de plantações; gastos elevados com compra de água; dependência da empresa (Vale S.A.); insuficiência da quantidade de água de poço, prejudicando atividades; problemas financeiros; depreciação de imóveis; surgimento de doenças devido à contaminação da água; interrupção do abastecimento

de água, por razões diversas, antes do retorno do rio às condições anteriores ao rompimento; falta de cumprimento dos acordos pela Vale S.A.; degradação de áreas de pasto por gado, resultando em necessidade de venda do mesmo por falta de alimentação disponível; consumo excessivo de água de cisterna e mini poço resultando em escassez futura; retrocesso na atividade agropecuária; mortandade de animais (ex.: peixes). Esses problemas coincidem com aqueles apresentados nas versões do Plano de Trabalho da ATI-R3, os quais seguem sendo recorrentes nas manifestações dos dilemas vivenciados pelas pessoas e comunidades atingidas.

Figura 44: Opiniões sobre eventuais problemas futuros com as medidas adotadas para abastecimento de água.

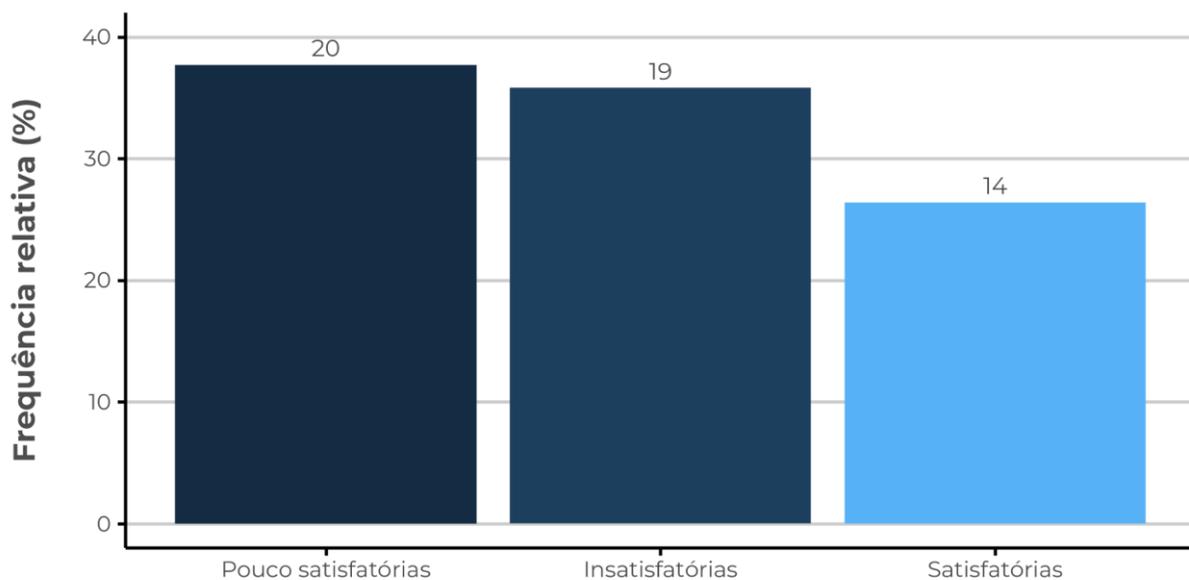


Com base nas medidas adotadas, foi questionado aos participantes o grau de satisfação com as mesmas (Figura 45). A maior parte das respostas indicou níveis pouco satisfatórios ou insatisfatórios, o que leva a questionamentos sobre a eficácia, abrangência e adequabilidade das ações executadas pela Vale S.A., as quais são compiladas e periodicamente divulgadas nos documentos “Balanço da Reparação” (Vale S.A., 2020) como de qualidades incontroversas. No entanto, segundo o relatório sobre acompanhamento de visitas da Vale S.A. para atendimento às demandas emergenciais de água para sete famílias (NACAB, 2020c), foi verificado que as ações para abastecimento de água nos casos observados não têm sido suficientes para garantir o pleno direito à água. Os critérios de atendimento adotados pela Vale S.A. são ineficientes, principalmente nos casos relacionados a fontes de água comprometidas que estão localizadas a mais de 100 metros do rio Paraopeba. Além disso, famílias que se encaixam nos critérios

adotados pela empresa não estão sendo atendidas com acesso à água em qualidade e quantidade suficientes, ou simplesmente sem qualquer tipo de atendimento em alguns casos. Também foram observados casos em que as demandas dos atingidos foram negadas pela Vale S.A., sob a alegação que estas pessoas já possuíam acesso a fontes de água que estivessem a mais de 100 metros do rio Paraopeba. Apesar da empresa considerar que a demanda de água esteja atendida, impactos indiretos causados pela solução fornecida pela empresa impedem o pleno acesso à água.

Tendo em vista esse panorama, torna-se indispensável o acompanhamento contínuo e direto das ações adotadas para Vale S.A. para abastecimento de água, como forma de identificar possíveis atendimentos diferenciados ao longo da Região 3 e, a partir disso, garantir que sejam respeitados os direitos fundamentais e inegociáveis de todas as pessoas e comunidades atingidas.

Figura 45: Nível de satisfação com as medidas adotadas para manutenção do abastecimento de água.



3.3. Análise sobre os dados de outorga de uso de recursos hídricos

As Tabelas 12 e 13 mostram a quantidade de outorgas de usos consuntivos disponibilizadas para captação subterrânea e superficial, respectivamente, ao longo do território da Região 3. Ao total foram emitidas 399 outorgas, das quais as maiores quantidades foram

para consumo humano e dessedentação de animais. Dentre este total de outorgas, 17 são referentes a distância de até 100 metros da calha do rio Paraopeba.

Tabela 12: Quantidade de outorga de captação subterrânea, segundo uso (Região 3).

USO (CAPTAÇÃO SUBTERRÂNEA)	QUANTIDADE DE OUTORGAS	USO (CAPTAÇÃO SUBTERRÂNEA)	QUANTIDADE DE OUTORGAS
Abastecimento público	2	Consumo humano, Irrigação, Paisagismo, Não Informado	1
Aquicultura, Consumo humano	1	Consumo humano, Paisagismo, Não Informado	2
Consumo agroindustrial, Consumo humano, Dessedentação de animais	2	Consumo humano, Paisagismo, Urbanização, Não Informado	3
Consumo agroindustrial, Consumo humano, Dessedentação de animais, Irrigação	1	Consumo industrial	3
Consumo humano	66	Consumo industrial, Dessedentação de animais	1
Consumo humano, Dessedentação de animais	1	Dessedentação de animais	18
Consumo humano, Consumo industrial	3	Dessedentação de animais, Irrigação	2
Consumo humano, Consumo industrial, Dessedentação de animais	1	Extração mineral	11
Consumo humano, Dessedentação de animais	70	Irrigação	2
Consumo humano, Dessedentação de animais, Irrigação	12	Lavagem de veículos	1
Consumo humano, Dessedentação de animais, Paisagismo	2	Não Informado	4
Consumo humano, Dessedentação de animais, Paisagismo ,Recreação, Não Informado	1	Paisagismo	2
Consumo humano, Dessedentação de animais, Recreação	1	Sem dados no banco	2
Consumo humano, Irrigação	8		
TOTAL			223

Para subsidiar a mensuração do comprometimento de abastecimento de água na Região 3, foi realizada uma análise das outorgas e registros de usos insignificantes da água para o rio Paraopeba e águas subterrâneas a uma distância de até 100 metros do rio, cadastradas em SISEMA (2020).

Tabela 13: Quantidade de outorga de captação superficial, segundo uso (Região 3).

USO (CAPTAÇÃO SUPERFICIAL)	QUANTIDADE DE OUTORGAS	USO (CAPTAÇÃO SUPERFICIAL)	QUANTIDADE DE OUTORGAS
Abastecimento público	3	Consumo industrial	4
Agricultura	2	Consumo industrial, Extração mineral	3
Aquicultura, Dessedentação de animais	10	Consumo industrial, Lavagem de veículos, Recirculação de Água, Não Informado	1
Aquicultura, Dessedentação de animais, Paisagismo	1	Dessedentação de animais	43
Aquicultura, Paisagismo	1	Dessedentação de animais, Irrigação	23
Aquicultura, Paisagismo, Não Informado	1	Dessedentação de animais, Irrigação, Paisagismo	2
Aquicultura, Paisagismo, Recreação, Não Informado	1	Dessedentação de animais, Paisagismo	6
Consumo Agroindustrial	3	Extração mineral, Não Informado	1
Consumo agroindustrial, Dessedentação de animais	1	Extração mineral	2
Consumo agroindustrial, Dessedentação de animais, Irrigação	1	Irrigação	31
Consumo Agroindustrial, Irrigação	1	Irrigação, Paisagismo	1
Consumo humano	5	Não Informado	7
Consumo humano, Consumo industrial	1	Paisagismo	3
Consumo humano, Dessedentação de animais	8	Paisagismo, Não Informado	1
Consumo humano, Dessedentação de animais, Irrigação	3	Regularização de vazão	1
Consumo humano, Dessedentação de animais, Paisagismo, Recreação, Não Informado	1	Sem dados no banco	2
Consumo humano, Irrigação	2		
TOTAL			176

Fonte: SISEMA (2020).

É importante ressaltar que, principalmente no caso de águas subterrâneas, a existência de poços não outorgados ou não cadastrados é um fato usual entre os pequenos usuários. Desta maneira, os números apresentados estão subestimados, no entanto, podem ser utilizados para indicar a ordem de grandeza das vazões utilizadas no território. Ademais, outorgas e cadastros de uso insignificante indicam a vazão máxima permitida de ser explorada pelo outorgante, assim, existe a possibilidade que a vazão real utilizada seja inferior ao limite autorizado, bem como a utilização de usos de quantidades acima da vazão outorgada.

As Figuras 46 e 47 indicam os volumes de água acumulados (m³/d) considerando os registros de outorgas de até 100 metros do rio Paraopeba. Estes valores e usos (indicados nas duas figuras) são referentes à toda a Região 3, sendo possível observar que o abastecimento público e a irrigação possuem os maiores valores e que somados, representam cerca de 98,9% do volume total acumulado.

Figura 46: Captação superficial de usos consuntivos da Região 3. Fonte: SISEMA (2020). Adaptado.

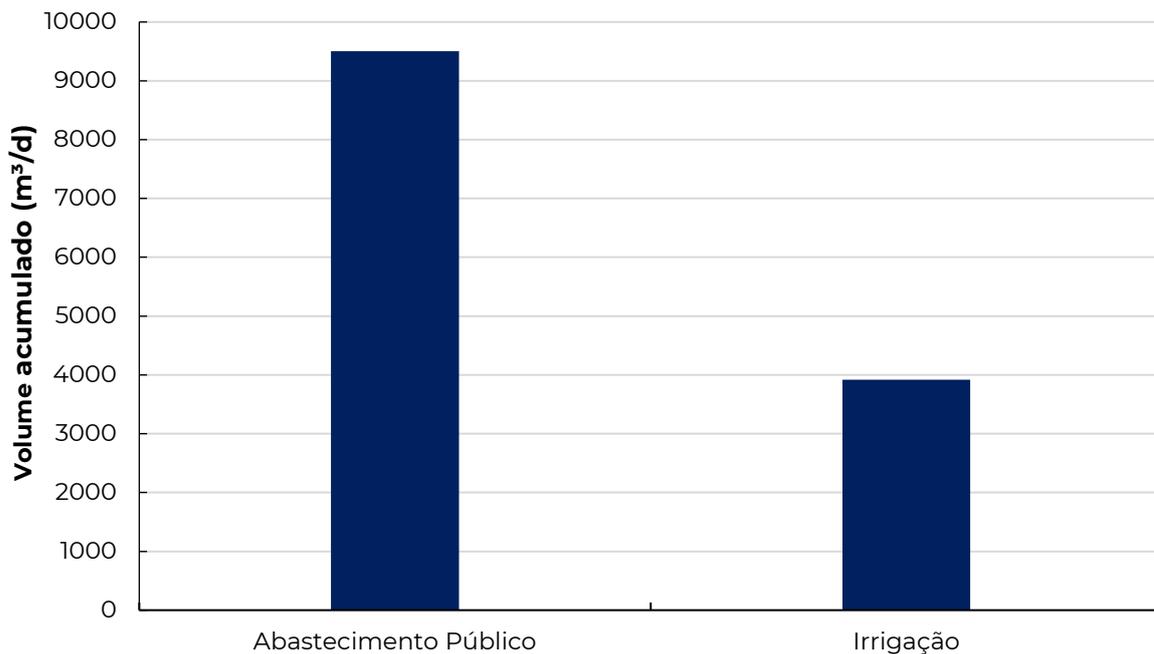
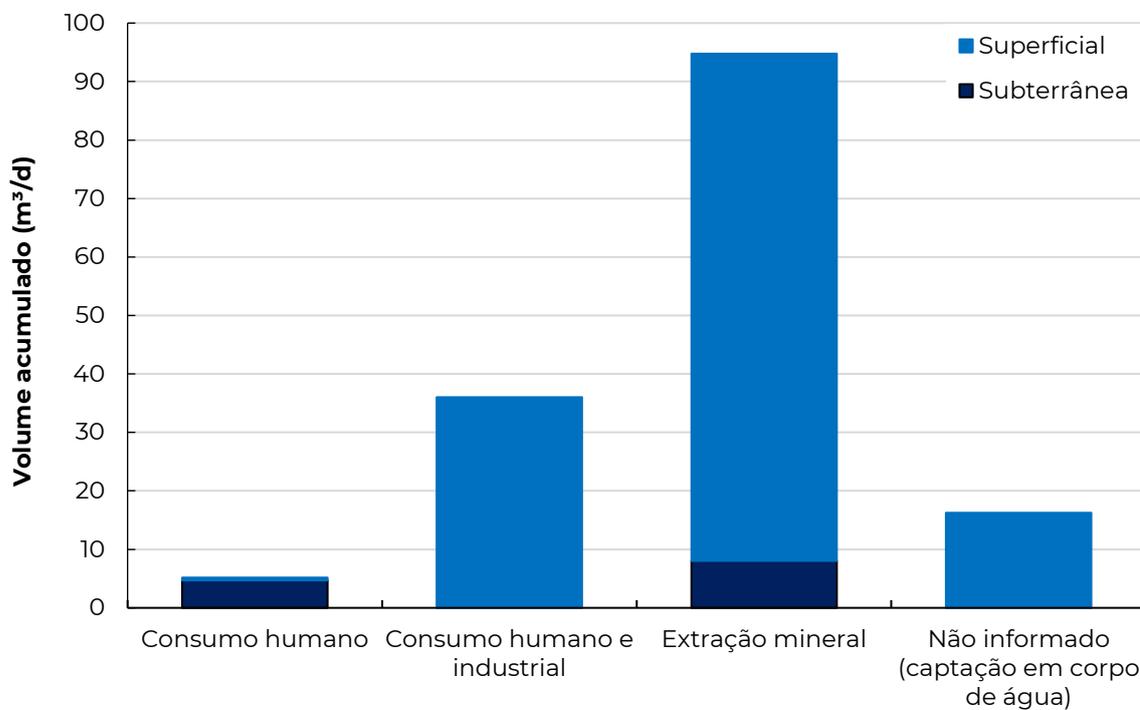


Figura 47: Captação superficial e subterrânea de usos consuntivos da Região 3. Fonte: SISEMA (2020). Adaptado.



Como resultados dos dados analisados e apresentados nas Figuras 46 e 47 (acima), para a Região 3, verificou-se que a vazão total outorgada do rio Paraopeba para abastecimento público é de aproximadamente 9.500 m³/d, sendo captada exclusivamente em Paraopeba, na comissão dos Produtores Rurais do Paraopeba, em uma única outorga. Ademais, foi observado que a vazão outorgada para irrigação é de aproximadamente 4.000 m³/d, correspondente ao somatório de sete outorgas de captação superficial, em diferentes municípios⁶. Ainda a respeito do panorama geral das outorgas e cadastros de usos insignificantes no rio Paraopeba para a Região 3 (Figura 47), foi verificado o registro de aproximadamente 35 m³/d utilizados para consumo humano e industrial (1 outorga em Papagaios), 5,20 m³/d para consumo humano (3 outorgas na comissão dos Produtores Rurais do Paraopeba), 90 m³/d para extração mineral (3 outorgas em Beira Córrego e Retiro dos Moreira, Vista Alegre, Riacho) e próximo a 15 m³/d para usos não informados (2 outorgas: em Vista Alegre e Riacho). Assim, observa-se que os maiores comprometimentos das demandas de água providas pelo rio Paraopeba foram o abastecimento público e a irrigação, usos estes essenciais para a manutenção de uma qualidade de vida mínima. Ao comparar as vazões outorgadas do rio Paraopeba com as vazões dos poços⁷ a até 100 metros do rio (Figuras 46 e 47), a diferença entre os volumes captados são significativamente diferentes. Isto ocorre devido aos grandes volumes do rio Paraopeba demandados para abastecimento humano e irrigação. Além disso, existe a tendência dos poços artesianos serem perfurados próximos aos locais que serão abastecidos pela água e assim, a maior parte dos poços da Região 3 tendem a estar a uma distância superior a 100 metros do rio Paraopeba, não possuindo recomendação do Estado de não serem utilizados. A grande quantidade de poços, principalmente para consumo humano, que não estão regularizados juntos ao IGAM também deve ser considerada nesta análise.

Devido a impossibilidade de continuar a utilizar a água do rio Paraopeba, a vazão utilizada para abastecimento público necessita ser extraída de outras fontes, visto que o abastecimento público é um uso prioritário da água, e um direito fundamental para pleno exercício da vida. O comprometimento desta vazão de água pode impactar nas questões relacionadas à saúde e segurança alimentar. Além disso, a necessidade de buscar fontes de água

⁶ As comissões com outorgas de irrigação são: Riacho (1 outorga e volume acumulado igual a 25,2 m³/d); São José (1 outorga e volume acumulado igual a 1,8 m³/d); Córrego da Areia (2 outorgas e volume acumulado igual a 155,52 m³/d); Três Barras (1 outorga e volume acumulado igual a 42,12 m³/d); Produtores Rurais do Paraopeba (2 outorgas e volume acumulado igual a 3695,85 m³/d).

⁷ Foram observadas 3 outorgas de captação subterrânea com os seguintes usos: extração mineral (1 outorga, na comissão de Beira Córrego e Retiro dos Moreira - volume acumulado de 8 m³/d); e, consumo humano (2 outorgas na comissão de Produtores Rurais do Paraopeba - volume acumulado igual a 4,7 m³/d).

alternativas pode gerar novos conflitos pelo uso da água ou acirrar os já existentes. Somado a estes fatores, as pressões por uso da água, devido à ausência de ações reparadoras e/ou compensatórias, podem desencadear novos impactos socioambientais no território, dada às adversidades ocorridas pelo rompimento da barragem I da Mina Córrego do Feijão.

A impossibilidade da utilização de água para irrigação pode impactar na produção de alimentos para subsistência e da agricultura comercial. Dessa maneira, a necessidade de buscar novas fontes de água também pode impactar nos custos de produção, ou até mesmo inviabilizá-la, a depender da impossibilidade técnica ou econômica da utilização de novas fontes.

Desta maneira, é notório que, sob o aspecto quantitativo, e considerando apenas os mananciais de água que estão impedidos de serem utilizados por recomendação do Estado de Minas Gerais, grande parte dos comprometimentos no abastecimento de água está concentrado no município de Paraopeba. Soma-se a isso, os diversos poços não cadastrados e utilização de água do rio Paraopeba por pequenos produtores, que utilizam, informalmente, pequenas quantidades de água do rio. A partir da análise destas figuras observa-se que considerando usos consuntivos a até 100 metros da calha do rio Paraopeba, poucas são as comissões, registradas pelo SISEMA, que fazem uso da água. Entretanto, ao se considerar os usos supracitados, estes possuem um elevado impacto na vida de muitos atingidos e atingidas, visto que são usos com potencial para atender demandas essenciais à manutenção de vida, especialmente daqueles que se encontram às margens do rio Paraopeba.

4. Considerações Finais

A partir das análises dos formulários eletrônicos sobre as demandas de água e a avaliação dos volumes acumulados, segundo outorgas emitidas pelo IGAM, observa-se que os atingidos e atingidas da Região 3 não estão recebendo a atenção necessária para a manutenção de suas vidas e de seus direitos ao acesso à água de qualidade. Estas considerações foram observadas a partir das respostas aos formulários eletrônicos, das quais, a maioria registra que os atingidos não receberam serviço algum quanto às demandas de água, ou quando receberam, tais serviços não atenderam às expectativas mínimas. Além disto, a proibição de utilização da água do rio Paraopeba causa graves consequências para o abastecimento público. Um grande volume, que deveria abastecer a população da Região 3, não é possível de ser utilizado, afetando

direta e indiretamente a vida de muitos, já que o acesso a água é um direito fundamental e necessário para pleno gozo da vida.

O questionário para avaliação dos comprometimentos ao abastecimento de água forneceu um panorama sobre prejuízos qualitativos e quantitativos que as pessoas e comunidades atingidas da Região 3 vêm sofrendo, além das medidas adotadas para garantir a manutenção no abastecimento de água. Os resultados obtidos complementaram as análises e reforçaram a precariedade do atendimento às demandas de água já apresentadas no formulário eletrônico aplicado entre maio e outubro de 2020, assim como expuseram pontos de atenção relativos ao uso continuado das águas do rio Paraopeba e/ou poços até 100 metros das margens. Mesmo com as limitações impostas por esse instrumento de pesquisa, as informações extraídas são um retrato de parte do território e evidenciam, portanto, a urgência de alcance a um maior número de pessoas atingidas, com o objetivo de se aprofundar a compreensão acerca dos problemas de abastecimento de água que assolam o território desde janeiro de 2019.

Pôde-se perceber também que um grande volume de água do Paraopeba era utilizado para irrigação antes do rompimento da barragem e atualmente não pode mais ser utilizado. Conseqüentemente, atividades relacionadas à agricultura foram comprometidas, sendo necessário buscar novas fontes de água ou depender do fornecimento providenciado pela Vale S.A. Desta maneira, o impedimento de se utilizar a água do rio Paraopeba pode ocasionar um aumento de captação de outras fontes de água menos abundantes que o rio, gerando comprometimento da disponibilidade hídrica e outros impactos ambientais. Nos casos em que não houver disponibilidade de outras fontes, o agricultor é obrigado a reduzir sua produção agrícola, ou até mesmo interromper tal atividade, o que gera impactos socioeconômicos que devem ser considerados.

As informações contidas neste diagnóstico fornecem subsídios à adoção de medidas emergenciais de abastecimento de água, tanto para as pessoas e comunidades atingidas que ainda não se beneficiam de qualquer tipo de atendimento, quanto para as localidades onde se faz necessário o aprimoramento das ações em curso. Nesse sentido, este diagnóstico se apresenta como um dos elementos que qualifica tanto as medidas mitigatórias atuais quanto as futuras iniciativas de reparação integral dos danos.

Por fim, ressalta-se que parte das informações apresentadas neste diagnóstico não pôde ser alvo de análises mais técnicas, contextualizadas e pormenorizadas devido à não disponibilização de dados oficiais, séries históricas, planos de ações, relatórios consolidados, estudos, entre outros documentos de interesse, mesmo considerando as reiteradas solicitações

da ATI-R3 seja diretamente ou indiretamente (via Instituições de Justiça ou Comitê Pró-Brumadinho) aos órgãos competentes, tais como IGAM, concessionárias prestadoras de serviços de água e esgoto, além de instituições como Vale S.A. e auditoria AECOM.

5. Referências Bibliográficas

BJELKEVIK, A. Water Cover Closure Design for Tailings Dams: State of the Art Report. Ed. 1. p. 325. 2005.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 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.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/alocacao-de-agua/oficina-escassez-hidrica/legislacao-sobre-escassez-hidrica/uniao/lei-no-9433-1997-pnrh/view>>. Acesso em 23 nov. 2020.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial [da] União, Brasília, n. 53, 18 mar. 2005.

HATJE V., PEDREIRA R.M.A., REZENDE C.E., et al. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. *Scientific Reports*. v.7(1), 10706, 2017.

HELLSTRÖM, L., PERSSON, B., BRUDIN, L., GRAWÉ, K.P., ÖBORN, I., JÄRUP, L. Cadmium exposure pathways in a population living near a battery plant. *Sci. Total Environ*. v. 373, p. 447–455. 2007.

HILSON, G. Abatement of mercury pollution in the small-scale gold mining industry: Restructuring the policy and research agendas. *Science of The Total Environment*. v. 362, p. 1-14, 2006.

HUDSON-EDWARDS, K.A., MACKLIN, M.G., JAMIESON, H.E., BREWER, P., COULTHARD, T.J., HOWARD, A.J., TURNER, J. The impact of tailings dam spills and clean-up operations on sediment and water quality in river systems: the Ríos AgrioGuadamar, Aznalcóllar, Spain. *Appl. Geochem.* v. 18, p. 221–239. 2003.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=14881&t=sobre>>. Acesso em 23 nov. 2020.

IGAM(a). Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Avaliação da Qualidade das Águas e Sedimentos do Rio Paraopeba: acompanhamento da qualidade das águas do rio Paraopeba após 1 ano do rompimento da Barragem da Mina Córrego Feijão em Brumadinho - MG. Caderno Especial, 66 p., Belo Horizonte, 2020.

IGAM(b). Instituto Mineiro de Gestão das Águas - Gerência de Monitoramento da Qualidade das Águas (GEMOQ). Nota Técnica nº 24/IGAM/GEMOQ/2019. Disponível em: <https://www.saude.mg.gov.br/images/noticias_e_eventos/000_2019/set_out_nov_deze/nota%20tecnica%20Brumadinho.pdf>. Acesso em 23 nov. 2020.

IGAM(c). Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Boletim Informativo do Cidadão – Nº 16, Setembro 2020. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/2020/RECUPE_RACAO_AMBIENTAL_PARAOPEBA/Boletim_do_Cidadao_N%C2%BA_16_FINAL_1.pdf>. Acesso em 26 nov. 2020.

IGAM(d). Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Boletim Informativo do Cidadão sobre a Qualidade de Água no Rio Paraopeba. Disponível em: <<http://www.feam.br/component/content/article/15/1992-boletim-informativo-do-cidadao-sobre-a-qualidade-da-agua-no-rio-paraopeba>>. Acesso em 26 nov. 2020.

KOSSOFF, D., DUBLIN, W.E., ALFREDSSON, M., EDWARDS, S.J., MACKLIN, M. G, HUDSON-EDWARDS, K. A. Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. *Applied Geochemistry.* v. 51, 229 - 245. 2014.

KOSSOFF, D., HUDSON-EDWARDS, K.A., DUBBIN, W.E., ALFREDSSON, M. Major and trace metal mobility during weathering of mine tailings: implications for floodplain soils. *Appl. Geochem.* v. 27, p. 562–576. 2012.

KOSSOFF, D., HUDSON-EDWARDS, K.A., DUBBIN, W.E., ALFREDSSON, M.A.. Incongruent weathering of Cd and Zn from mine tailings: a column leaching study. *Chem. Geol.* v. 281, p. 52–71, 2011.

MACKLIN, M.G., BREWER, P.A., BALTEANU, D., COULTHARD, T.J., DRIGA, B., HOWARD, A.J., ZAHARIA, S.. The long term fate and environmental significance of contaminant metals released by the January and March 2000 mining tailings dam failures in Maramures County, upper Tisa Basin, Romania. *Appl. Geochem.* v. 18, p. 241–257. 2003.

MECK, M., LOVE, D., MAPNI, B. Zimbabwean mine dumps and their impacts on river water quality: a reconnaissance study. *Phys. Chem. Earth. Pts A/B/C/*, v.31, p. 797–803. 2006.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambientak (COPAM); Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (CERH-MG). Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 13 maio 2008.

MIRANDA, L. S. & MARQUES, A. C. Hidden impacts of the Samarco mining waste dam collapse to Brazilian marine fauna – an example from the staurozoans (Cnidaria). *Biota Neotrop.* 16, 1–3 (2016).

NACAB(a). Núcleo de Assessoria aos Atingidos por Barragens. Caracterização das zonas atingidas pelas enchentes do rio Paraopeba e danos às propriedades da Comissão de Taquaras, Esmeraldas, MG. 2020.

NACAB(b). Núcleo de Assessoria aos Atingidos por Barragens. Plano de Trabalho - Versão 49. 2020.

NACAB(c). Núcleo de Assessoria aos Atingidos por Barragens. Relatório das visitas relacionadas às demandas de água. 2020.

SISEMA. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: IDE-Sisema, 2020. Disponível em: <idesisema.meioambiente.mg.gov.br>. Acesso em 19 nov. 2020.

SOS MATA ATLÂNTICA. Observando rios: O retrato da qualidade da água nas bacias dos rios Paraopeba e Alto São Francisco um ano após o rompimento da barragem Córrego do Feijão – Minas Gerais. Cord. RIBEIRO, M. A. p. 28. Janeiro, 2020.

CAPÍTULO 3

DIAGNÓSTICO DOS CONFLITOS SOCIOAMBIENTAIS DA REGIÃO 3

1. Introdução

“Correram assim os rios, quatro estações pontuais por ano, que essas estão certas, mesmo variando. A grande paciência do tempo, e outra, não menor, do dinheiro, que, tirante o homem, é a mais constante de todas as medidas, mesmo como as estações variando”.

José Saramago (2009, p. 13).

Na contemporaneidade, uma ampla bibliografia ligada à problemática ambiental evoca autores das mais diversas tendências políticas e filosóficas, a expressarem propostas e alternativas nem sempre simples de relacionar com suas posturas, perspectivas e tendências. No campo ambiental, há uma infindável diversidade de concepções, saberes e entendimentos sobre o que seja natureza, ao aventar-se a diversidade e pluralidade de perspectivas étnicas e socioculturais, para além da própria diversidade científica e epistemológica em torno do tema. É possível ampliar o leque de possibilidades interpretativas ao nos debruçarmos sobre o espaço geográfico, na medida em que compreendemos que este é, com efeito, densamente social, cujas dinâmicas ressaltadas serão àquelas das relações sociais, sem perder o norte das dinâmicas naturais e suas relativas implicações, isto é, quando parte-se de uma perspectiva integradora entre sociedade e natureza (LEFEBVRE, 2000; SOUZA, 2015; GROSSI BASTOS, 2020). Neste sentido, tem-se por princípio a compreensão de que a natureza não pode ser reduzida como algo puramente exterior ao humano, pois a própria concepção de natureza passa por construções que são histórico-culturais, portanto:

[...] as fronteiras entre natureza e cultura são reais, mas suas relações e interpretações são dinâmicas, uma vez que a técnica constantemente influencia, e o imaginário social constantemente redefine o que é “natural” e o que é “artificial” (SOUZA, 2015, p.29).

Os recursos ditos naturais, dos quais a vida dos grupos sociais dependem são bens coletivos e, portanto, indivisíveis e inalienáveis, sob o manto da perspectiva das ciências sociais; isso ocorre, pois, os objetos que constituem o meio ambiente não podem ser redutíveis à matéria e energia, já que são também etnoculturais e históricos. Santos (1996) adverte que cada objeto no espaço é visto de formas distintas por grupos sociais distintos. Um rio pode configurar uma fonte de alimentação (peixes), de água (dessedentação dos animais) e energia, além de remeter a práticas e valores culturais, religiosos e simbólicos distintos entre grupos sociais. Desta forma, assim como diferentes sujeitos constroem representações sociais distintas sobre o mundo, certamente as espacialidades são inseridas em sistemas de objetos e ações, as quais, por sua vez, são permeadas por relações de poder (MOSCOVICI, 2001; SANTOS, 1996). Por conta disso, o uso de recursos naturais é, como proposto por Georgescu-Roegen, sujeito a conflitos entre os distintos usos, sentidos e fins (ACSELRAD, 2004). Passam a se configurar, portanto, diversos conflitos socioambientais, entendendo estes como as disputas entre grupos sociais, derivados das relações distintas por eles mantidas com os recursos naturais à sua volta (CUNHA, 2003). Segundo Acselrad (2004), tratam-se de conflitos que envolvem:

[...] grupos sociais com modos diferenciados de apropriação, uso e significação do território, tendo origem quando pelo menos um dos grupos tem a continuidade das formas sociais de apropriação do meio que desenvolvem ameaçada por impactos indesejáveis – transmitidos pelo solo, água, ar ou sistemas vivos – decorrentes do exercício das práticas de outros grupos. O conflito pode derivar da disputa por apropriação de uma mesma base de recursos, ou de bases distintas mas interconectadas por interações ecossistêmicas mediadas pela atmosfera, pelo solo, pelas águas, etc. (ACSELRAD, 2004, p. 26).

Percebe-se diante deste escopo que o conflito ambiental só existe devido ao pressuposto de finitude do recurso natural, seja ele espacial, material ou energético, uma vez que um recurso ilimitado ou infinito permitiria usos infinitos (ACSELRAD; HERCULANO; PÁDUA, 2001). De forma inversa, a escassez ou risco de escassez de um recurso natural potencializará a existência de um conflito mesmo que as características sociais permaneçam inalteradas (PIASENTIN, 2008). Assim, atividades ou processos que minoram a existência e uso de um recurso natural, levando invariavelmente a sua escassez, tendem a potencializar conflitos pré-existentes e produzir novos conflitos.

Não são novos, tampouco raros os casos, em que impactos ambientais de grande magnitude produzem e potencializam conflitos socioambientais. Os complexos minerários,

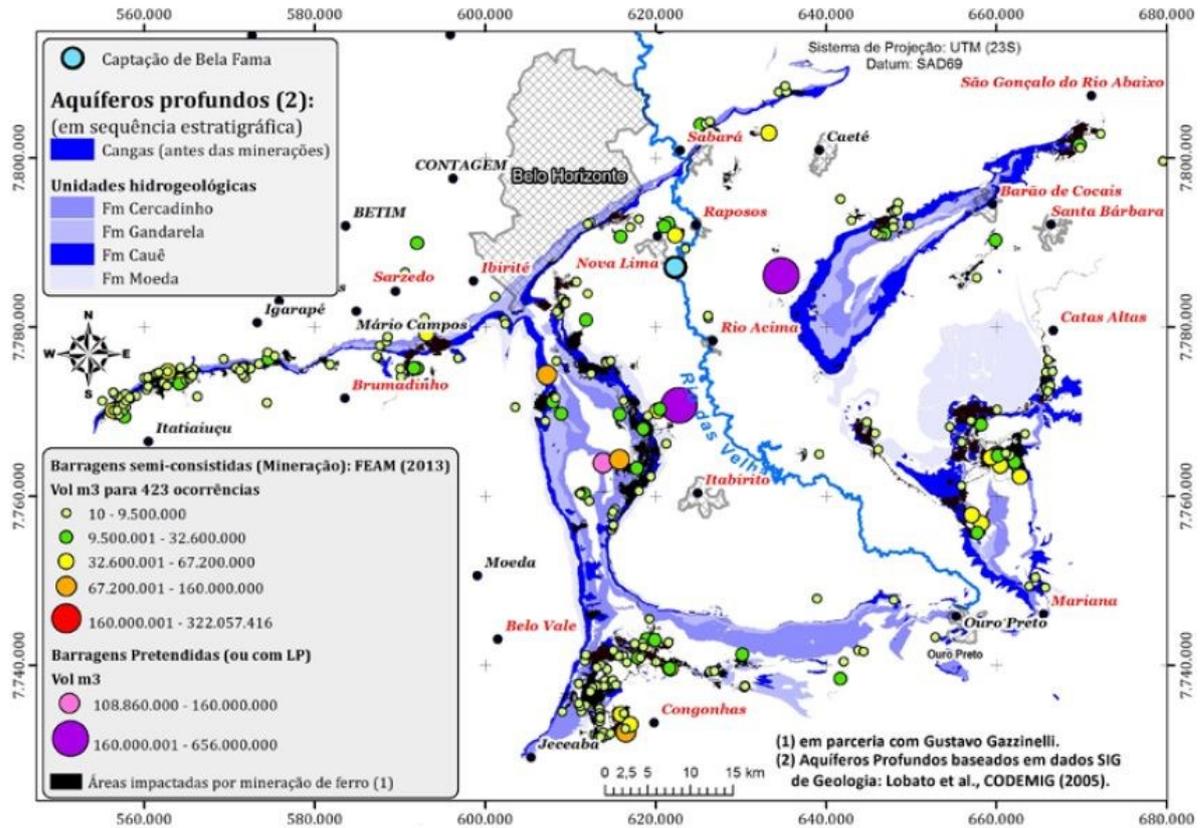
situados na região do Quadrilátero Ferrífero (QF), como nos casos de Mariana/MG e Brumadinho/MG, são amplamente conhecidos por provocarem profundas degradações sociais e ambientais, trazendo alterações extremas à paisagem, a destruição de habitats da fauna, degradação da flora nativa, supressão de florestas, poluição de sistemas hídricos, fragmentação de ecossistemas, descaracterização da morfologia da paisagem, perda de biodiversidade e geodiversidade, entre diversos outros danos sistêmicos de ordem ecológica e social (VERVLOET, 2016 in MILANEZ e LOSEKANN (org.) et al., 2016).

No Quadrilátero Ferrífero, os conflitos de uso da água passaram a se configurar:

[...] com o início dos procedimentos de rebaixamento de nível d'água, necessários ao avanço da lavra para cotas inferiores à superfície piezométrica e que exigem o bombeamento de volume de água superior à recarga, no tempo da natureza. Embora a região represente uma das áreas mais investigadas em termos geológicos e de exploração mineral no território nacional, e a hidrogeologia ainda carecer de estudos de aspecto integrado, é seguro dizer que a destruição deste território resulta em impactos nas condições naturais de processamento, armazenamento e fornecimento de água de qualidade e em quantidade aceitáveis (MovSAM, 2018, p. 13).

De acordo com as informações da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2013), dentre as 425 barragens de rejeito de minério existentes no estado de MG, 307 localizam-se na região do Quadrilátero Ferrífero (Figura 48). As regiões que compõem os Complexos Minerários, nas quais localizam-se diversas minas, como em Brumadinho, Mariana, Congonhas e Serra do Itatiaiuçu, por exemplo, possuem diversas dessas estruturas, considerando-se que a atividade de exploração mineral no QF, via de regra, se sobrepõe espacialmente à importantes aquíferos e está ligada à geração de rejeitos em seu processo de beneficiamento, em grandes volumes e com demasiado consumo de água (MovSAM, 2018, p. 81).

Figura 48: Distribuição das barragens de rejeito de minério na região do Quadrilátero Ferrífero Aquífero.



Fonte: “Dossiê-denúncia: ameaças e violações ao direito humano à água no Quadrilátero Ferrífero Aquífero de Minas Gerais” (MovSAM, 2018, p. 84).

O processo de concentração mineral da Mina do Córrego do Feijão tinha como objetivo enriquecer o produto em teor de ferro extraído do minério a sílica e os minerais de alteração (óxidos de manganês, caulinita, gibbsita e goethita). Segundo o Laudo Pericial N° 3565/2019, desde sua construção, em 1976, a usina de beneficiamento não utilizava reagentes químicos na etapa de concentração e desde de 2016, a operação era realizada sem a geração de rejeitos (NACAB, 2020b). O modelo de exploração mineral da mina do Córrego do Feijão tem como método de extração a lavra a céu aberto, utilizando como procedimento padrão, a disposição do material que não possui valor econômico imediato (rejeito), através de tecnologias extremamente precárias: barragens de alteamento a montante. Qualquer estrutura (barramento ou dique) que forme uma parede de contenção de rejeitos, de resíduos ou de formação de reservatório de água é conhecido por barragem. O modelo adotado da barragem B-I, tem um custo relativamente baixo para o empreendedor, e seu modo de construção, por meio de

sucessivos alteamentos, possibilita uma maior flexibilidade construtiva, em função da variação de volumes de rejeitos armazenados, ditada, não raro, pelas flutuações do valor de mercado do minério de ferro. Esse tipo de tecnologia exige um sistema permanente de drenagem, além de outras questões técnicas e de monitoramento para garantir minimamente a estabilidade de suas estruturas (VERVLOET, 2016 *in* MILANEZ e LOSEKANN (org.) *et al*, 2016).

A região do QF encontra-se em um contexto territorial extremamente alarmante do ponto de vista dos conflitos hídricos e socioambientais, uma vez que os locais cujos empreendimentos são instalados situam-se sob importantes aquíferos para o estado e o país (MovSAM, 2018, p. 81). É nesse sentido que o Dossiê do Movimento pelas Serras e Águas de Minas traz como denúncia:

Não há mais como se dizer que rompimentos de barragens são eventos com probabilidade mínima de ocorrência e nem aceitar, por parte das empresas mineradoras, afirmações do tipo “nunca uma barragem nossa vai romper”, como era recorrente escutar quando a sociedade indagava a respeito da segurança dessas estruturas, na época dos licenciamentos, principalmente ao longo dos últimos 15 anos, quando se ampliou no Estado por parte de alguns movimentos socioambientais uma visão crítica dessa atividade econômica (MovSAM, 2018, p. 81).

Essa realidade do estado de MG, tão marcada por graves rompimentos envolvendo barragens de rejeitos, expõe fortes indícios da recorrência desses rompimentos, como pode ser observado na Tabela 14.

No âmbito dos desastres que envolvem megaempreendimentos minerários, Eduardo Gudynas (2015) argumenta sobre as repercussões de “derramamento” relacionado às atividades extrativistas. As práticas extrativistas predatórias caracterizam-se como um conjunto particular de apropriações dos “recursos naturais”, assinalados pela remoção de grandes volumes e/ou alta intensidade, exportados como matérias-primas, sem um processamento industrial ou com processamentos relativamente limitados. Portanto, não caracterizam-se como atividades industriais, posto que da extração não se produz nada, apenas se extrai e exporta (GUDYNAS, 2015, p.14).

Tabela 14: Registro síntese de rompimentos envolvendo barragens de rejeitos em Minas Gerais.

ANO	RESPONSÁVEL	LOCAL	VOLUME	MORTES	REPERCUSSÕES
1986	Grupo Itaminas	Itabirito (Mina do Fernandinho)	600 mil m ³	7	
2001	Mineradora Rio Verde	Nova lima (São Sebastião das Águas Claras)	300 mil m ³	5	Assoreamento de 6,4 km de córrego local; Rompimento de adutora de água da Copasa
2003	Indústria Cataguases de Papel Ltda.	Cataguases (Barragem de Rejeitos Industriais)	1 bilhão e 400 milhões de litros de lixívia negra	-	Contaminação do Rio Paraíba do Sul e córregos próximos por 200 quilômetros, atingindo mais 2 Estados e deixou 600 mil pessoas sem água.
2007	Mineradora Rio Pomba Cataguases	Mirafá (Zona da Mata)	2 milhões de litros de lama de bauxita		Inundou as cidades de Mirafá e Muriaé, mais 4 mil pessoas desalojadas e 1.200 casas atingidas.
2014	Herculano Mineração Ltda.	Itabirito (Mina Sapecado)		3	Cerca de 150 famílias ficaram sem água, a auditoria na Barragem B1, realizada no dia 27/9/2013, garantiu a estabilidade.
2015	Samarco	Mariana (Barragem do Fundão)	55 milhões de m ³	20	Soterramento de Bento Rodrigues e parte de Paracatu de Baixo e Barra Longa - Milhares de atingidos ao longo do Rio Doce e no litoral
2019	Vale S.A.	(Brumadinho) Mina Córrego do Feijão	13 milhões de m ³	270	Soterramento da estrutura administrativa e operacional da Vale S.A, atingindo e soterrando comunidades, casas, fazendas e diversas estruturas até chegar no rio Paraopeba, atingindo as barragens de Retiro Baixo e Três Marias.

Fonte: Adaptado por Grossi Bastos (2020) a partir do "Dossiê-denúncia: ameaças e violações ao direito humano à água no Quadrilátero Ferrífero Aquífero de Minas Gerais" (MovSAM, 2018, p. 82).

Os extrativismos predatórios são, neste sentido, plurais e incluem grandes empreendimentos como megaminerações a céu aberto, pequenas lavras de extração de ouro aluvial (legal ou ilegal), explorações de gás natural ou petróleo, as diferentes monoculturas como a de soja, milho e eucalipto, por exemplo. As repercussões do derramamento dos extrativismos são mais amplas que a dimensão espacial local de cada empreendimento, cujos danos não se limitam a um local específico, mas às afetações que podem ser reproduzidas em diversas áreas do país. Por sua vez, derramam-se, também, além da circunscrição própria de cada empreendimento, afetando as compreensões e significados das múltiplas políticas públicas, tais como políticas ambientais, sociais e/ou econômicas, bem como os significados pelos quais é compreendido o desenvolvimento, a política, a justiça, a democracia, a natureza e os direitos (GUDYNAS, 2015, p. 15).

A capacidade do capital de globalizar-se e expandir-se pelo mundo, face aos povos e populações vulneráveis, sobretudo, onde há a inserção de grandes empreendimentos extrativistas e industriais, traz como ônus inúmeros e graves conflitos socioambientais para

estes territórios. Processo este que fortalece a posição das potências globais e das megacorporações em relação às fragilidades políticas e de economias locais em todo o mundo, na medida em que essas economias competem por algum investimento em seu país (MASSEY, 2000 [1991]). Essa mobilidade e transnacionalização possibilita, por exemplo, a Vale S.A., que já foi uma empresa estatal brasileira (Companhia Vale do Rio Doce - CVRD), tornar-se uma transnacional, que expande e instala estruturas de exploração e transporte de minério em diversos países. Atualmente a Vale S.A. atua nos setores de mineração, logística, energia e siderurgia; ampliou sobremaneira seu leque de investimentos e abrangência regional. Entre 2000 e 2006, a Vale S.A. realizou diversas aquisições, chegando a 31ª maior companhia do mundo. Em 2010, realizou uma grande aquisição no segmento de fertilizantes, por meio da sua subsidiária Mineração Naque S.A. A companhia ainda adquiriu o total do capital da Bunge Participações e Investimentos S.A. (BPI), além de uma planta em Cubatão. Na área de mineração, a Vale S.A. destaca-se como a maior produtora de ferro do mundo, produzindo ainda níquel, carvão, cobre, manganês e ligas de ferro. No setor de logística administra uma rede que integra minas, ferrovias, navios e portos. Possui infraestruturas no Brasil, na Indonésia, em Moçambique, em Omã, nas Filipinas e na Argentina. Transporta carga para terceiros e oferece duas linhas de trem de passageiros no Brasil: a Estrada de Ferro Vitória a Minas e a Estrada de Ferro Carajás.

No encalço da expansão de seus capitais e infraestruturas, ocorre em 2015 o rompimento da barragem pertencente a Samarco Mineração S.A., controlada pelas duas maiores mineradoras do mundo: Vale S.A. e a anglo-australiana BHP Billiton Brasil Ltda. A barragem situa-se no Complexo Minerário de Germano, localizado em Mariana, no distrito de Bento Rodrigues (MG). Um volume de aproximadamente 55 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério de ferro foi lançado com seu rompimento, alastrando-se pela bacia do Rio Doce. Crime este que matou 20 pessoas, destruiu a bacia do rio Doce e impõe uma série de danos e conflitos na vida de milhares de pessoas, com graves danos às perdas de fontes de água e sustento para centenas de comunidades e povos ribeirinhos, incluindo partes do litoral norte e sul do Espírito Santo (Nota Técnica nº. 23/2017/TAMAR-Vitoria- ES/DIBIO/ICMBio de 25/09/2017). Em 2019, outro crime se repetiu: o rompimento de uma barragem da própria Vale S.A., em Brumadinho/MG, matando 259 pessoas (com 11 desaparecidas até outubro de 2020) e destruindo a bacia do rio Paraopeba, importante afluente do Rio São Francisco e abastecedor de águas para a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), capital do estado.

O caso de Fundão traz, juntamente à escassez de recursos, os conflitos, antes minorados pela abundância de peixes e fonte de renda, tornando-se latentes (CPT, 2016). Segundo um estudo recente sobre conflitos ambientais denominado “*Conflitos no Campo - Brasil*” da Comissão Pastoral da Terra (CPT), as disputas por fontes de água potável em Minas Gerais aumentaram 124% em relação ao ano de 2014 (CPT, 2016). A pesquisa ainda indica que disputas e tensões por água nos municípios marginais ao rio Doce, mais que dobraram, chegando a um aumento de 240%, após o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana - MG (CPT, 2016). Milanez e Losekann (2016) em seu estudo intitulado “*Desastre no Vale do Rio Doce*”, ainda citam que a questão da água para consumo continua sendo um grave problema para as famílias atingidas pelo desastre na bacia do rio Doce. Conforme discutem, apesar do abastecimento das caixas d’água ser realizado pela empresa Samarco/Vale/BHP, esse processo gerou disputas comunitárias e desarticulações sociais irreparáveis. Os autores destacam ainda que, soma-se a esses conflitos, as mudanças sociais e comportamentais relacionadas ao cartão fornecido pela Samarco/Vale/BHP às famílias, que têm levado a mudanças nos valores comunitários e ao processo de individualização espacial das comunidades que antes possuíam terrenos compartilhados, gerando conflitos e a perda de identidade cultural.

O caso do crime-desastre da Samarco/Vale/BHP, envolvendo o rompimento da barragem do Fundão, em Mariana, e os subsequentes danos e afetações da lama de rejeito na bacia do rio Doce, provocou a interrupção e drástica alteração de milhares de vidas, ao longo da bacia, um sem número de prejuízos às atividades de agricultura, agropecuária e pesca, destruição de infraestruturas urbanas e rurais, interrupções de abastecimento de água, e a deterioração de ecossistemas aquáticos e terrestres, além do agravamento de vulnerabilidades historicamente constituídas no território (ZHOURI *et al.*, 2018; GROSSI BASTOS, 2020). O colapso de Fundão apresenta, ainda, um emblemático contexto sob o panorama econômico, político e institucional, com falhas no processo de licenciamento ambiental do empreendimento, no monitoramento dos riscos e na fiscalização da barragem, bem como um sistema de gestão do crime extremamente controverso (ZHOURI *et al.*, 2018).

À Governança Ambiental, enquanto prática e organização socioespacial, comumente atribuí ao mercado e às instituições da modernidade, a crença na capacidade de resolução da “crise” ou degradação ambiental, instituídas pelo discurso da sustentabilidade no paradigma da adequação ambiental e da chamada “modernização ecológica”. Esse paradigma, composto e estruturado por estratégias de caráter neoliberal para o enfrentamento do impasse ecológico, incute a conciliação do crescimento econômico com a resolução de problemas ambientais,

enfatizando certo avanço tecnológico e sua suposta adaptabilidade, celebrando a economia de mercado e a crença na colaboração e no consenso supraclassista. Essas práticas amparam-se, em tese, nos princípios de prevenção e mitigação, trazendo certa “participação pública” nas tomadas de decisão (ACSELRAD, 2002, p. 50; ZHOURI, 2008, p. 100). No entanto, o que se observa na realidade concreta socioambiental no Brasil, como destaca Zhouri (2008) é que:

“O jogo político dá-se, então, no âmbito do paradigma da adequação ambiental, o qual é destinado a viabilizar o projeto técnico, incorporando-lhe algumas “externalidades” ambientais e sociais na forma de medidas mitigadoras e compensatórias, desde que essas, obviamente, não inviabilizem o projeto do ponto de vista econômico-orçamentário. Dessa forma, assegura-se a dominação do espaço de tomada de decisões por uma visão hegemônica do que sejam as possibilidades de “uso” dos recursos naturais a partir da lógica de mercado. O poder simbólico exercido pela juridificação do Estado não se restringe apenas à imposição da visão hegemônica de mundo por meio de leis e normas deliberativas, mas, sobretudo, se revela como poder de efetiva intervenção no mundo” (ZHOURI, 2008, p. 100).

O contexto do crime-desastre da Vale S.A. na bacia do Rio Paraopeba, evidencia, assim como no Rio Doce, processos extremamente dinâmicos e difusos espaço-temporalmente, e seguem produzindo, a todo instante, novas formas de conflito, violência e afetação em seu percurso. Como discutido por Valencio (2009), nos estudos e debates acerca dos desastres, há uma importante diferenciação entre a teoria dos chamados hazards e a teoria dos desastres. A primeira tem por foco uma abordagem causal que preconiza os aspectos físicos, ditos naturais, quanto à sua distribuição espaço-temporal, enquanto a segunda enfatiza perspectivas ligadas à organização socioespacial complexa e ao comportamento coletivo, ou seja, considera que a dimensão social é convertida na pré-circunstância para que essa dimensão “natural”, se torne destrutiva. A teoria dos hazards (eventos extremos) constitui-se com uma abordagem determinista, valorizando substancialmente modelos estatísticos e probabilísticos de ocorrência de eventos perigosos, apartando-se da discussão as complexas relações sociais, institucionais ordenadoras do espaço. Dentre a diversidade de interpretações que vem se desenvolvendo, depreende-se um aspecto fundamental nos campos da Sociologia, Antropologia e Geografia: os ditos desastres naturais, certamente não centralizam-se sob variáveis independentes que intrinsecamente são relacionadas com os fenômenos “naturais”. Compreende-se, em vista disso, que o foco dos desastres se posiciona centralmente ligado às estruturas e dinâmicas sociais que

“num âmbito multidimensional e multiescalar, dá ensejo a variadas interpretações acerca das relações sociais territorial, institucional e historicamente produzidas” (VALENCIO, 2009, p.5).

Como destaca Dombrowsky (1998), não são os desastres que causam efeitos, pois estes decorrem de um processo sociopolítico deteriorado, de modo que aquilo que se apresenta como “efeito” é o próprio desastre em sua dinâmica e processo. Os aspectos físicos da devastação não são autoexplicativos e o seu deslindamento depende do quanto se conhece a respeito dos contextos de crise e deterioração sociopolítica e socioespacial por detrás de sua ocorrência. Ao se falar em “efeitos do desastre”, assumiria-se um posicionamento programático, supondo causas, geralmente, associadas a fatores puramente físicos, como condições geofísicas ou climáticas, incutindo certa adaptabilidade *ad hoc* às engenharias e tecnologias a essas variáveis “naturais”, ou mesmo recortes temporo-espaciais arbitrários, que buscam associar nexos causais a processos extremamente dinâmicos e difusos que podem perdurar por décadas ou séculos. Trata-se sem dúvidas, de uma espécie de falsificação empírica das ações institucionais, sociais, em suma, humanas (DOMBROWSKY, 1998; GROSSI BASTOS, 2020).

Assim, na interface entre os crimes-desastres nos rios Doce e Paraopeba, no âmbito dos conflitos, podemos entendê-los como expressão das tensões no processo de reprodução dos modelos de desenvolvimento, em que o “meio ambiente” é configurado como um terreno contestado material e simbolicamente. O entendimento, nomeação e/ou designação do que é ou não ambientalmente “adequado”, redistribui o poder sobre os recursos territorializados, pela legitimação/deslegitimação das práticas de apropriação da base material das sociedades e de suas espacialidades (ACSELRAD, 2004a).

É certo que a compreensão de que a arena de disputas está colocada, a partir do momento em que o rompimento da Barragem I desencadeia uma série de danos e conflitos. No entanto, ressalta-se a cautela no entendimento do crime-desastre da Vale S.A. na bacia do rio Paraopeba como exclusivamente um “conflito ambiental”. Destaca-se a pertinência dessa ponderação, pois ao deslocar-se a administração do desastre – do âmbito da investigação criminal e da judicialização para o eixo de tratativa gerencial conferido aos “conflitos ambientais” ou “socioambientais” – expõem-se operacionalidades diversas de prevenção de disputas, enfatizando diretrizes de “resoluções negociadas de conflitos” em acordos orientados à construção de supostos pactos e consensos entre partes potencialmente litigantes, trazendo os direitos das atingidas e atingidos para as mesas de negociação. No entanto, a partir do momento que a tratativa do crime passa pelo campo da negociação, acentuam-se as assimetrias entre as

partes, posto que a ré possui infinitos recursos quando comparada aos atingidos, Instituições de Justiça e Assessorias Técnicas (ZHOURI et al., 2018, ACSELRAD, 2004a).

A respeito dessa construção de acordos, negociações e consensos que passa a reger o crime-desastre da Vale S.A. na bacia do rio Paraopeba, Laura Nader (1994) destaca como durante a década de 1960 os EUA passaram de uma abordagem com a justiça para operar através de estratégias de *harmonia* e *eficiência*; passando da abordagem ética entre certo e errado para uma ética do tratamento, dos tribunais para a *Resolução Alternativa de Disputa* (ADR). A ADR, ou resolução negociada de conflitos etc., são tratativas que englobam programas que enfatizam meios não judiciais para lidar com disputas. Geralmente, o enfoque volta-se para a mediação e a arbitragem. A ADR veio a ser conhecida como justiça informal, isto é, *a priori*, uma ideia de justiça que promove o ACORDO, mais que vencer ou perder, substituiu o confronto pela *harmonia* e pelo *consenso*, a *guerra* pela *paz*, as soluções *vencer* ou *vencer* (NADER, 1994).

Esse tipo de entendimento e abordagem trata-se de uma tecnologia de poder que passou a reger acordos internacionais, conflitos, etc. A autora traz o exemplo da *Pound Conference: “Perspectivas da Justiça no Futuro”*, que foi realizada em Minnesota, no ano de 1976, como um momento decisivo em uma época em que tanto o modelo de *harmonia* como o modelo de *eficiência* vieram, oficialmente, a substituir o litígio, procedimento jurídico considerado ideal. Uma transformação passava a se consolidar no modo pelo qual se pensa direitos e justiça. De certa forma, estabeleceu-se uma abordagem, em tese, com “menos confronto” e mais “branda”, menos preocupado com a justiça e com as causas básicas e mais voltada para a harmonia, de tal forma que:

“Os elementos de controle são muito mais difusos que o alcance direto do controle do Estado. Uma intolerância pelo conflito impregnou a cultura para evitar, não as causas da discórdia, mas sua manifestação, **e, a qualquer preço, criar consenso, homogeneidade, concórdia.** Como em *O admirável Mundo Novo*, de Aldous Huxley, **o modelo da harmonia produz uma espécie de soma cultural com um efeito tranquilizador**” (NADER, 1994, sp, grifo nosso).

Com o intuito de alcançar uma nova racionalidade, o campo político brasileiro passa a receber a intervenção do campo jurídico, sobretudo, visando assegurar a observância e a concretização dos direitos fundamentais e da própria Constituição Brasileira. Cabe destacar ainda, que essa atuação do Poder Judiciário decorre do texto constitucional, que o legitimou a atuar e intervir politicamente, bem como estabeleceu as delimitações institucionais de atuação

da política democrática: *“Ocorre, com a consolidação desse fenômeno, uma justaposição entre o direito e a política, cujo conceito de legitimidade democrática torna-se uma mitigação”* (WOLKMER e PAULITCHS, 2013, p. 262).

No sentido constitucional, o processo de judicialização das políticas públicas refere-se ao novo estatuto dos direitos fundamentais e à superação do modelo de separação dos poderes do Estado, de forma a acarretar uma ampliação do poder de intervenção dos tribunais na área política, por meio da efetiva participação no processo referente à formulação e/ou à implementação de políticas públicas. Nesse prisma, é oportuno destacar que as políticas públicas têm, enquanto intervenção direta político-administrativa do Estado sobre a sociedade, a premissa de garantir a coletividade, por meio de um conjunto de ações e decisões estratégicas e articuladas (WOLKMER e PAULITCHS, 2013, p. 261).

Elevada ao nível de direito fundamental na Constituição Federal de 1988, a problematização ambiental, não deve se limitar ao recorte de promoção do ambiente como tarefa ambiental exclusivamente do Estado, uma vez que tal delegação e competência pertencem, também, a toda coletividade (WOLKMER e PAULITCHS, 2013, p.262). Contudo, é prática comum que essa “coletividade” seja marcada pela justaposição de sociedade civil, mercado e Estado. Destaca-se, ainda, que essa sociedade civil interpelada a participar da Governança é aquela “organizada”, e organizada, portanto, nos moldes definidos pelos setores dominantes da sociedade (por exemplo com registro em cartório, estatuto para funcionamento). Dessa forma, se estabelece assimetricamente que os participantes, são aqueles “capacitados”, ou seja, os que dominam minimamente o “capital social” demandado pelo campo social em questão são considerados elegíveis (ZHOURI, 2008, p. 99; BOURDIEU, 1993). No campo ambiental exigem-se, por exemplo, como requisitos principais para essa participação: a qualificação técnica (títulos acadêmicos, experiências profissionais) e o domínio computacional, o domínio da língua inglesa e da linguagem necessários para elaborar os projetos, concorrer aos editais, etc. Além da própria materialidade em não só dominar a linguagem computacional, mas possuir o próprio computador, bem como ter os meios necessários, o tempo e disposição para se deslocar para reuniões, audiências públicas onde são definidos os empreendimentos, as decisões, etc. Esse conjunto de prerrogativas e capacitações implica em uma exclusão da grande maioria dos cidadãos, sobretudo membros de comunidades rurais e étnicas ou das periferias urbanas, que permanecem marginais a essa participação (ZHOURI, 2008, p.99).

De par com a dependente e desigual economia global consolida-se, além do processo de divisão internacional do trabalho, a divisão internacional dos riscos/ônus. Os meios pelos quais as sociedades desiguais exoneram a maior parte dos ônus do desenvolvimentismo (in)sustentável às populações de baixa renda, aos grupos sociais discriminados, aos povos tradicionais, aos bairros operários, às populações marginalizadas e vulneráveis caracterizam as chamadas “injustiças ambientais”. Caberia, portanto, à ideia de “justiça ambiental”, um conjunto de práticas que assegurassem que nenhum grupo social, seja ele racial, de classe, gênero ou étnico suportasse as parcelas desproporcionais das consequências negativas de megaempreendimentos extrativistas e industriais, operações econômicas, decisões políticas e de programas federais, estaduais, locais, assim como da ausência ou omissão de tais políticas (ACSELRAD, 2004b; BULLARD, 2000; FREITAS et al., 2004).

Diante do exposto e considerando a multidimensionalidade dos danos e afetações relacionados às diferentes práticas socioespaciais ligadas direta ou indiretamente ao rio Paraopeba, incluindo as perdas de fontes de água e renda devido aos altos níveis de poluição causado pelo rompimento (SOS MATA ATL NTICA, 2020), passa a se configurar na Região 3 a produção e potencialização de diversos conflitos socioambientais.

Os conflitos refletem, portanto, interesses antagônicos e convergentes para a disputa material e simbólica pelos recursos naturais no território. Sendo assim, é proposto neste diagnóstico preliminar uma abordagem sustentada pelo levantamento e análise de dados secundários relacionados a conflitos na região, juntamente com o mapeamento da existência de conflitos baseado nos relatos, denúncias e percepção dos atingidos. O mapeamento tem como intuito a construção de material cartográfico, bem como o estudo inicial que sirva de instrumento para posterior descrição e classificação dos conflitos, que subsidiará a construção de estratégias para defesa dos direitos e também de elaboração e execução de políticas voltadas à reparação dos danos, preservando a sustentabilidade e democratização da apropriação do território, bem como das condições naturais para os grupos política e economicamente fragilizados (DA SILVA, 2015).

O Diagnóstico dos Conflitos Socioambientais estrutura-se em duas etapas, a primeira no Diagnóstico Emergencial e a outra no Diagnóstico Ampliado da ATIR3/NACAB. Na primeira etapa, os esforços buscam entender a existência e espacialização de conflitos no território, bem como a caracterização simplificada, baseada em dados secundários e primários. Com base no banco de dados da ATIR3, foi possível identificar, preliminarmente, conflitos relatados durante o Campo de Escuta para elaboração do Plano de Trabalho da ATIR3/NACAB,

no Diagnóstico Rápido Participativo (DRP), bem como no Formulário Eletrônico de demandas, (NACAB, 2019; NACAB, 2020; NACAB, 2020).

Diante disto, torna-se imprescindível identificar de forma qualificada a existência de conflitos na região para posterior compreensão dos fatores geradores desses conflitos, a sua natureza e origem e quais medidas podem ser tomadas para sua resolução. Parte desses desafios pode e deve ser enfrentada com a gestão participativa do território, envolvendo a população atingida nas discussões dos conflitos e na construção das tomadas de decisão. Posteriormente, no Diagnóstico Ampliado do Conflitos Socioambientais, as informações serão qualificadas utilizando metodologias participativas que garantam o protagonismo dos atingidos.

Sendo assim, o objetivo deste diagnóstico é fornecer uma compreensão preliminar a respeito da existência de conflitos socioambientais no território e onde podem estar localizados. Tendo em vista o objetivo geral proposto e os meios para alcance de tal, propõe-se como objetivos específicos deste estudo:

- i. Identificar os conflitos existentes pré rompimento e os conflitos originados pós-rompimento a partir de fontes documentais produzidas por órgãos públicos e privados;
- ii. Categorizar e classificar os conflitos previamente identificados conforme local, temática e atores sociais envolvidos;
- iii. Georreferenciar as localidades conforme registros em dados brutos e elaborar um mapa capaz de permitir a visualização dos conflitos identificados por comissão.

2. Metodologia

O caminho metodológico e o conjunto de técnicas utilizadas para a construção do estudo partem do princípio de que a compreensão das complexidades e dinâmicas socioambientais exigem a associação de diferentes métodos e dados. Para tal foi considerada a combinação de técnicas qualitativas e quantitativas, como diagnósticos participativos, reuniões e grupos focais, análise de conteúdo e análise da frequência simples. As atividades foram desenvolvidas em duas etapas principais: a primeira etapa refere-se ao levantamento de

conflitos, e mapeamento dos dados. As etapas se intercorrem de forma mútua, possibilitando a validação integrada dos dados levantados.

2.1. Levantamento dos conflitos socioambientais

A primeira etapa tem como objetivo realizar um levantamento de conflitos socioambientais existentes na Região 3. Nesta etapa, foram considerados todos os conflitos existentes rastreáveis até a atualidade. Esse levantamento se deu por meio de conflitos documentados em publicações científicas e dados secundários levantados por órgãos públicos e privados. Entre eles podemos citar o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), a Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM), Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) e documentos produzidos por associações, sindicatos, movimentos sociais e entidades envolvidos em casos de conflito ambiental. Além disso, foram realizadas solicitações documentais de conflitos, junto aos Promotores, Oficiais de Justiça e Procuradores da República nas sedes das comarcas do Ministério Público Estadual de Minas Gerais e nas regionais do Ministério Público Federal presentes dentro dos municípios da Região 3, que irão compor o Diagnóstico Ampliado.

Soma-se a essa base o próprio Mapeamento de Conflitos Ambientais no Estado de Minas Gerais realizado desde 2007 pelo Grupo de Estudos em Temáticas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais (GESTA/UFMG) em parceria com o Núcleo de Investigação em Justiça Ambiental da Universidade Federal de São João del-Rei (NINJA/UFSJ) e o Núcleo Interdisciplinar de Investigação Socioambiental da Universidade Estadual de Montes Claros (NIISA/UNIMONTES).

Concomitantemente ao processo de levantamento de conflitos via dados secundários, foi realizada a compilação dos dados produzidos pela ATIR3, considerando as informações obtidas no Campo de Escuta para elaboração do Plano de Trabalho da ATIR3/NACAB, no Diagnóstico Rápido Participativo (DRP), bem como no Formulário Eletrônico de demandas (NACAB, 2019; NACAB, 2020; NACAB, 2020), buscando identificar e classificar em macrocategorias os conflitos socioambientais em escala local, para a etapa emergencial. Até o momento, foram sistematizados e analisados os dados provenientes do DRP. Dessa forma, para a primeira etapa foram elencadas cinco macrocategorias de conflitos, a saber: Conflitos pelo uso da água; Conflitos econômicos; Conflitos de base imaterial; Conflitos relacionados às

incertezas por contaminação (contaminação de água/solo/animais/produtos agrícolas); Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas e; Conflitos por criminalização. Posteriormente, conforme avancem os levantamentos em campo, a sistematização e análise, prevê-se a construção de subcategorias analíticas de conflitos para o Diagnóstico Ampliado, com o objetivo de complexificar o leque de interpretações e tratativas.

A construção das macrocategorias de conflitos tem por objetivo uma primeira aproximação, fomentando um panorama amplo e espacializado, a partir da análise da frequência simples em que esses conflitos são relatados pelas atingidas e atingidos da Região 3. Para tal, foram consideradas 42 categorias de danos identificadas pela ATIR3, que por sua vez passam a produzir, materializar e/ou acentuar diferentes contextos de conflitos:

1. Conflitos pelo uso da água: caracterizam-se como os conflitos que envolvem toda a diversidade de danos relacionados à interrupção do abastecimento de água; contaminação de poços/cisternas, do lençol freático; Irregularidade e outros problemas no fornecimento de água (uso/consumo humano, dessedentação animal); Perda de fontes de água para dessedentação animal; Perda de fontes de água para irrigação de lavouras; Perda de fontes de água para uso/consumo humano.

2. Conflitos econômicos: caracterizam-se como conflitos que passam a se configurar devido à diversidade de danos relacionados ao surgimento/aumento de gastos particulares (reparação de bens afetados ou perdidos, compra de insumos, despesas com consumo, etc.); problemas com a elegibilidade/recebimento/parcelas do pagamento emergencial; prejuízos a atividades industriais; prejuízo às atividades e produção agropecuárias/agroindustriais; perdas econômicas relativas a investimentos e financiamentos de projetos; perdas e danos às atividades de comércio e serviços; perda de postos de trabalho; perda da renda derivada do turismo da pesca ou de lazer; perda da renda derivada da atividade de pesca; negligência, assédio e desigualdade de atendimento a demandas emergenciais pela Vale S.A.; irregularidade no fornecimento/não fornecimento de insumos/estruturas/assistência para produção agropecuária; deterioração e desvalorização de equipamentos e máquinas; desvalorização imobiliária; danos e prejuízos à extração, produção e comercialização de insumos para a pesca (comércio de iscas/minhocuçu; artefatos e instrumentos, etc.); danos e prejuízos à atividade de extração/beneficiamento mineral (areia, ardósia, etc.); danos associados à atividade de piscicultura; danos associados à atividade

de apicultura; estigmatização e desvalorização de produtos regionais; perdas e danos materiais/patrimoniais devido à inundação de rejeitos por enchentes.

3. *Conflitos de base imaterial*: caracterizam-se como conflitos que passam a se configurar devido aos danos à integridade psíquica/emocional: danos a manifestações culturais tradicionais (festas, feiras, etc.); danos à sociabilidade vinculada aos usos e práticas ligadas ao rio (pesca e lazer); desarticulação familiar/comunitária decorrente das ações de reparação (pagamento emergencial, fornecimento de água, etc.); estigmatização social pela relação e proximidade com o rio; falta de informação e desinformação sobre ações emergenciais; frustração de projetos de vida; negligência, assédio e desigualdade de atendimento a demandas emergenciais pela Vale S.A.; perda da privacidade/sensação de insegurança; problemas com os canais de comunicação/relacionamento/atendimento da Vale S.A.

4. *Conflitos relacionados às incertezas por contaminação (contaminação de água/solo/animais/produtos agrícolas)*: contaminação de poços/cisternas, do lençol freático e do solo; dano potencial associado à contaminação da flora e fauna silvestre; dano potencial associado à contaminação de pessoas/trabalhadores; dano potencial associado à contaminação por enchentes ou por confluência; dano potencial associado à poluição do ar; dano potencial associado ao aumento da incidência de doenças; falta de informações e desinformação sobre contaminação (água, solo, plantações, animais, ar); insegurança alimentar; mortandade/contaminação de animais domésticos e de criação; problemas com os canais de comunicação/relacionamento/atendimento da Vale S.A.

5. *Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas*: caracterizam-se como os conflitos que envolvem toda a diversidade de danos relacionados aos prejuízos às atividades e produção agropecuárias/agroindustriais; perdas econômicas relativas a investimentos e financiamentos de projetos; perdas e danos materiais/patrimoniais devido à inundação de rejeitos por enchentes; perda de postos de trabalho; perda da renda derivada do turismo da pesca ou de lazer; perda da renda derivada da atividade de pesca; irregularidades e outros problemas relacionados às ações de cercamento; irregularidade no fornecimento/não fornecimento de insumos/estruturas /assistência para produção agropecuária; insegurança alimentar; estigmatização e desvalorização de produtos regionais; desvalorização imobiliária; desarticulação

familiar/comunitária decorrente das ações de reparação (pagamento emergencial, fornecimento de água, etc.); danos/comprometimento da infraestrutura local (por ações de reparação da Vale S.A. /empresas terceirizadas, enchentes, etc.); Danos e prejuízos à extração, produção e comercialização de insumos para a pesca (comércio de iscas/minhocuçu; artefatos e instrumentos, etc.); danos e prejuízos à atividade de extração/beneficiamento mineral (areia, ardósia, etc.); danos associados à atividade de piscicultura; danos associados à atividade de apicultura; dano potencial associado à contaminação por enchentes ou por confluência; dano potencial associado à contaminação da flora e fauna silvestre; contaminação de poços/cisternas, do lençol freático e do solo.

6. *Conflitos por criminalização*: configuram-se como os conflitos produzidos contra ou entre atingidas e atingidos, lideranças comunitárias, movimentos populares que se manifestem em discordância aos processos hegemônicos, à arbitragem adotada para a concessão de direitos, como por exemplo o auxílio emergencial e o auxílio econômico provisório. Destaca-se que para essa categoria foram identificados até o momento 4 registros, portanto, não foram espacializados por necessitarem maiores aprofundamentos sobre um tema tão delicado do ponto de vista dos direitos humanos.

A sistematização dos conflitos levantados é realizada em um banco de dados integrado, cujo foco é não só a análise do banco de dados, mas, também, o monitoramento dos conflitos, cujo objetivo é traçar estratégias de mediação e tratativas junto às comissões. Prevê-se que todos os conflitos socioambientais identificados serão cadastrados neste banco de dados. Os conflitos estão sendo tabulados com o dado bruto, um número de identificação e classificados em categorias por similaridade temática. Ainda serão adicionadas informações referentes à localidade (endereço incluindo comunidade e município, e/ou coordenadas geográficas), origem, data, classificação se o conflito se originou antes ou após o rompimento, fonte de origem do dado, e informações adicionais relevantes ao processo de análise.

Quando não for possível ter a coordenada geográfica da localidade em conflito, o seu georreferenciamento se dará por aproximação ao endereço informado no dado bruto. Para tal serão utilizadas as bases abertas de ruas, bairros e cidades provenientes do Google Maps e *Open Street Map* disponibilizadas pela empresa ESRI dentro do BaseMap do software ArcGis 10.6. Em caso de inexistência de informações de endereços de localidades rurais específicas nessas bases de dados, a aproximação do endereço ao ponto georreferenciado será realizado por

digitalização em tela com base em pontos de referências citados nos dados brutos das fontes documentais e entrevistas previstas para esse levantamento.

Essa espacialização servirá como subsídio para o planejamento do diagnóstico ampliado, no qual será feita a descrição e classificação desses conflitos, incluindo a classificação conforme o potencial agravo devido ao rompimento e potencial agravo temporal se nenhuma ação for instituída. Para o Diagnóstico Ampliado, está prevista a realização de entrevistas semiestruturadas aplicadas em parceria com a Gerência de Socioeconomia e Cultura. Devido ao atual cenário de pandemia, essa atividade será realizada de forma remota e amostral. Os detalhes metodológicos, incluindo o cálculo amostral, dessa etapa de coleta estão descritos no plano de pesquisa do Diagnóstico Emergencial de Caracterização das Famílias e Levantamento de Danos Socioeconômicos. As perguntas para identificação da existência do conflito serão elaboradas em parceria com a Gerência Socioeconomia. Dados relativos a conflitos existentes também serão sistematizados em parceria com a Gerência de Participação Social, Engajamento e Comunicação. No processo de acolhimento e tratamento das demandas, podem ser identificadas considerações às relações intrínsecas de vizinhança, como conflitos pelo uso da água ou da terra, por exemplo.

Após o levantamento das informações brutas relativas a sua existência e a respectiva validação, os conflitos serão revisitados com o objetivo de identificar possíveis lacunas de informações em função da sua espacialização e categorização proposta. Caso sejam identificadas lacunas sobre essas informações no dado bruto, os atores sociais envolvidos serão contactados, de forma remota, para supressão das dúvidas que surgiram durante o processo de espacialização no Diagnóstico Ampliado.

Após a finalização do processo de espacialização, serão realizadas análises qualitativas dos conflitos identificados por categoria. Para cada categoria de classificação prevista serão quantificadas a frequência global e a frequência por localidade. Ainda serão analisados possíveis vieses de classificação e sobreposição. Esse processo de avaliação será realizado com auxílio de Tabelas Dinâmicas construídas e sistematizadas diretamente no banco de dados de conflitos.

A partir dos dados e informações levantados, será construído o mapeamento final dos conflitos socioambientais do território 3. Esse mapa permitirá avaliar espacialmente todos os tipos de conflitos existentes e suas localidades. A apresentação do documento final se dará de forma integrada, ou seja, com a apresentação de todos os conflitos e de forma segregada por categoria do conflito.

O mapeamento dos conflitos será validado pelos atingidos com o auxílio de reuniões remotas, previstas pela Gerência Socioambiental e Gerência de Participação Social, Engajamento e Comunicação. A inserção de novos conflitos e a alteração de possíveis incongruências indicadas pelos atingidos permitirá a revisão do documento proposto. Essa estratégia permitirá o processo de participação dos atingidos e qualificação do documento final.

Considerando os limitantes na eventual insuficiência de dados secundários de conflitos socioambientais e/ou a problemas ligados ao acesso a esses dados dentro das bases citadas anteriormente, até o momento foi possível iniciar uma sistematização e análise prévia, ainda em fase de teste, com os dados provenientes do DRP. Foi realizada a sistematização, categorização e análise de frequência simples dos conflitos por comissão, partindo da transcrição dos enunciados das pessoas e comunidades atingidos da Região 3 ocorridas em encontros virtuais.

Destacam-se os atrasos relativos à falta de tempo hábil para análise de documentos solicitados via ofícios pela Gerência Jurídica, para as Instituições de Justiça, posto que a ATIR3 depende do tempo de resposta dessas instituições. Outro fator limitante à execução refere-se à possível insuficiência de informações fornecidas pelos atingidos, impostas seja pelas reuniões remotas, pela dificuldade de acesso à internet e/ou na etapa de levantamento de conflitos em campo com os atingidos. A execução de levantamento de dados via contato remoto, também pode prejudicar o detalhamento dos conflitos e por consequência dificultar o trabalho de classificação e análise. Esses três pontos individualizados ou somados podem prejudicar a construção de um mapeamento de conflitos por uso e apropriação de recursos naturais da Região 3 de forma satisfatória, mas que serão tomados os devidos cuidados para a não exclusão e/ou insuficiência de informações fidedignas. Por fim, considerando dificuldades de acesso à internet por parte das pessoas e comunidades atingidas da Região 3, os resultados obtidos neste diagnóstico, a serem compartilhados por vias de comunicação remota, podem não ter um amplo alcance.

3. Resultados

Os conflitos levantados, mapeados e analisados foram divididos em dois tipos. Conflitos identificados a partir de dados secundários, que levou em consideração dos conflitos já identificados por outras instituições e os conflitos identificados a partir dos dados primários,

produzidos pelos próprios diagnósticos da Assessoria Técnica. Desta forma a apresentação desses conflitos será feita de maneira separada seguida por uma análise integrada no último tópico.

4.1 Conflitos mapeados a partir de dados secundários na Região 3

Os conflitos mapeados a partir de dados secundários, referem-se aqueles conflitos identificados por outros órgãos e equipes. Esse levantamento foi realizado por meio de análise de documentos, consulta a banco de dados públicos, publicações científicas, mapas e informações que indiquem a possibilidade de existência de conflito. Foram considerados conflitos existentes antes e após o rompimento devido aos possíveis efeitos sinérgicos que o rompimento pode aportar aos conflitos já existentes. Obviamente, devido à magnitude e complexidade do desastre, não é possível, ao se fazer um mapeamento estático, abranger todos os conflitos existentes. Portanto, esse diagnóstico emergencial será atualizado conforme novos conflitos forem sendo identificados.

Para facilitar a apresentação dos conflitos identificados a partir de dados secundários, optou-se pela apresentação desses conflitos pela origem do dado. No total foram identificadas quatro bases centrais (Tabela 15) que trazem dados concretos sobre a existência e magnitude dos conflitos na Região 3, e mais 16 bases secundárias que ajudam a qualificar e compreender as motivações para os conflitos identificados. Todos os conflitos identificados por essas bases são descritos e detalhados abaixo.

Tabela 15: Bases de dados centrais de conflitos identificados para todo território nacional e estadual.

Nº	FONTE	CATEGORIAS DOS CONFLITOS
1	CANUTO, Antônio (et.al.) (Org.) Conflitos no Campo: Brasil 2019. Goiânia: CPT Nacional, 2020. 247 p.	Conflitos pelo uso da água e Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas;
2	GESTA. Observatório dos Conflitos Ambientais. Belo Horizonte: Gesta, 2020	Conflitos pelo uso da água e Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas;
3	IGAM. Mapa de Conflitos por Recursos Hídricos. Infraestrutura de Dados Espaciais, SISEMA. 2016.	Conflitos pelo uso da água
4	FIOCRUZ. Mapa de conflitos envolvendo injustiça ambiental e saúde no Brasil. Fiocruz. 2020.	Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas

1. Canuto, Antônio (et al.). Conflitos no Campo: Brasil 2019. Goiânia - CPT: Comissão Pastoral da Terra, 2020. 247p.

Todo o ano, desde 1985, a Comissão Pastoral da Terra - CPT registra e sistematiza os dados de conflitos e ocorrências de violência sofridas pelos trabalhadores e trabalhadoras da terra no Brasil. Incluiu-se nessa categoria de trabalhadores e trabalhadoras da terra assentados, sem-terra, posseiros (principalmente na década de 1980), pequenos proprietários, parceiros, pequenos arrendatários, trabalhadores rurais, garimpeiros; comunidades tradicionais (caiçaras, camponeses de fecho e fundo de pasto, faxinalenses, geraizeiros, marisqueiras, pescadores, quilombolas, retireiros, ribeirinhos, seringueiros, vazanteiros); extrativistas (castanheiros, palmiteiros, quebradeiras de coco babaçu, seringueiros) e povos indígenas.

Recentemente a CPT, tornou-se uma das principais entidades produtoras de dados científicos ligados aos conflitos no campo do Brasil. Com esse trabalho, produzido anualmente desde 1985, esta instituição construiu um dos mais importantes acervos documentais sobre as lutas e formas de resistência dos trabalhadores e trabalhadoras da terra e das águas, bem como sobre a defesa e conquista de direitos. Para tal, a CPT utiliza duas estratégias centrais para coleta de dados. i. busca as fontes primárias de informações, para construção de um banco de dados e de denúncias de movimentos sociais populares. ii. busca as fontes secundárias em jornais e documentos oficiais. Após os dados coletados, inicia-se a etapa de processamento, sistematização e análise de dados, que os transformam em registros para fundamentação de denúncias sobre violações de direitos.

Deve-se ter em mente que não são considerados registros ligados a casos de violência, incluindo assassinatos, que não tenham relação com conflitos pela disputa, posse ou uso da terra ou água; casos de conflitos pela posse, uso ou ocupação em áreas urbanas; conflitos entre latifundiárias e grandes empresas e casos de trabalho escravo em atividades urbanas.

Apesar do documento trazer uma discussão muito rica sobre a abrangência dos conflitos diretos e indiretos associados ao rompimento da barragem da Mina do Córrego do Feijão em Brumadinho, apenas três registros foram identificados para a Região 3 (Tabela 16). Porém, considerou-se o conflito registrado na Comunidade Lago do Cisne, devido às características ligadas à interrupção da pesca, que se relaciona à comercialização de iscas comumente realizada no município de Caetanópolis e, portanto, seus efeitos afetam a Região 3.

Tabela 16: Registro de conflitos identificados pela Comissão Pastoral da Terra para o ano de 2019, na Região 3.

ID CONFLITO	MUNICÍPIO	COMISSÃO/COMUNIDADE/LOCALIDADE	ATORES MAPEADOS	INTERESSES	DADO BRUTO	CATEGORIA DE CONFLITO
CS1	Pará de Minas	Córrego do Barro	Vale, grandes empreendimentos, poder público, judiciário, comunidades	Uso do Rio Paraopeba	60 famílias envolvidas 20/05/2019	Conflitos pelo uso da água e Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas;
CS2	Paraopeba	Com. Quilombola de Pontinha	Vale, grandes empreendimentos, poder público, judiciário, comunidades	Uso do Rio Paraopeba	300 famílias envolvidas 17/07/2019	Conflitos pelo uso da água e Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas;
CS3	São José da Varginha	Com. Ribeirinha de São José da Varginha	Vale, grandes empreendimentos, poder público, judiciário, comunidades	Uso do Rio Paraopeba	30 famílias envolvidas 02/05/2019	Conflitos pelo uso da água e Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas;
CS4	Três Marias	Com. Lago do Cisne/Represa Três Marias/Rio São Francisco	Vale, grandes empreendimentos, poder público, judiciário, comunidades	Uso do Rio Paraopeba	70 famílias envolvidas 31/02/2019	Conflitos pelo uso da água e Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas;

Todos os conflitos identificados pela instituição, na Região 3, têm relação direta com o rompimento da barragem da Mina do Córrego do Feijão e a inutilização do rio Paraopeba para os usos relacionados ao consumo direto, irrigação, dessedentação de animais, lazer e pesca.

Não há uma descrição específica de cada um dos conflitos apresentados. Porém, todos foram caracterizados como conflito pela água associados à destruição e/ou poluição de um curso d'água, que são aqueles conflitos registrados quando a destruição das matas ciliares ou o uso de agrotóxicos e outros poluentes que diminuem o acesso à água ou a tornam imprópria para o consumo.

Olhando em uma perspectiva mais ampla, e não necessariamente associada ao rompimento, mas em vias de potencialização por tal, o documento da Comissão Pastoral da Terra aponta que em 2019 o campo brasileiro experimentou um significativo aumento de conflitos, motivado, em boa parte, pelo incendiário e violento discurso do Governo Federal em favor dos grandes proprietários rurais e grileiros, do agronegócio, das atividades garimpeira e madeireira ilegais e contra os Movimentos Sociais do Campo, considerados e tratados. De modo geral, observou-se um aumento no número de conflitos em 12% quando comparamos o ano de 2019 (1254 conflitos) a 2018 (1.124 conflitos).

Considerando esse cenário, motivado pelo discurso federal, e tendo ciência que a maior parte das propriedades existentes na Região 3 são pequenas propriedades (NACAB, 2020), o rompimento e a desvalorização das terras próximas ao rio poderão produzir novos conflitos por terra, principalmente nos municípios com a grande presença de latifundiários, como Paraopeba

e Papagaios. Além disso, deve-se ter em mente que o CPT só registra os conflitos que chegam ao seu conhecimento e, portanto, sendo apenas uma parte dos conflitos gerais do território.

2. GESTA. Observatório dos Conflitos Ambientais. Belo Horizonte: Gesta, 2020

O Observatório dos Conflitos Ambientais é um portal eletrônico desenhado para tornar o Mapa dos Conflitos Ambientais em Minas Gerais uma ferramenta mais dinâmica e interativa. Esse mapeamento é produto de uma série de pesquisas produzidas pelo Grupo de Estudos em Temáticas Ambientais - GESTA, da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG em parceria com o Núcleo de Investigações em Justiça Ambiental - NINJA, da Universidade Federal de São João del Rey e o Núcleo Interdisciplinar de Investigação Socioambiental - NIISA, da Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES, e contou com apoios das agências de Fomento do Estado de Minas Gerais, como a FAPEMIG e CNPq.

O objetivo principal do mapeamento dos conflitos ambientais do Estado de Minas Gerais é registrar a existência de lutas sociais especializadas (LASCHEFSKI, 2017). Para os responsáveis, esse mapeamento procura conferir visibilidade aos protagonistas marginalizados, facilitando as trocas de informações e a atuação coletiva em redes. Deve-se ter ciência que, apesar do observatório trazer um registro descritivo de mais de 500 casos de conflitos no Estado de Minas Gerais, esse número não representa uma expressão do quantitativo total, mas sim um registro dos casos mais emblemáticos, visto a escala do conflito. Desta forma, também são raros os conflitos e lutas sociais que permitem a localização exata quando se trabalha com uma escala regional. Sendo assim, a definição do local do conflito é considerada o município ou comunidade como um todo.

A concepção deste trabalho de pesquisa, registro, descrição e espacialização envolvem três frentes complementares de trabalho. A primeira refere-se ao levantamento de indicativos de conflitos em atas de órgãos ambientais deliberativos, como nas atas do COPAM - Conselho da Política Ambiental do Estado de Minas Gerais e em processo nos Ministérios Públicos Federal e Estadual. Em função da descentralização desse órgão, esse projeto visitou as sedes de 228 comarcas do estado, com o objetivo de consultar promotores, oficiais de justiça e agentes públicos.

A segunda etapa refere-se à realização de oficinas participativas nas 12 mesorregiões do estado de Minas Gerais com os atores chaves locais com o objetivo de compreender as

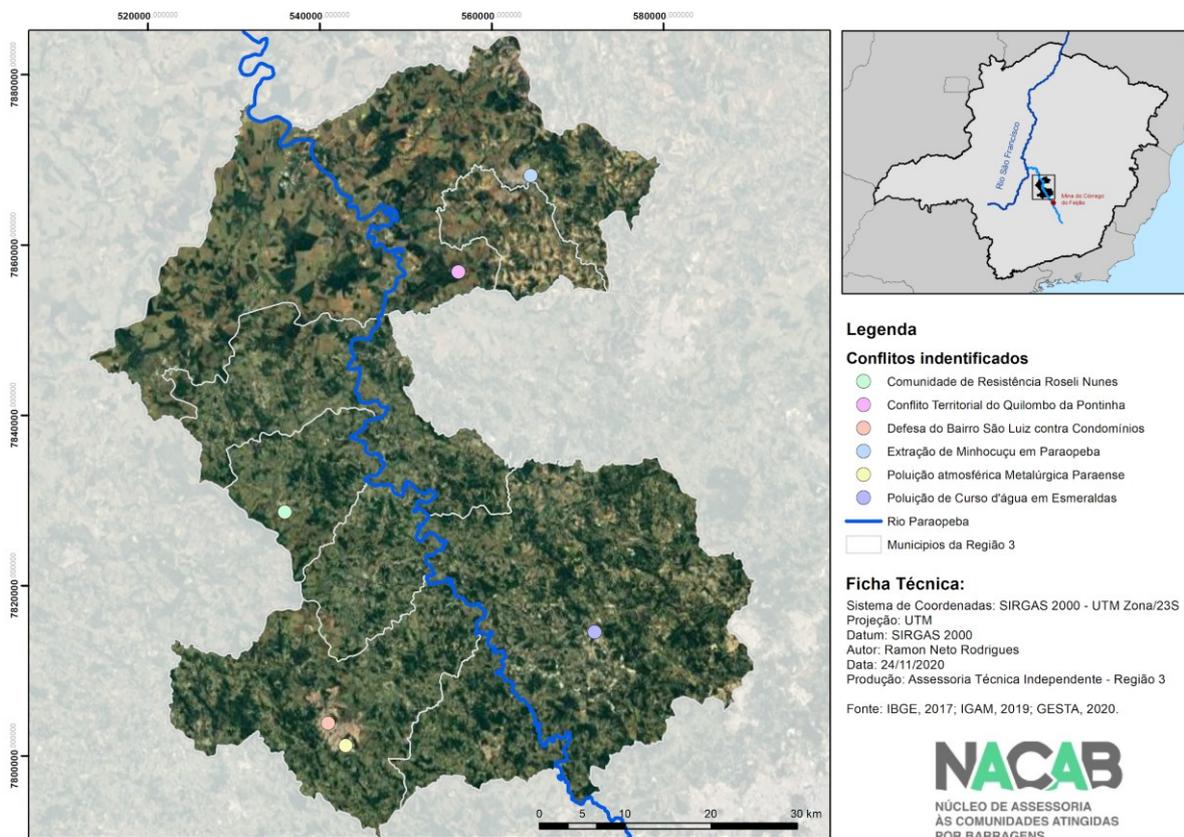
perspectivas dos sujeitos envolvidos nas situações de conflitos. Por fim, na terceira etapa, os conflitos foram descritos e especializados dentro da Plataforma do Google Maps, e disponibilizados de forma pública.

Dos 550 conflitos registrados na plataforma, seis conflitos foram identificados dentro da Região 3 (Tabela 17; Figura 49). Esses conflitos estão relacionados ao uso da água e/ou conflitos pela terra e bases extrativistas e um caso de conflito por criminalização.

Tabela 17: Conflitos identificados pelo Grupo de Estudos em Temáticas Ambientais - Gesta, na Região 3, e disponibilizados no Observatório de Conflitos de Minas Gerais.

ID CONFLITO	MUNICÍPIO	COMISSÃO/COMUNIDADE/ LOCALIDADE	ATORES MAPEADOS	INTERESSES	DADO BRUTO	CATEGORIA DE CONFLITO
CS11	Esmeraldas	Bairro Santa Quitéria e Nova Esmeralda	Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA); Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba; Governo Estadual de Minas Gerais; Ministério Público Estadual (MPE).	Participação no processo de decisão que envolve a comunidade	Invasão de propriedades, impossibilidade de uso do córrego raiz, recebimento de esgoto de outras localidades, falta de informação e diálogo com a comunidade.	Conflitos pelo uso da água;
CS12	Pará de Minas	Bairro São Luiz	Prefeitura de Pará de Minas, Movimento ONG REDEGEOAMBIENTAL, Ministério Público Estadual	Lucro; Saúde e Água para a comunidade	Empreendimento que compromete nascente e entornos do rio afeta disponibilidade hídrica, saúde e leva a especulação imobiliária	Conflitos pelo uso da água; e Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas;
CS13	Pará de Minas	Bairros Dom Bosco, Jardim das Piteiras I, Jardim Beatriz	Metalúrgica Paraense Ltda (MEPAL); Polícia Militar de Minas Gerais (PMMG); moradores dos bairros Dom Bosco, Jardim das Piteiras I, Jardim Beatriz e Patafúfo; Conselho Municipal de Saúde de Pará de Minas; Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM); Secretaria Municipal do Meio Ambiente; Ministério Público Estadual de Minas Gerais (MPE/MG).	Participação no processo de decisão que envolve a comunidade	Poluição atmosférica causada por indústria metalúrgica instalada em área urbana, descon sideração dos pleitos da comunidade no entorno	Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas;
CS14	Paraopeba	Quilombo da Pontinha	Associação Comunitária do Quilombo da Pontinha; Ministério Público Estadual de Minas Gerais (MPE/MG); Prefeitura Municipal de Paraopeba; Fundação Cultural Palmares; Empresa V&M S.A.; Centro de Documentação Eloi Ferreira da Silva (CEDEFES); Instituto Nacional de Reforma Agrária (INCRA); fazendeiros da região; Polícia Militar de Minas Gerais (PMMG); Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do estado de Minas Gerais (EMATER/MG).	Território para plantação; território da comunidade	Invasão de território quilombola, impedimento de acesso a áreas sagradas, diminuição da disponibilidade hídrica pela degradação do bioma pela monocultura de eucalipto.	Conflitos pelo uso da água e Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas;
CS15	Caetanópolis; Paraopeba	Generalizado	Extratores e comerciantes de minhocuçu; proprietários rurais; MPE/MG; IBAMA; Vallourec & Mannesmann; UFMG; Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater); Sindicato dos Produtores Rurais de Paraopeba e Caetanópolis; ONG Instituto Sustentar; Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad-MG); Instituto Chico Mendes (ICMBio).	Garantir fonte de renda por meios sempre utilizado naquela comunidade; diminuir quantidade de pessoas para quem se deve indenização.	Conflito entre comunidade e grandes proprietários de terra, criminalização de fonte de renda e povos tradicionais pela extração de minhocuçu	Conflitos por criminalização
CS16	Pequi	Assentamento Comunidade de Resistência Roseli Nunes (MST)	MST; INCRA; Instituto Estadual de Florestas (IEF).	Não considerar a comunidade como igualmente danosa à produção de um latifúndio; não restringir manejos, inviabilizando a utilização da terra.	Consideração das formas de manejo da terra por assentamentos como igualmente danoso ao do agronegócio e aplicação conservadora de legislação ambiental, leva a esvaziamentos da comunidade.	Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas;

Figura 49: Localização dos conflitos identificados pelo Grupo de Estudos em Temáticas Ambientais - Gesta, na Região 3, e disponibilizados no Observatório de Conflitos de Minas Gerais.



i. CS11. Conflito por uso do Córrego Raiz entre comunitários e a COPASA.

Segundo dados do Observatório dos Conflitos de Minas Gerais (GESTA, 2020), esse conflito se iniciou em 2003 com o início dos estudos para implementação das redes de esgotos dos Bairros Santa Quitéria e Nova Esmeraldas, no município de Esmeraldas. Neste ano, ainda não havia planos para tratamento do esgoto coletado, que seria lançado diretamente no córrego Raiz, que segundo moradores da região, era utilizado pelas comunidades a jusante do ponto previsto de lançamento, para irrigação e dessedentação de animais.

A instalação desta infraestrutura foi alvo de inquérito civil protocolado pelo Ministério Público Estadual (MPE), que averiguou a provável poluição do córrego Raiz, que é um dos afluentes do córrego Meloso, ambos pertencentes à bacia hidrográfica do rio Paraopeba. Não foram encontrados dados sobre a conclusão deste inquérito. Porém, em 2006, o Governo de Minas Gerais autorizou a Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA a dar início

aos projetos de implementação do sistema de esgotamento sanitário da cidade, incluindo a instalação de duas Estações de Tratamento de Esgoto, para evitar que os esgotos da cidade caíssem diretamente no córrego Meloso, contribuindo para a revitalização da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Porém, o último Relatório de Fiscalização do Sistema de Esgotamento Sanitário do Município de Esmeraldas, de responsabilidade da Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais – ARSAE/MG (ARSAE, 2014), produzido em 2014, afirma que apenas 15,35% da população total do município era atendida pela rede coletora do sistema de esgotamento sanitário. Além disso, esse relatório aponta que a conclusão das obras ampliaria o percentual de atendimento com coleta e tratamento de esgoto para 39,67% da população total.

Ainda segundo esse relatório de fiscalização, ainda existem muitas comunidades, incluindo algumas comunidades diretamente afetadas pelo rompimento como a comunidade de Cachoeirinha e São José, que não possuem nenhum tipo de tratamento de esgoto.

De acordo com o Atlas Esgotos - Despoluição das Bacias Hidrográficas (ANA, 2015), apenas 10,6% do esgoto doméstico do município é coletado e tratado na Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Esmeraldas, operada pela COPASA, enquanto 11,3% do esgoto é coletado porém não é tratado. O restante do esgoto gerado é encaminhado diretamente para o Ribeirão Grande (73,1% do total) ou tratado por soluções individuais (5%). Essa atlas ainda estima que aproximadamente 3030 kg/dia de carga de esgoto (considerando a demanda bioquímica de oxigênio) seja lançado nesse curso d'água sem nenhum tipo de tratamento e sugere a criação de mais duas estações de tratamento de esgoto, sendo que uma enviaria o efluente tratado para o ribeirão Meloso e outro para o ribeirão Felipão, ambos pertencentes à bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

Apesar de não ser possível averiguar a persistência desse conflito específico, é possível averiguar que a situação atual do esgotamento sanitário de Esmeraldas, pode minimizar a disponibilidade de água para irrigação e dessedentação de animais, já comprometida pelo atual situação do rio Paraopeba, e portanto, com alta potencialidade de geração de novos conflitos principalmente nas áreas mais próximas ao rio Paraopeba.

ii. CS12. Movimento de defesa do bairro São Luiz contra condomínios.

O conflito entre os moradores do bairro São Luiz, em Pará de Minas, e os donos dos condomínios recentemente instalados na região, foi registrado durante a oficina com atores sociais da Região Central de Minas Gerais, realizada em abril de 2012, na Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Segundo os relatos dos moradores, nesse período, a região passava por um processo de intensa especulação imobiliária, parcelamento irregular do solo e ocupação urbana associada à construção de condomínios sem respeito às normas ambientais vigentes. Esse processo, segundo relatos, tem provocado a degradação ambiental das áreas de nascente do terreno e o assoreamento de cursos d'água. As nascentes citadas fazem parte da bacia do ribeirão Paciência, que transpassa o perímetro urbano de Pará de Minas e também é alvo de uma série de conflitos associados ao uso consultivo de água.

Após uma série de manifestações da ONG RedeGeoAmbiental, o Ministério Público instaurou um inquérito civil público, culminando em um Termo de Ajuste de Conduta com o dono da área para o Licenciamento do Empreendimento e proteção dos cursos d'água conforme previsto em legislação ambiental pertinente. Em nova manifestação, a ONG ainda aponta que os termos do ajuste de conduta não foram cumpridos de maneira adequada e que novas ações de represamento do curso d'água poderiam trazer prejuízos à qualidade hídrica do ribeirão Paciência, e conseqüentemente, à qualidade ambiental dos seus usuários.

Segundo o GESTA (2012), o problema enfrentado por esse bairro está inserido em um contexto maior de conflitos ligados a mudanças nas diretrizes de uso e ocupação do solo no município, que se transforma conforme pressões políticas e econômicas para favorecer a implantação de condomínios em detrimento à preservação, qualidade de vida e participação popular. Desta forma, entende-se que esse conflito não é um conflito isolado ao bairro São Luiz e muito menos ao município de Pará de Minas. A degradação de áreas de preservação permanente em função da alteração de uso e cobertura do solo como consequência da expansão urbana é uma realidade na Região 3 e, portanto, seus aspectos e possíveis danos relacionados à queda da qualidade hídrica dos cursos d'água da bacia deverão ser monitorados ao longo da assessoria.

iii. CS13. Poluição atmosférica causada pela Metalúrgica Paraense LTDA.

Segundo o GESTA (2020), esse conflito registrado em sua plataforma trata-se de um conflito associado à poluição atmosférica, causada pelas atividades industriais de uma metalúrgica localizada próxima às zonas residenciais do município de Pará de Minas. Esse conflito foi identificado depois de uma consulta realizada em 2011 nas bases do Ministério Público.

A descrição disponibilizada pelo observatório de conflitos indica que, depois de uma série de procedimentos legais realizados pelo Ministério Público, a metalúrgica mudou seu endereço para uma área industrial do município e fez ajustes em seu sistema produtivo para adequação e obtenção da autorização ambiental de funcionamento. Não há registros de novos conflitos envolvendo essa metalúrgica e, pelo entendimento da equipe técnica do NACAB, é um evento isolado e com risco potencial de agravo baixo.

iv. CS14. Conflito Territorial do Quilombo da Pontinha.

O quilombo da Pontinha está situado no município de Paraopeba, Minas Gerais. Segundo a Sabará (2001), o terreno pertencente à Pontinha teria sido doado aos escravizados pelo Padre Antônio Moreira, grande proprietário de terras na região. Segundo Santos e Camargo (2008), os relatos de um dos moradores mais atingidos da comunidade, cita que Muzinga, que é filho do escravizado Chico Rei, comprou as terras da igreja quando se dirigia para Diamantina. Além das famílias que vieram com Muzinga, muitos escravizados que trabalhavam na fábrica de tecido Cedro Cachoeira, que se instalou em Paraopeba em 1872, passaram a residir também na Pontinha. Segundo o Parecer Técnico N°1498/2019 produzido pelo Ministério Público Estadual (MPE, 2019), as lideranças da comunidade afirmam que existia um documento com o registro de doação dessas terras no cartório de Santa Luzia, mas que o mesmo sofreu um incêndio e o documento se perdeu na ocasião.

Apesar de não haver esse documento, o Relatório Antropológico produzido pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, de 2018 (INCRA, 2018 apud MPE, 2019) aponta que foi identificada uma carta de sesmaria que registra a posse e extensão das terras do

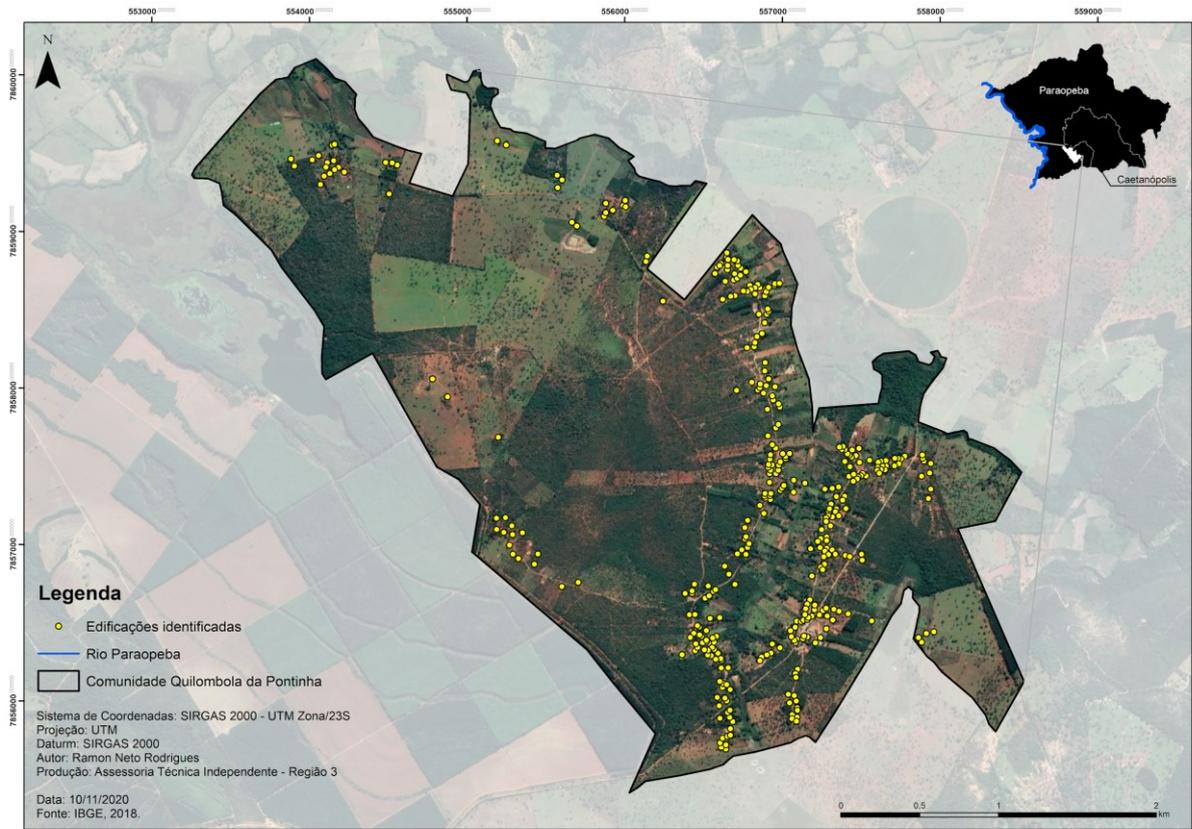
Padre Antônio Moreira Barboza, em região onde atualmente está localizada a comunidade da Pontinha, o que corrobora todas as narrativas históricas dos comunitários a respeito da origem da Comunidade:

“Os termos dos documentos apresentam elementos significativos a indicar tanto a presença de escravos na região, ligados a um dono, padre, já inseridos nas terras as quais cultivavam, cuja origem veio de uma concessão feita por Antônio Moreira Barboza, possuidor de uma única sesmaria. Importa enfatizar a ampliação das fronteiras desta sesmaria com a anexação de terras contíguas que fossem devolutas, dando a entender que se tratava de um domínio com grande extensão territorial. O território de Pontinha fica próximo ao encontro das águas do Ribeirão dos Macacos, Ribeirão São João com o Rio Paraopeba, sendo este uma de suas divisas ou limites. Essas informações corroboram as narrativas da comunidade sobre a existência de escravos ligados à figura de um padre, e a existência de uma concessão de terras feita por Antônio Moreira Barboza, o que não exclui a possibilidade de que parte de sua sesmaria tenha sido posteriormente doada aos escravizados que nela trabalhavam.” (INCRA, 2018, p. 47 *apud* MPE, 2019)

O número de habitantes dentro da comunidade é incerto. Dados demográficos coletados por Sabará (2001), em 2000, afirmam que a comunidade era composta por cerca de 240 núcleos familiares, totalizando aproximadamente 2.000 pessoas. Porém, o Ministério Público Estadual, em seu Parecer Técnico N°1498/2019, afirma que a comunidade atualmente é formada por cerca de 300 núcleos familiares, totalizando cerca 3.000 pessoas. Com o auxílio de imagens de satélite de alta resolução, a Assessoria Técnica Independente da Região 3, identificou e mapeou 368 edificações pertencentes aos limites territoriais da comunidade de pontinha (vide Capítulo 1 deste documento; Figura 50), que se aproxima do número indicado pelo Ministério Público.

As moradias estão organizadas em um aglomerado rural composto por pelo menos sete vias densamente povoadas. Ao longo destas vias estão situadas a maior parte das moradias da comunidade. Nesta região situam-se também os principais equipamentos públicos da comunidade, como posto de saúde, sede da associação comunitária, praça, bares e a Escola Municipal Dr. Teófilo Nascimento, com sua quadra esportiva e campo de futebol. A capela de Nossa Senhora do Rosário, padroeira da comunidade, se encontra no centro da praça da comunidade.

Figura 50: Limites de uso e edificações mapeadas na Comunidade Quilombola de Pontinha.

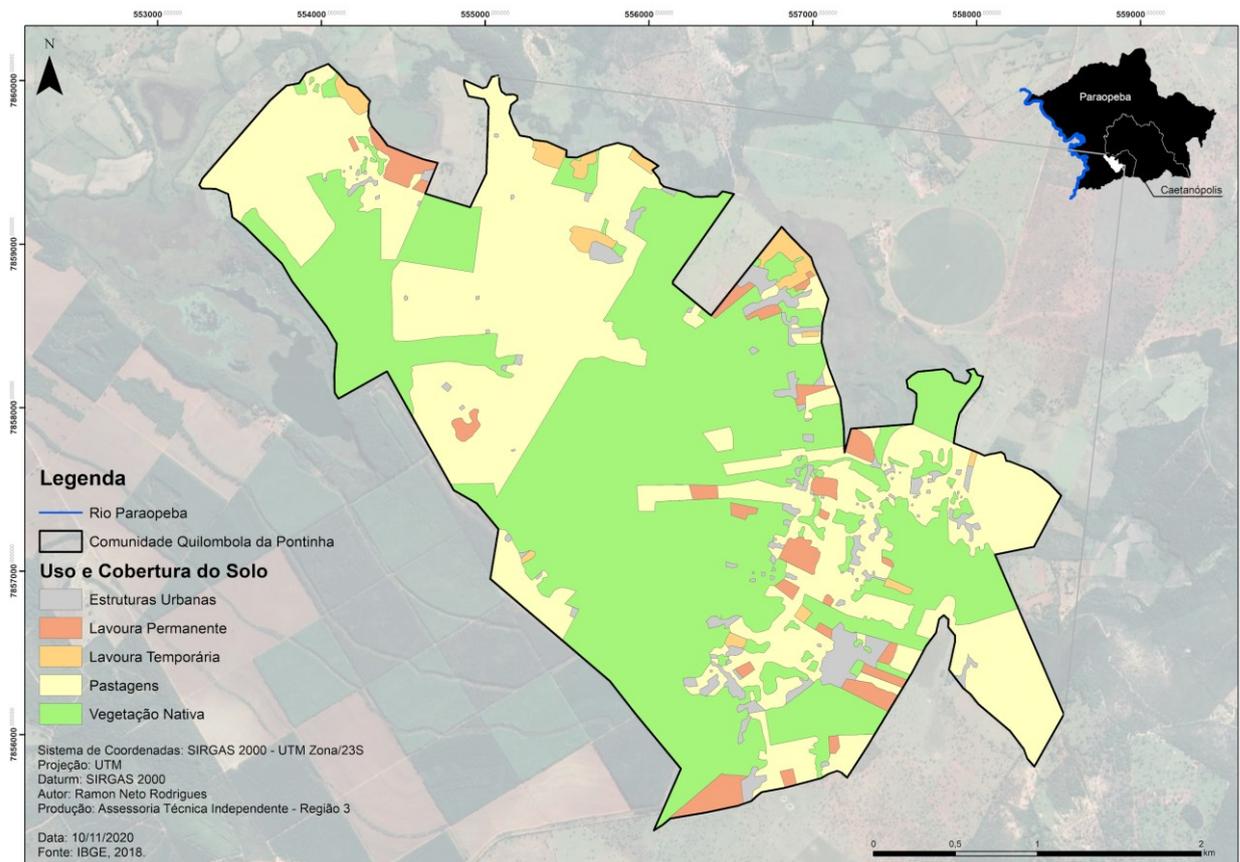


Limites baseados no mapeamento de uso da área realizado por Pinto (2017).

Segundo Ministério Público Estadual (MPE, 2019), embora as áreas de alta densidade sejam o núcleo da comunidade, seu território não é restrito a essa região. Isso acontece, pois os vínculos com as diferentes localidades mais afastadas do núcleo urbano, como a Lagoa Dourada, perpassam a história compartilhada, e portanto, com relações de afinidade e usos comuns tradicionais a todos seus comunitários. Sabará (2001) indica que área total da comunidade, localizada entre o rio Paraopeba, Córrego do Lontra e o Ribeirão do Cedro, tinha inicialmente entre 2000 e 3000 hectares. Pinto (2017), mapeando as áreas de uso do território da Pontinha de forma participativa junto aos membros da comunidade, estimou que a área atual de uso ocupa cerca de 1184 hectares. Utilizando esse polígono de referência como base, a maior parte da área de uso é composta por vegetação nativa (569,5 hectares), seguida por áreas de pastagens (461,47 hectares). As áreas com edificações, incluindo moradias e equipamentos públicos ocupam cerca de 3,48 % da área total mapeada, aproximadamente 3,48% da área da comunidade (Figuras 51 e 52).

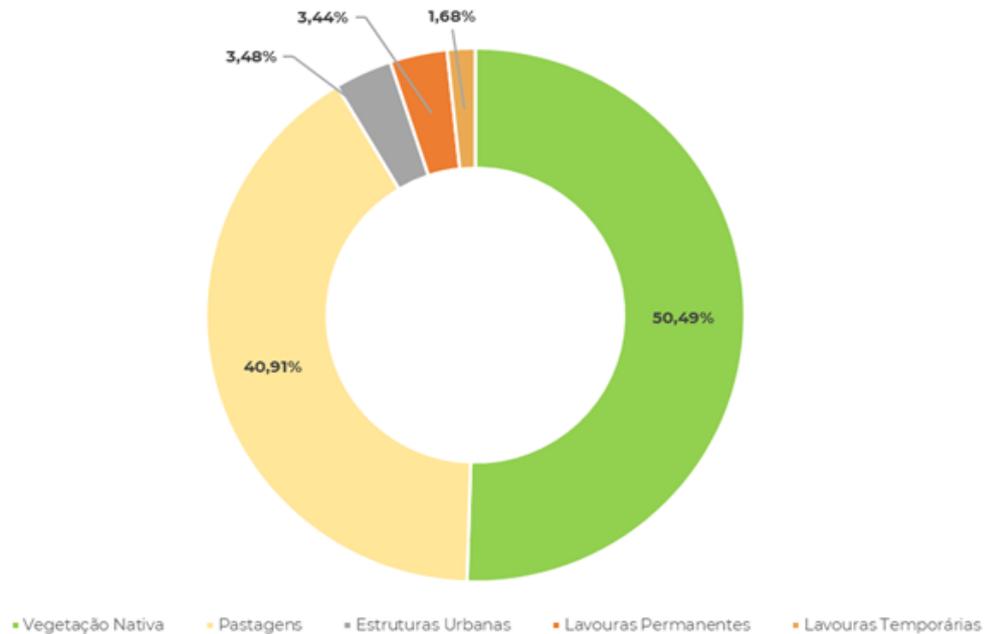
Seus residentes têm como principal fonte de trabalho e renda a extração de uma espécie de oligoqueto gigante endêmico do cerrado, o minhocoçu (*Rhinodrilus alatus*), utilizado como isca para a pesca amadora no Brasil (DRUMOND et al. 2013, 2015). Sua extração e comercialização constituem atividades tradicionais praticadas por pelo menos 80 anos na região Central Mineira. Vários conflitos sociais, ambientais e institucionais relacionam-se a essa atividade, como captura, acondicionamento e comércio ilegais, invasão de propriedades privadas e de unidades de conservação e uso do fogo durante a extração em áreas de cerrado, pastagens e silviculturas (DRUMOND et al. 2015), vide tópico v. CS15 apresentado mais abaixo nesse documento.

Figura 51: Mapa de uso e cobertura do solo da Comunidade Quilombola da Pontinha.



Produzido pela Assessoria Técnica Independente da Região 3, com auxílio da classificação supervisionada de imagens de satélite de alta resolução (5 metros) de 2019. Limites de uso da comunidade quilombola da pontinha baseados no mapeamento de Pinto (2017).

Figura 52: Distribuição percentual da área de diferentes usos e cobertura do solo, para a comunidade quilombola de Pontinha.



A comunidade da Pontinha obteve sua certidão de autoreconhecimento junto a Fundação Cultural Palmares em 22 de agosto de 1988. Porém, somente em 2005, por meio da Portaria nº 17 de 06 de abril de 2005, a comunidade foi reconhecida como comunidade quilombola. Apesar do reconhecimento pela Fundação Palmares, a demarcação das terras da Pontinha ainda não foi realizada, o que historicamente, tem provocado a apropriação de parte das áreas pertencentes à comunidade por empreendimentos e fazendas, o que tem provocado inúmeros conflitos naquela região. Segundo o MPE (2019), esse processo de expropriação e de controle externo sobre as terras do quilombo não é recente.

Ainda na década de 1930, já existia uma ação movida pela comunidade pela usucapião coletiva com o objetivo de salvaguardar as investidas dos fazendeiros e grileiros sobre o seu território (GESTA, 2012). Em 1945, iniciou-se ainda o processo batizado de Ação de Divisão das Terras da Fazenda da Pontinha, que já conta com oito volumes, porém sem conclusão iminente (SABARÁ, 2001). Mais recentemente, no início da década de 1990, visando regularizar a situação fundiária da região, a prefeitura de Paraopeba decretou a desapropriação de uma área de 20 alqueires da fazenda da Pontinha (Decreto Municipal nº69/1990), repassando-o em seguida para comunidade quilombola da Pontinha (PARAOPEBA, 1990 apud GESTA, 2020).

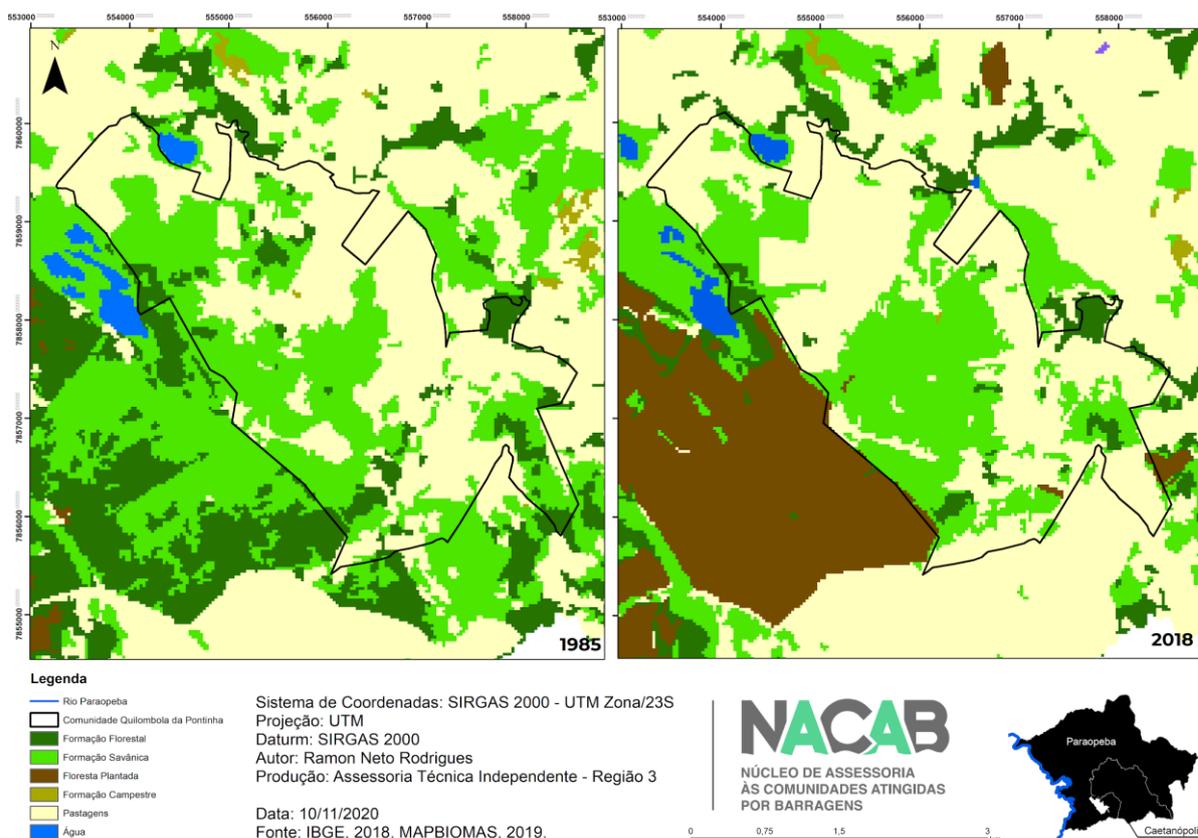
Em 2006, o Ministério Público Estadual, instaurou o Inquérito Civil Público 029/2006 exigindo o cumprimento desse Decreto Municipal, na tentativa de regularização das terras da comunidade. Porém, dois meses depois, a Prefeitura de Paraopeba informou que o cumprimento deste decreto poderia causar mais conflitos na região, pois ela engloba áreas que não seriam da comunidade. Ainda neste ano, o INCRA, em ofício enviado ao MPE, afirmou que o processo de demarcação do Quilombo da Pontinha dependia de um relatório antropológico e que sua realização só seria realizada após a chegada de recursos financeiros ao órgão.

Segundo relatos dos moradores e informações fornecidas pelo promotor de justiça da comarca de Paraopeba, Minas Gerais, as terras da Pontinha estão sendo reduzidas pouco a pouco, devido a invasões de fazendeiros, criadores de gado e mais recentemente devido à ampliação das áreas de silvicultura da empresa Vallourec Florestal, que cercou as áreas da Lagoa Dourada, vista como lugar sagrado para seus moradores (GESTA, 2012). O cercamento da lagoa é sentido pela a comunidade, tendo em vista que ela era tradicionalmente usada para diversas atividades, sobretudo lazer. Dados de uso e ocupação do solo de Paraopeba, MG, indicam um aumento de 501% das áreas de floresta plantada no município entre 1985 e 2018 (MAPBIOMAS, 2019), ampliação situada em sua grande maioria próxima aos limites da Comunidade Quilombola da Pontinha (Figura 53).

Observa-se ainda uma ampliação das áreas de pastagens no entorno do território quilombola da pontinha, principalmente na região sul e oeste da comunidade. Algumas alterações na região central da comunidade, principalmente no que se refere a mudanças de área de vegetação nativa (formação florestal e formação savânica) em pastagens, podem estar relacionadas a algumas áreas de pastagens arrendadas na comunidade, o que tem se tornado cada vez mais comum.

Dados do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural - SICAR e do Sistema Nacional de Gestão Fundiária - SIGEF revelam que essa lacuna de regularização fundiária já tem sido preenchida por outras propriedades privadas, apertando e diminuindo ainda mais o território da comunidade (Figura 54). A localização dessas áreas dentro das áreas de uso da comunidade são justamente as áreas onde houveram as principais mudanças de uso e cobertura de terra de vegetação nativa para pastagem entre 1985 e 2018, evidenciando esse processo de invasão. É possível observar também uma lacuna de informação fundiária da Lagoa Dourada, alvo de disputa entre a empresa Vallourec Florestal e os comunitários, apesar de existirem relatos de cercamento dessa área pela empresa (GESTA, 2012).

Figura 53: Mapeamento de uso e cobertura do solo para a Comunidade Quilombola de Pontinha, entre 1985 e 2018.



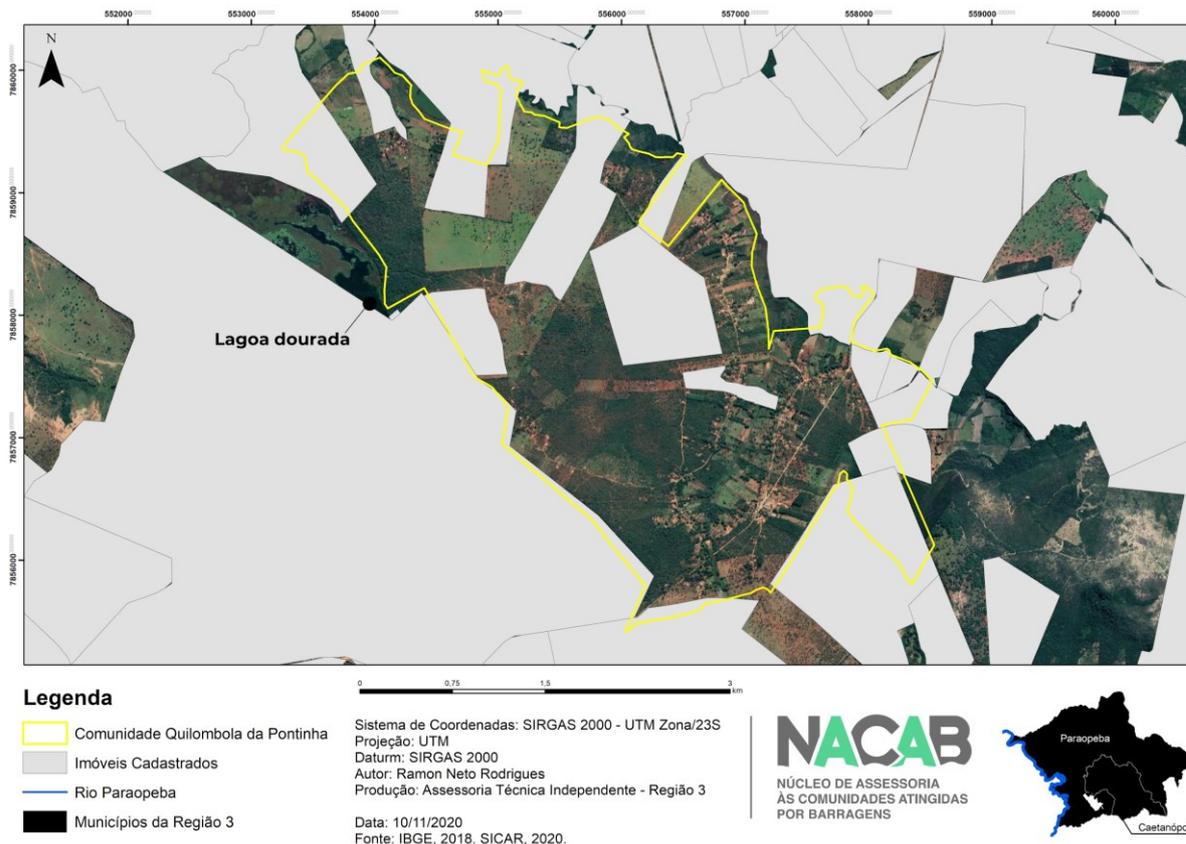
Limites de uso da comunidade quilombola da pontinha baseados no mapeamento de Pinto (2017).

É difícil precisar o impacto do rompimento sobre o conflito pelas terras da comunidade Quilombola da Pontinha, porém, acredita-se que os impactos do rompimento na pesca amadora regional e, conseqüentemente na comercialização do minhocoçu, tenha agravado as vulnerabilidades econômicas dessa comunidade que associado a conseqüências negativas da empresa Vale S.A, em considerar essa comunidade como atingida, pode acarretar em uma série de desistências na luta pelo território e a especulação imobiliárias dessas terras, o que pouco a pouco já vem acontecendo. A perda de áreas tradicionais de uso da comunidade como a Lagoa Dourada, também é vista como problemática para o bem estar da comunidade, podendo gerar conflitos direcionados entre a empresa e os comunitários.

Desta forma, o monitoramento desse conflito e dos processos de regularização das áreas da Comunidade Quilombola da Pontinha, são fundamentais para identificação dos danos diretos e indiretos provenientes após o rompimento da barragem da Mina do Córrego do Feijão sobre

o território, é, portanto, deve ser alvo de investigação mais detalhada no diagnóstico ampliado proposto pelo Plano de Trabalho da ATIR3.

Figura 54: Lacunas de informações fundiárias identificadas no território Quilombola de Pontinha.



Limites de uso da comunidade quilombola da pontinha baseados no mapeamento de Pinto (2017).

v. CS15. Conflito entre comunidade e grandes proprietários de terra e criminalização de fonte de renda e povos tradicionais pela extração de minhocoçu.

O minhocoçu *Rhinodrilus alatus* é uma espécie de anelídeo gigante, endêmico do bioma Cerrado da região central do Estado de Minas Gerais. Esta espécie é utilizada como isca para pesca amadora há mais de 70 anos (DRUMMOND, 2008). A região central do Estado de Minas Gerais é o maior centro de comercialização desta espécie, especialmente nos municípios de Paraopeba, Caetanópolis e Curvelo, sendo os dois primeiros pertencentes à Região 3. Milhares de pessoas, incluindo membros da Comunidade Quilombola da Pontinha (vide iv. CS14) vivem da extração e comercialização dessa espécie.

No entanto, a legislação ambiental atual enquadra essa atividade como crime ambiental e proíbe a extração, transporte e comércio ou uso dessa espécie da fauna silvestre, sem a estrita autorização dos órgãos competentes (Lei Federal Nº 5.197/1967; Lei Federal Nº 9.605/1998; Decreto Federal 3.179/1999). Devido a esse quadro legal da atividade, conflitos entre coletores e comerciantes e autoridades do governo são comuns. Tentativas de supressão da atividade, com a apreensão de equipamento e de minhocuçus, detenção e a condenação de extratores e comerciantes, apesar de hoje não serem tão frequentes atualmente, são vividas nas memórias das comunidades.

Além desse conflito associado à criminalização da atividade, a coleta e a extração envolvem conflitos relacionados a invasões de propriedades privadas e unidades de conservação (DRUMMOND, 2008), cujo os registros de invasão são datados desde 1971. Os conflitos estão diretamente relacionados ao uso do fogo pelos extratores para remoção da vegetação rasteira e devido ao revolvimento do solo, ocasionando a perda de produtividade em pastagem e a remoção de touceiras. No Cerrado, o processo de extração também pode acarretar na remoção de plantas herbáceas e lenhosas em todos os estágios de vida.

Visando minimizar tais conflitos, desde o ano de 2004 tem sido desenvolvido um Programa de Conservação que compreende diferentes projetos voltados à análise do sistema socioecológico relacionado à atividade de uso dessa espécie. Entre os principais produtos desse programa está a criação do Plano para a Conservação e Manejo do Minhocuçú *Rhinodrilus alatus*, construído e discutido com vários setores interessados, como Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (IBAMA), Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF-MG), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), Ministério Público do Estado de Minas Gerais (MPE-MG), extrativistas, comerciantes, proprietários rurais, dentre outros.

Informações ambientais derivadas do processo de formação coletiva do conhecimento e dados sobre a abundância e distribuição de *R. alatus* indicam a possibilidade de adoção do manejo adaptativo para auxiliar na implementação de políticas públicas para este sistema e na minimização dos conflitos socioambientais instalados na região (DRUMMOND, 2008).

Esse plano de manejo incorpora diferentes estratégias de médio e longo prazos, dentre as quais o monitoramento do comércio dessa espécie na região a fim de se compreender o contexto socioeconômico dessa atividade, porém ainda não foi implementado institucionalmente pelo IBAMA ou IEF. O monitoramento vem sendo realizado pelo Projeto Minhocuçú, com caráter de pesquisa, desde 2007.

Depois do rompimento da barragem de rejeito da Mina do Córrego do Feijão, que levou à proibição da pesca no rio Paraopeba e à estigmatização dos peixes da região, houve uma queda significativa da comercialização dessa espécie. Essa queda na comercialização tem afetado diretamente a renda de diversas pessoas cuja a atividade profissional envolvia a extração e comercialização dessa espécie. Acredita-se, portanto, que o rompimento, além de afetar o modo de vida e a renda dessas pessoas, pode proporcionar um aumento nos conflitos no que tange à busca por novas fontes de renda, inclusive o aumento dos conflitos por terra e conflitos associados a atividades criminosas.

vi. CS16. Conflito Territorial do Assentamento Comunidade de Resistência Roseli Nunes (MST)

O assentamento Comunidade de Resistência Roseli Nunes localiza-se na antiga Fazenda Brenha e possui cerca de 9.000 hectares, na zona rural do município de Pequi. Segundo dados fornecidos pelo Gesta (2010), no local estão assentadas 24 famílias.

Esse conflito teve início com a ação de imissão de posse da Fazenda Brenha ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA no dia 3 de abril de 2001. No mesmo dia, a Fazenda foi ocupada por cerca de 84 famílias do Movimento Sem Terra - MST, que se organizaram para formação de um assentamento agrário. Três meses depois, a fazenda foi desapropriada para fins de reforma agrária, o que acabou gerando alguns conflitos territoriais. Dois anos depois, deu-se início o processo de assentamento por meio da construção do Plano de Desenvolvimento de Assentamento do Roseli Nunes, concretizado em 2004, ano em que se deu início ao parcelamento da área às 25 famílias que vivem no assentamento (RAGGI, 2008).

Passado esse conflito inicial, atualmente o conflito está associado à atuação do Instituto Estadual de Florestas - IEF dentro da comunidade, principalmente dentro do escopo das áreas da Reserva Legal da antiga Fazenda Brenha, que juntamente às Áreas de Preservação Permanente - APPs, ocupam cerca de 50% da área total do assentamento, sendo permitidas apenas atividades de apicultura e o extrativismo sustentável dessas áreas. Até mesmo atividades agroflorestais, que precisam de um rodízio de podas constantes são negadas pelo IEF, o que tem gerado tensões entre os membros da comunidade e o órgão ambiental.

Como esse registro de conflito no Mapa de Conflitos Ambientais de Minas Gerais tem quase uma década sem atualização, não é possível ter dimensão atualizada desse conflito

atualmente. Desta forma, considerando o escopo e a temporalidade da informação entende-se que se trata de um conflito pontual, com pouco ou nenhum potencial de ser agravado pelo rompimento. Deve-se ressaltar que são necessárias mais informações sobre o conflito e sobre a postura do IEF para validar se essa postura relatada é pontual ao assentamento ou é generalizada em todo o território.

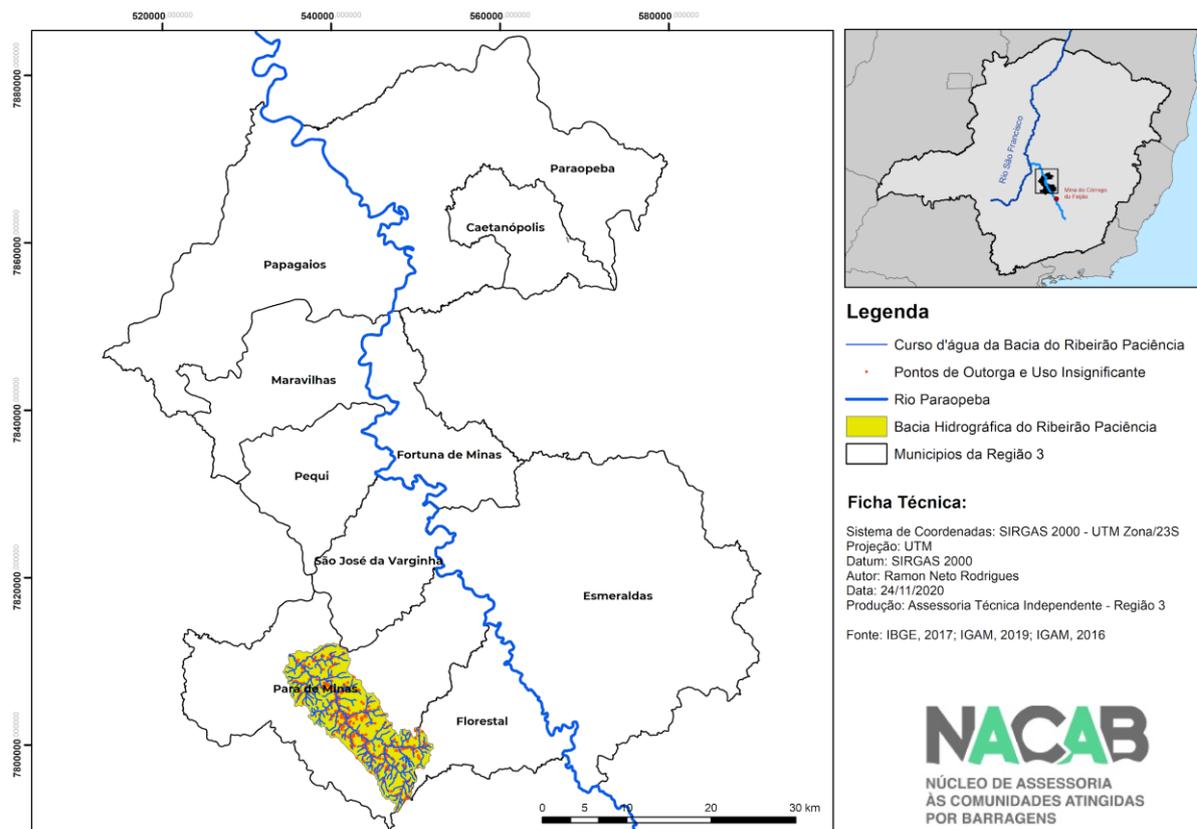
C) IGAM. Mapa de Conflitos por Recursos Hídricos. IDE - Sisema. Belo Horizonte, 2016.

Segundo o Mapa de Conflitos por Recursos Hídricos produzido com base nas áreas declaradas de conflitos por recursos hídricos do Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM e disponibilizado na Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, o estado de Minas Gerais conta com 57 áreas de conflitos declaradas (IGAM, 2016). Apenas uma área declarada encontra-se na Região 3 (Figura 55).

A bacia hidrográfica do ribeirão Paciência, está localizada dentro dos municípios de Pará de Minas e Florestal. Trata-se de uma sub-bacia hidrográfica do rio Pará. A declaração que define esta região como área de conflito foi instituída em 2009 (IGAM, 2009). Esta declaração aponta que esse conflito está associado à grande demanda por uso de recurso superficial e que, portanto, a regularização dos usuários da referida bacia que estejam outorgados ou sem processo formalizado no órgão competente deverá ocorrer por meio de processo único de outorga. Ainda segundo a declaração, essa situação se deve ao extrapolamento da vazão máxima outorgável (30% da Q7,10) levando a uma indisponibilidade hídrica da bacia (IGAM, 2009).

Mais recentemente, Duarte e Miola (2016), avaliando a disponibilidade hídrica nessa microbacia hidrográfica, observaram que a grande parte da demanda hídrica é proveniente do setor industrial e que, na época do estudo, a vazão disponível para outorga visando o abastecimento público era insuficiente para o município, principalmente devido aos períodos de estiagem e o provável aumento populacional. Eles ainda apontaram que a demanda para o abastecimento público só era sanada com auxílio das águas do rio Paraopeba e que a longo prazo até mesmo esse auxílio não seria suficiente para sanar o quantitativo de demandas do município.

Figura 55: Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Paciência e seus respectivos pontos de captação registrados.



Desta forma, entende-se que o rompimento da barragem B1 da mina do Córrego do Feijão, e a consequente diminuição da qualidade das águas do rio Paraopeba associada a proibição de seus uso, acarretou a uma série de problemas ao abastecimento público de Pará de Minas, e consequentemente, potencializando os conflitos por uso de água no município. Sendo assim, infere-se que esse conflito deverá ser monitorado a longo prazo e que os estudos de disponibilidade hídrica previstos por essa Assessoria Técnica considerem essa situação e possíveis estratégias de mitigação.

d) FIOCRUZ. Mapa de conflitos envolvendo injustiça ambiental e saúde no Brasil. 2020.

O Mapa de conflitos envolvendo injustiça ambiental e saúde no Brasil é resultado de um projeto desenvolvido em conjunto pela Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e pela Fase, com

o apoio do Departamento de Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador do Ministério da Saúde. Seu objetivo maior é, a partir da espacialização de conflitos, auxiliar na luta de grupos atingidos em seus territórios, principalmente associadas a conflitos com projetos e políticas insustentáveis e prejudiciais a saúde destas populações.

Desta forma, esse mapa busca sistematizar e publicizar as informações disponíveis, dando visibilidade às denúncias apresentadas por comunidades e organizações não-governamentais. Os casos foram organizados conforme importância socioambiental, seriedade e consistência das informações apresentadas no momento da denúncia. Com isso, um dos objetivos secundários é fomentar o monitoramento de ações e projetos que visam enfrentar essas situações de injustiça.

Todos os conflitos especializados foram identificados a partir de discussões em diferentes fóruns e redes a partir de 2006. As fontes de informação privilegiadas e sistematizadas nos casos identificados são documentos disponibilizados por entidades e instituições parceiras do projeto e envolvem reportagens, artigos e relatórios acadêmicos, ou ainda relatórios técnicos e materiais presentes em ações desenvolvidas pelo Ministério Público ou pela justiça que apresentam as demandas e problemas relacionados às populações. É importante salientar que os casos especializados não esgotam as várias outras situações existentes no país, porém, são um reflexo de uma parcela importante dos principais conflitos para os quais movimentos sociais e entidades ambientalistas vêm se posicionando.

Atualmente o mapa de conflitos envolvendo injustiça ambiental e saúde no Brasil, conta com 607 registros de conflitos especializados em seu banco de dados. Porém, dentro da Região 3, há apenas um conflito mapeado, intitulado como “Desestruturação do INCRA em Minas Gerais e desconhecimento da Justiça sobre os direitos quilombolas prejudicam acesso da comunidade da Pontinha às suas terras tradicionais e a áreas de uso comum vitais para sua sobrevivência”. Esse conflito territorial da Comunidade Quilombola da Pontinha, também foi mapeado pelo GESTA e a descrição dos principais pontos de destaque podem ser visualizados no tópico iv. CS14. Conflito Territorial da Comunidade Quilombola da Pontinha.

4.2 Conflitos mapeados a partir de dados primários na Região 3

Os conflitos mapeados a partir de dados primários referem-se aqueles conflitos identificados pela Assessoria Técnica. Esse levantamento foi realizado por meio da análise de

transcrições das reuniões virtuais realizadas para a construção de novos critérios para o auxílio emergencial, que compuseram o Diagnóstico Rápido Participativo (DRP) da ATIR3. Embora o foco das reuniões do DRP fossem a construção participativa para novos critérios para recebimento do auxílio emergencial evidenciando, sobretudo, questões econômicas, os relatos das pessoas e comunidades atingidas apresentaram diversos conflitos. Foram considerados enunciados transcritos que indicam a existência e/ou potencialidade de conflitos no território 3. Na perspectiva de Bakhtin/Volochínov (1999), a enunciação se dá como produto da interação de dois indivíduos socialmente organizados: trata-se de uma visão dialógica da linguagem, concebendo a interação verbal como princípio constitutivo da linguagem e condição do sentido do discurso (BAKHTIN/VOLOCHÍNOV, 1999; ADÃO, 2006). Nesse sentido, o foco a partir da interação verbal materializada nos enunciados considera que o discurso é a palavra em movimento, e sua análise implica a língua fazendo/atribuindo sentidos, enquanto prática social através do trabalho concreto e simbólico. Entende-se que a seleção dos enunciados evidencia a capacidade de mulheres e homens de significar e significar-se, constituindo-se social e historicamente. O discurso é compreendido, portanto, não como a língua enquanto sistema abstrato, e sim a língua no espaço, considerando a produção de sentidos enquanto parte integrante da vida social (ORLANDI, 2005; BATISTA, 2019).

Certamente, devido à magnitude e complexidade do desastre, o mapeamento dos conflitos é extremamente dinâmico, o que torna inviável abranger exaustivamente todos os conflitos existentes. Portanto, esse diagnóstico será atualizado conforme novos conflitos forem sendo identificados, sistematizados e analisados.

Para facilitar a apresentação dos conflitos identificados a partir de dados primários, optou-se pela apresentação desses conflitos por suas macrocategorias, por comissão de atingidos. Ao todo foram sistematizados, categorizados e analisados 330 enunciados de atingidas e atingidos de todas as comissões do território (Tabela 18) que trazem dados concretos sobre a existência e tipologia dos conflitos na Região 3. A partir dos enunciados foram identificados, ao todo, 478 conflitos na região 3. Como já discutido no item 2.1, alguns fatores limitantes impuseram certo atraso à sistematização e análise de outras bases de dados primários como o Campo de Escuta e o Formulário Eletrônico de Demandas, conferindo a esta seção um caráter analítico parcial para futura aferição e melhorias, já previstas no Plano de Pesquisa para a construção do Diagnóstico Ampliado. Os conflitos identificados pela base do DRP são descritos e detalhados abaixo, a partir das macrocategorias.

Tabela 18: Categorias e número de conflitos identificados no Diagnóstico Rápido Participativo (DRP).

CATEGORIAS DE CONFLITOS	NÚMERO DE CONFLITOS IDENTIFICADOS
1.Conflitos pelo uso da água	80
2.Conflitos econômicos	249
3.Conflitos de base imaterial	62
4.Conflitos relacionados as incertezas por contaminação (contaminação de água/solo/animais/produtos agrícolas)	68
5.Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas	13
6.Conflitos por criminalização	6
Total	478

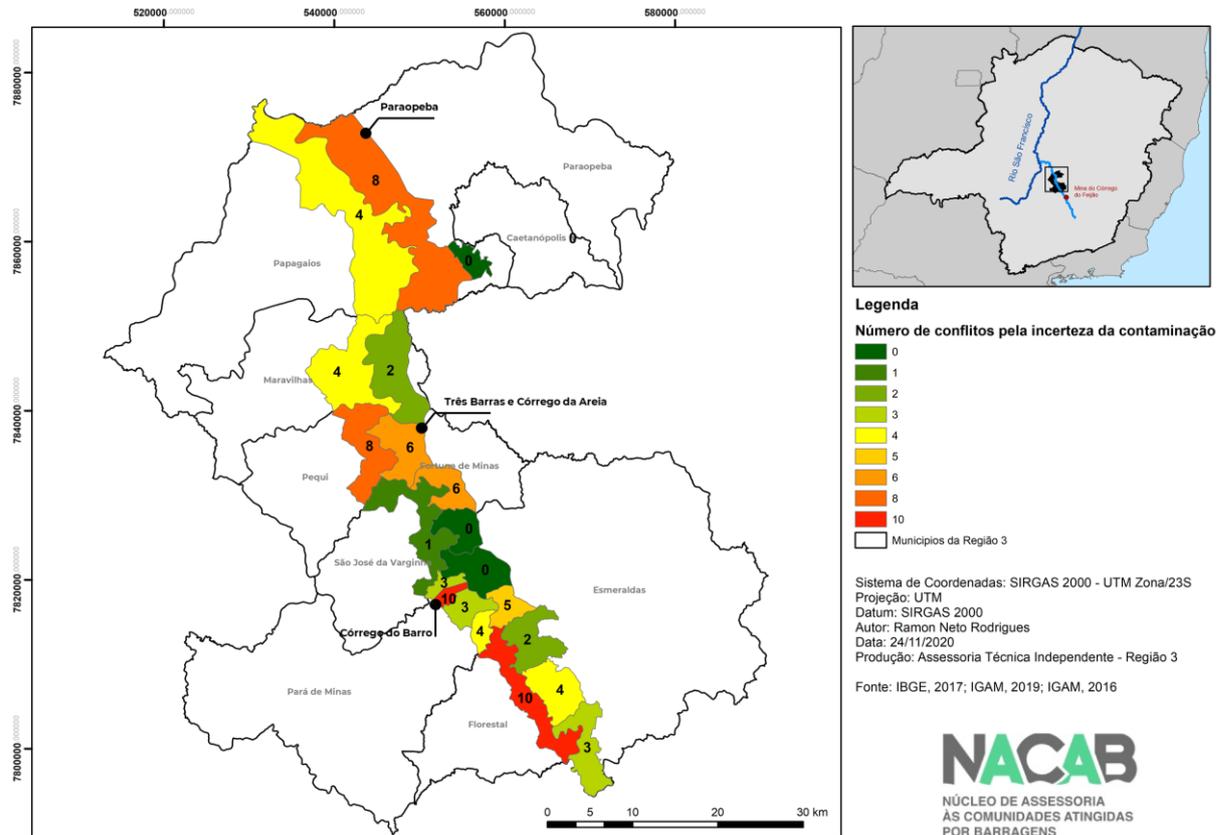
Quantitativo Parcial. Alguns relatos de algumas comissões ainda estão.

a) Conflitos relacionados às incertezas por contaminação

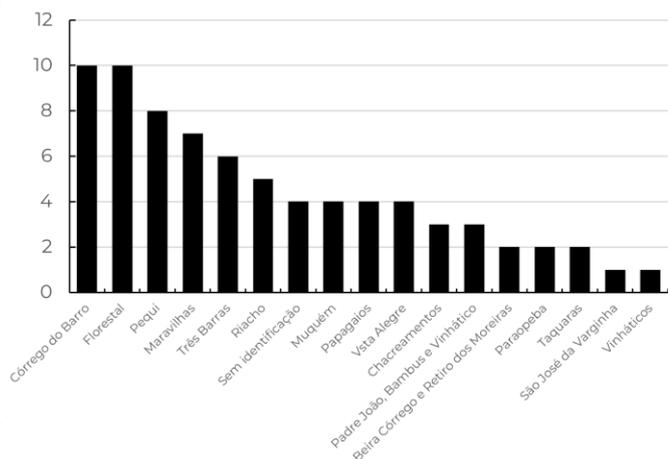
Dentre os conflitos que passam a se configurar a partir dos efeitos sistêmicos produzidos pelo rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão, de responsabilidade da Vale S.A., encontram-se uma infinidade de relatos sobre as incertezas em relação a contaminação de pessoas, do solo e das áreas agricultáveis, sobretudo, nas planícies de inundação do rio Paraopeba, contaminação da água subterrânea e superficial, contaminação atmosférica, contaminação de animais, produtos agrícolas, fauna e flora etc. Foram identificados e classificados 68 conflitos relacionados às incertezas por contaminação, destacando-se a maior frequência nas comissões de Córrego do Barro, Valentim, Ribeirão do Ouro e Marinheiros. A distribuição desses conflitos identificados por comissão pode ser observada na Figura 56. Diversos são os relatos e denúncias sobre desinformações sobre contaminantes, repassadas por funcionários da própria empresa poluidora/pagadora e de suas terceirizadas inseridos no território⁸, gerando diversos conflitos, além de expor as pessoas e comunidades a sérios riscos.

⁸Ver mais em <https://www.nacab.org.br/assessorias-tecnicas-entregam-relatorio-sobre-questoes-ligadas-a-agua-do-paraopeba-para-instituicoes-de-justica/> (Acesso em novembro de 2020).

Figura 56: Distribuição dos conflitos relacionados às incertezas por contaminação identificados nas comissões pertencentes à Região 3.



Comissões	Nº de Conflitos
Córrego do Barro	10
Florestal	10
Pequi	8
Três Barras	6
Riacho	5
Maravilhas	4
Muquém	4
Papagaios	4
Vista Alegre	4
Sem identificação	4
Chacreamentos	3
Padre João, Bambus e Vinhático	3
Beira Córrego e Retiro dos Moreiras	2
Paraopeba	2
Taquaras	2
São José da Varginha	1
Vinháticos	1



Como relatado por uma atingida de Padre João:

[...] A gente, a gente fica doido pra pescar e como que você vai pegar um peixe se não pode? Tá contaminado! Não pode comer o peixe! Uai, aí deu muita perda mesmo. Eu tô muito triste, sabe, porque eu não posso nem sair de casa mais [...] É um crime daqueles, viu? Até a terra... por exemplo, poeira... Eu morro de alergia, eu dou

coceira, eu tenho que ir no médico pra poder tratar de coceira dessa terra, isso é o pior! Pior! Tem hora que eu coço tanto que dá ferida, e fica... parece que vai pro sangue da gente, sabe? (CP15, 2020).

O contexto de incertezas relatado acima, possui grande similaridade com o que vem sendo observado acerca dos estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH) no caso do rompimento da barragem de Fundão, na bacia do rio Doce, de responsabilidade das mineradoras Samarco/Vale/BHP, cuja metodologia passa por uma reconfiguração a ser possivelmente aplicada nas comunidades atingidas da bacia do rio Paraopeba.

Dentre os diversos danos e transtornos que envolvem o crime-desastre da Samarco/Vale/BHP, assim como no caso da bacia do rio Paraopeba, destacam-se os danos à saúde física e mental das pessoas atingidas pelos rejeitos advindos da barragem de Fundão. Como apontado pela equipe do GESTA/UFMG (2020), diversos foram os relatos de adoecimento em suas atividades em campo: transtornos respiratórios, dermatites, bem como graves quadros de depressão e ansiedade, por exemplo. Embora haja uma grande desinformação em relação à toxicidade da lama de rejeitos de minério, desde maio/março de 2019, a Fundação Renova⁹ e o Governo do Estado de Minas Gerais já estavam cientes de que a poeira dos domicílios, bem como o solo superficial dos municípios de Mariana e Barra Longa estão contaminados com metais pesados, contudo, omitiram a informação, por contestação da Fundação Renova.

Como discutido por Grossi Bastos (2020), em agosto de 2017 fora emitida a Nota Técnica SUBVPS/SES-MG n.11/2017, pela Câmara Técnica de Saúde (CT-Saúde)¹⁰. Essa nota estabelecia parâmetros básicos para os Estudos Epidemiológico e Toxicológico da população

⁹ Entidade não governamental e privada, instituída por meio do Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC), assinado em março de 2016 entre a União, os Estados de Minas Gerais e Espírito Santo e as empresas Samarco/Vale/BHP – prossegue operacionalmente de modo semelhante as empresas rés no processo.

¹⁰ Órgão formado em sistema colegiado para integrar o Comitê Interfederativo (CIF), previsto pelo Termo de Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC) celebrado entre a União, os estados de Minas Gerais e Espírito Santo e as empresas Samarco/Vale/BHP. O objetivo da CT-Saúde é proporcionar direcionamentos e subsídios técnicos que possibilitem ao CIF orientar, monitorar e fiscalizar a execução do TTAC. A CT-Saúde é coordenada pela Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, conta com uma secretaria executiva e é composta pelos seguintes membros: Ministério da Saúde, Superintendência Regional de Saúde de Coronel Fabriciano (MG), Superintendência Regional de Saúde de Governador Valadares (MG), Superintendência Regional de Saúde de Ponte Nova (MG), Superintendência Regional de Saúde Central (Colatina/ES) e, ainda, com representantes de Barra Longa (MG), Belo Oriente (MG), Governador Valadares (MG), Mariana (MG), Rio Doce (MG), Resplendor (MG), Colatina (ES), Linhares (ES), Ministério Público Federal, Defensoria Pública da União e Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (CT-Saúde, 2019;GESTA/UFMG (2020).

atingida direta e indiretamente pelo rompimento da barragem de Fundão. A partir da elaborou-se um Termo de Referência, em decisão conjunta em julho de 2018, entre CT-Saúde e a Fundação Renova, para contratação da empresa “AMBIOS Engenharia e Processos”, visando a realização do estudo de ARSH, considerando como base as diretrizes do Ministério da Saúde.

A contaminação foi detectada pela AMBIOS ao longo de 2018, em oito distritos pertencentes à Mariana: Bento Rodrigues, Camargos, Ponte do Gama, Paracatu de Baixo, Paracatu de Cima, Pedras, Borba e Campinas; e em quatro distritos de Barra Longa, além do centro da cidade — Barretos, Mandioca, Gesteira, Volta da Capela. O estudo foi concluído em 22 de março de 2019, cerca de 4 anos após o rompimento, e enviado à Fundação Renova, que encaminhou o estudo a Secretaria de Estado de Saúde de Minas, em 17 de maio. Esses estudos classificam as cidades como: “*Local de Perigo Categoria A: Perigo urgente para a Saúde Pública*” (AMBIOS, 2019, p. 337), o que significa, de acordo com o relatório, que “*existe um perigo para a saúde das populações expostas aos contaminantes definidos através da ingestão, inalação ou absorção dérmica das partículas de solo superficial e/ou da poeira domiciliar contaminadas*” (AMBIOS, 2019, p. 320).

No entanto, a Fundação Renova contestou o estudo de ARSH da AMBIOS, e por esse motivo os resultados de contaminação não vieram a público até novembro de 2019, seguindo em disputa judicial. Adiou-se a devolutiva pela Secretaria Estadual de Saúde, levando a imediata reação e pressão dos atingidos, de representantes de municípios além de esforços do MPF, que por sua vez, questionou o Governo Estadual e a Fundação Renova sobre a decisão de adiamento, demandando a apresentação do relatório, considerando o direito à informação sobre os riscos à saúde. Por fim, “A Pública” (agência de jornalismo investigativo), divulgou uma reportagem denunciando o embaraço referente ao estudo de ARSH da AMBIOS, revelando, enfim, o alarmante conteúdo do relatório produzido pela AMBIOS (GESTA/UFMG, 2020)¹¹.

A Fundação Renova, discordando dos resultados preliminares do estudo da AMBIOS, expôs em dezembro de 2019, o documento: “Projeto de Gestão Integrada para Saúde e Meio Ambiente (GAISMA)”. Destaca-se a preocupação de diversas entidades sobre essa metodologia proposta pela Fundação Renova: o GAISMA. No PARECER TÉCNICO Nº 1/2020 (Ministério

¹¹Ver também as seguintes notícias: <https://apublica.org/2019/11/revelamos-o-alarmante-estudo-escondido-pelo-governo-de-minas-e-pela-fundacao-renova/#Link1> (Acesso em novembro de 2019); <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2020/05/06/justica-suspende-decisao-que-invalidou-estudos-de-saude-de-atingidos-por-lama-da-samarco.ghtml> (Acesso em 06/05/2020).

da Saúde/ Secretaria de Vigilância em Saúde/Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública), foram ressaltados, dentre diversos outros pontos de tensionamento, a negligência por parte da Fundação em incluir a escuta dos atingidos e as preocupações da população, que somente seriam contemplados na ARSH, caso tivessem relação com uma rota de exposição válida traçada pelo modelo conceitual proposto. Em relação ao modelo conceitual apresentado pela Fundação Renova, o referido parecer técnico do Ministério da Saúde trazia críticas contundentes, ressaltando ainda que:

A utilização de modelos conceituais e estatísticos, busca estabelecer relação de causalidade, ao passo que o setor saúde trabalha com o conceito de risco adicional à saúde, devido ao fato de muitos dos agravos e doenças ocasionados por exposição a substâncias químicas, ao longo dos anos, poderem não ser comprovados pelo estabelecimento denexo causal (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020, p.3).

O Ministério da Saúde conclui, ainda, que a *“proposta GAISMA é incipiente [...] e não há evidências de que essa metodologia possa atender aos objetivos de um estudo de avaliação de risco à saúde humana, tal qual orientam as diretrizes do Ministério da Saúde”* (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020, p.5).

A respeito desse campo delicado que são os estudos de avaliação de risco à saúde humana no território da bacia do Rio Doce, que segue em forte disputa institucional, repercutindo, inclusive, no desastre provocado pelo rompimento da barragem B1 e soterramento das barragens B IV e BIV A da Mina Córrego do Feijão, em 25 de janeiro de 2019, na bacia do Rio Paraopeba. Contudo, no contexto do Paraopeba, trata-se de uma reconfiguração dessa metodologia, denominada agora de “Plano de Investigação para Saúde e Meio Ambiente” (PISMA).

Ademais, destaca-se a abordagem crítica à noção de risco, a partir da perspectiva de Douglas e Wildawsky (2012). Os autores introduziram a discussão sobre a importância de se considerar a cultura na avaliação de risco, demonstrando como diferentes culturas entendem as noções de pureza e poluição enquanto representações sociais que variam historicamente. A teoria cultural do risco, proposta por esses autores parte do entendimento desse conceito como uma construção social, mediada pela percepção dos sujeitos, contrapondo o paradigma administrativo/institucional, que considera, em seus estudos técnicos de prevenção e antecipação do risco, uma uniformidade irreal, utilizando-se de modelagens probabilísticas. Entretanto, somente a percepção individual ou coletiva do risco parece ser insuficiente na

medida em que construções discursivas, coerções, manipulações e estratégias podem influenciar e condicionar essas percepções, utilizando-se de legitimações técnicas que, não raro, adotam linguagens extremamente distantes das realidades de comunidades rurais, ribeirinhos, periferias urbanas etc.

Trazer a referência ao caso de Fundão é extremamente pertinente, uma vez que passam a se configurar conflitos semelhantes na bacia do rio Paraopeba, envolvendo basicamente as mesmas instituições e empresas, com uma metodologia “repaginada”. Essas incertezas passam a se acentuar na medida em que há uma dispersão e profusão de boatos e desinformações. Como discutido por Rojas e Pereira (2015), diversas são as denúncias de assédios, controle e desinformações que envolvem empresas mineradoras em Minas Gerais, que vêm ampliando e intensificando suas relações de poder, por meio de estratégias de marketing empresarial, persuasões, coerções, cooptação e espionagem. Essas ações fazem parte do leque de políticas e estratégias - acionadas pela empresa para garantir o acesso e controle territorial, bem como a reprodução do seu espaço de produção. Sublinha-se, também, a forte influência de capital dessas empresas na política e na economia, bem como em diversos setores da sociedade, possibilitando capilaridade através de arranjos institucionais, que acabam desarticulando e dificultando o acesso das pessoas e comunidades atingidas à informação fidedigna e a gozar plenamente de seus direitos. É prática comum das mineradoras, ainda, construírem sua legitimidade tanto com o Estado, quanto com as comunidades nos territórios nos quais se inserem, utilizando estratégias de “gerenciamento de risco social”, ocupando espaços estratégicos como sindicatos, conselhos etc. Desse modo a relação delas com as comunidades, ocupando cadeiras de conselhos ambientais, por exemplo, torna-se um eixo central para manutenção de seus investimentos e para manutenção de sua “boa imagem” com os investidores e com a sociedade (ROJAS e PEREIRA, 2015; GROSSI BASTOS, 2020).

b) Conflitos de base imaterial

Se por um lado extensos são os danos materiais vivenciados no território 3, apresentando graves prejuízos às cadeias produtivas, destacando-se a destruição do território enquanto base para a reprodução social, cultural e econômica, por outro destacam-se os danos imateriais. Talvez um dos mais profundos que pode-se evidenciar é a drástica interrupção que envolve toda uma diversidade de vínculos históricos e de socialização das pessoas, cujo elemento

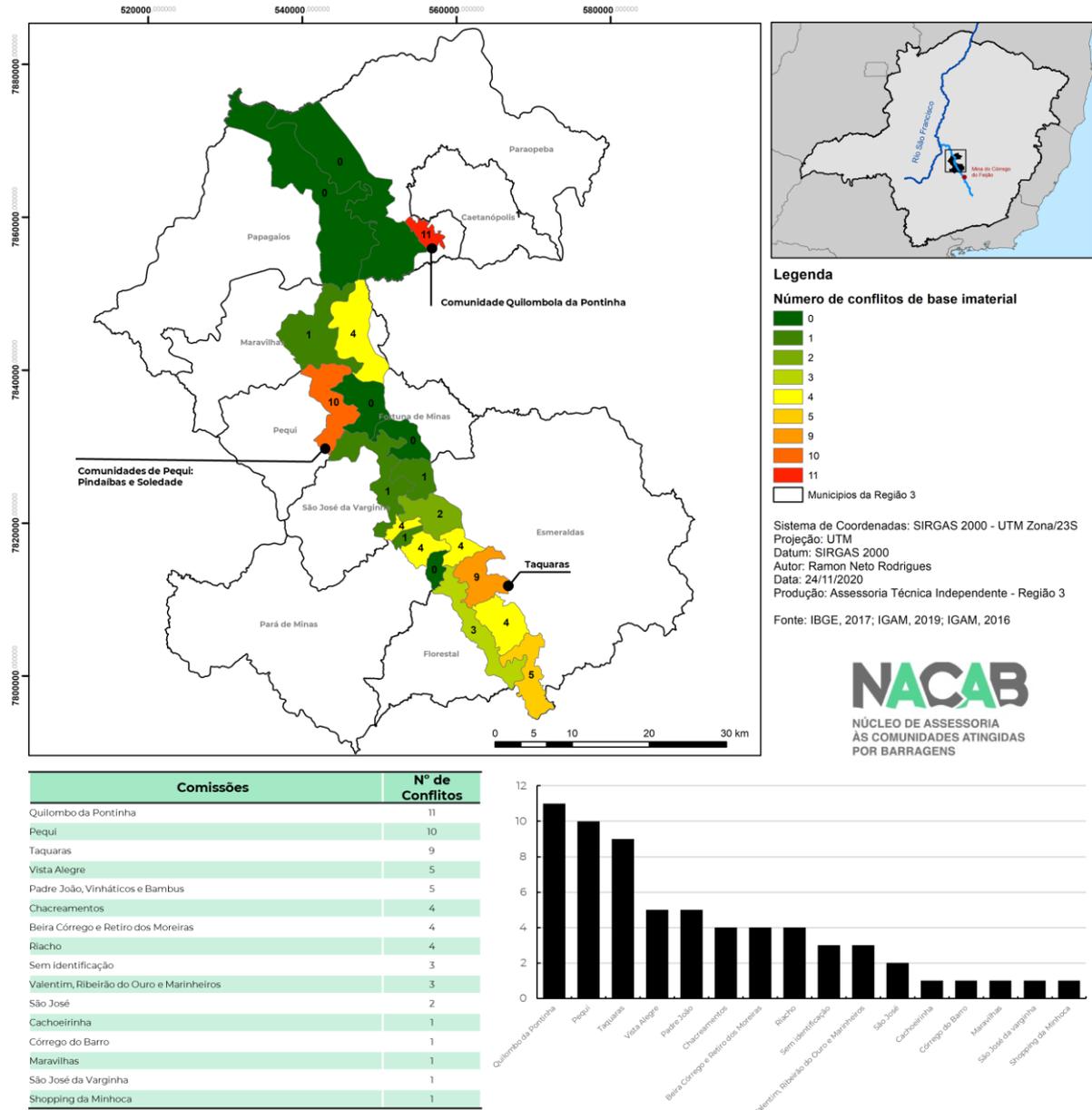
centralizador das pessoas e comunidades era o rio Paraopeba. Com o rompimento, vínculos intersubjetivos estabelecidos por décadas, são agora marcados pela violenta expropriação dos modos de vida da comunidade.

Foram identificados até o momento, com base no DRP, 62 conflitos de base imaterial, que passam a se configurar devido aos danos à integridade psíquica/emocional, às drásticas interrupções de manifestações históricas e culturais tradicionais, como festas, feiras etc.; uma série de danos à sociabilidade vinculada aos usos e práticas ligadas ao rio, como a pesca e o lazer, desarticulações familiares e comunitárias decorrentes das ações de reparação (pagamento emergencial, fornecimento de água etc.). Não obstante, passa a se acentuar a estigmatização social por ser atingido, pela relação e proximidade com o rio. A respeito da categoria de atingido, como discutido por Vainer (2008):

Na verdade, embora o termo apareça em documentos técnicos e remeta a dimensões econômico-financeiras, a noção não é nem meramente técnica, nem estritamente econômica. Conceito em disputa, a noção de atingido diz respeito, de fato, ao reconhecimento, leia-se legitimação, de direitos e de seus detentores. Em outras palavras, estabelecer que determinado grupo social, família ou indivíduo é, ou foi atingido por certo empreendimento significa reconhecer como legítimo – e, em alguns casos, como legal – seu direito a algum tipo de ressarcimento ou indenização, reabilitação ou reparação não pecuniária. Isto explica que a abrangência do conceito seja, ela mesma, objeto de disputa (VAINER, 2008, p. 40).

A disputa da categoria “atingido”, reflete, portanto, um reconhecimento legal de seus direitos, conectando-os direta ou indiretamente ao desastre que os colocaram nessa situação, inserindo-os na seara jurídica frente a legitimação de medidas justas de reparação, indenização etc. O termo reflete, portanto, não somente uma “conquista” jurídica, mas um significado que remete a ideia de estigmatização dessas pessoas, vendo-se forçadas a serem enquadradas em uma categoria através de uma série de interpelações institucionais, burocráticas e políticas (GROSSI BASTOS, 2020). Destacam-se os maiores registros desses conflitos no Quilombo da Pontinha e Pequi. A distribuição dos conflitos de base imaterial por comissão pode ser observada na Figura 57.

Figura 57: Distribuição dos conflitos de base imaterial identificados nas comissões pertencentes à Região 3.



Como destacado anteriormente, as pessoas e comunidades ainda precisam lidar com problemas relacionados à informação e desinformação sobre ações emergenciais, a frustração de projetos de vida, negligência, assédio e desigualdade de atendimento a demandas emergenciais pela Vale, perda da privacidade e sensação de insegurança, bem como problemas com os canais de comunicação/relacionamento/atendimento da Vale.

[...] A Vale chega no território paga uns e não paga outros. A gente teve grandes perdas financeiras, enormes, incalculáveis. Sem falar nas perdas emocionais porque é desgastante brigar com esse gigante igual essa porcaria dessa empresa dessa Vale. Tudo na Taquaras era envolvido com relação com o rio: os turistas que vinham, as festas tudo era em torno desse rio, então é o mínimo que a empresa poderia estar nos ajudando, com esse auxílio. Então para mim ele é essencial, mais importante do que muitas coisas que a gente está solicitando ai, justamente para isso, para tentar acalantar um pouco as nossas perdas [...] (CP20.01, 2020).

[...] Então, como é um valor emocional, eu acredito que assim, era um sonho que a gente tinha de ter um local pra gente ir nos finais de semana descansar, pescar, ter essa interação mais tranquila com os vizinhos, eu acredito que seria por meio de fotos que a gente poderia mostrar os momentos de lazer...foram muitos carnavais ali, tem foto e vídeo do meu filho nadando no rio e...eu acho que seria isso, porque essa parte de lazer é uma coisa mais emocionante, né? Eu num tenho um documento pra falar: “olha, eu me diverti 100% dessa vez (CP29;TAQ.SM.03, 2020).

Passa a se configurar, portanto, tanto uma disputa discursivo-simbólica, quanto prática, instituída politicamente em sanções que ganham materialidade nos documentos normativos e nas políticas de gestão e reparação. O caráter processual do desastre é deflagrado, em sua dimensão social e política, na medida em que as condições de vulnerabilidade das pessoas na bacia são intensificadas pela ausência/ineficiência de políticas de proteção socioambiental e pelas articulações e acordos institucionais entre as empresas e os órgãos do Estado, que acaba não garantindo com efetividade a participação das atingidas e atingidos nas tomadas de decisão (DA SILVA, 2015).

c) Conflitos econômicos

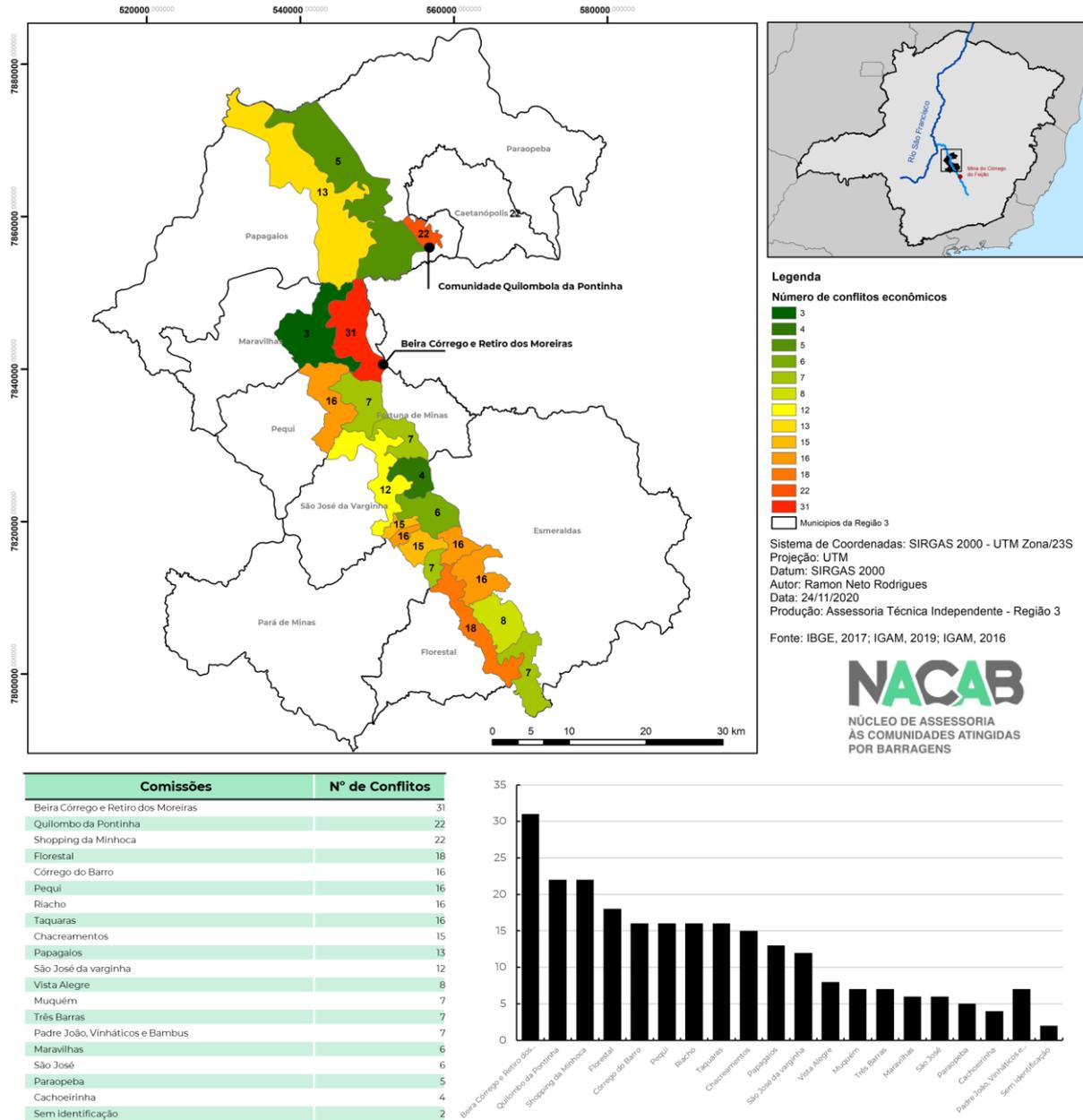
Os conflitos de ordem econômica figuram-se entre os mais recorrentes, uma vez que as repercussões econômicas do desastre às pessoas atingidas colocam milhares de pessoas em situação de extrema vulnerabilidade, cuja espera da reparação integral tende a se prolongar e pode, a princípio, inviabilizar o resultado útil do processo, sobretudo àqueles atingidos que ocupam a base da estratificação social, por uma posição hipossuficiente e pelas características

de seu papel no mundo do trabalho, em regra ocupando posições laborais precarizadas, desprotegidas, informais. A forma como as pessoas e comunidades atingidas expressavam sua territorialidade, como mantinham sua vida, seus usos e relações com o espaço, com suas próprias temporalidades, são colocadas ao arbítrio da ordem produzida pelas forças de mercado, pelas agências governamentais e pelas lógicas de produção e reprodução socioespacial, incluindo a reprodução das forças de trabalho, que necessitam da terra para subsistirem, pois estabelecem o suporte necessário às suas condições gerais de reprodução (VALÊNCIO, 2009).

O DRP possibilitou a investigação e reconhecimento das multidimensionalidades do comprometimento econômico, que envolvem as perdas e ou diminuição da renda, bem como o aumento das despesas que as pessoas atingidas passaram a sofrer após o rompimento da barragem em Brumadinho. Ele teve o caráter de levantamento de informações para subsidiar a tarefa recebida das IJs de construir os critérios do auxílio econômico provisório com a participação das comunidades atingidas. O Pagamento Emergencial difere do Auxílio Econômico Provisório, que por sua vez, também, se difere substancialmente da reparação integral dos danos. O levantamento dos danos exige, indubitavelmente, maior fundamentação técnica e jurídica, tendo em vista que demanda a identificação e quantificação de danos referentes a múltiplos aspectos - materiais, imateriais, morais, coletivos, sociais, entre tantos outros.

Uma série de conflitos de ordem econômica passam a ser produzidos na medida em que há uma extrema assimetria e negligência nas tratativas da Vale S.A., seja entre as comunidades, seja no âmbito intrafamiliar, seja individualmente. Até o momento, com base no DRP, registram-se 249 conflitos econômicos no território 3, dos quais destacam-se as comissões de Beira Córrego e Retiro dos Moreiras, Quilombo da Pontinha e Shopping da Minhoca, como pode ser observado na Figura 58.

Figura 58: Distribuição dos conflitos econômicos identificados nas comissões pertencentes à Região 3.



Após o rompimento as pessoas e comunidades atingidas passam por diversos constrangimentos e violências continuadas, seja pelo surgimento e ou aumento de gastos particulares, para reparação de bens afetados ou perdidos, compra de insumos, despesas com consumo etc. Além disso, diversos são os relatos e denúncias em relação a problemas com a elegibilidade e recebimento de parcelas do pagamento emergencial, como é evidenciado nas

falas de atingidos da comunidade de Taquaras, sobre o significado do auxílio emergencial e os conflitos que passam a se instaurar na comunidade, entre vizinhos e familiares:

[...] **Porque quando eu entrava em contato com a Vale, ela falava que cada membro da minha família tinha que ter uma conta de água ou de luz no seu nome [...]** Acho que assim, esse contato mais tranquilo com os vizinhos também acabou, porque eu tive vizinho que recebeu, parou de conversar comigo, parece que com medo de falar que recebeu, eu não entendi também [...]. A pescaria e o acesso ao rio foi muito prejudicada, que era praticamente o lazer que eu tinha, meu pai mesmo comprou o sítio é...pra gente pescar, a gente tinha barco e com o rompimento da barragem a gente cancelou o rio [...] (CP29, 2020. Grifo nosso).

[...] Para mim o auxílio emergencial é coisas que vem para complementar aquilo que foi desgastado por meio desta turbulência que a Vale causou a todos que residem próximo ao rio Paraopeba. Então quer dizer, **a maioria ai, muitos ainda não estão recebendo. Eu mesmo sou um deles que até hoje não contemplei e vi a cor desse dinheiro ou estou usufruindo desse dinheiro. Mas não sei também se vou chegar a receber neh?! Eu moro a quatrocentos e poucos metros aqui do rio e assim tem muitos igual a mim que não participa e não recebe por motivo de não ter o comprovante de residência.** Igual meu aqui, eu tenho o poço artesiano num tenho conta de água, minha luz é emprestada pq não passa baixa tensão da CEMIG aqui de frente (CP21, 2020; Grifo nosso).

[...] Tem mais ou menos uns 6 anos que estou na região das Taquara e a respeito do pagamento emergencial é o seguinte.. Eu quando me aposentei eu me procurava um lugar para mim viver o resto da minha vida tranquilo, beira de rio. E foi lá que eu comprei uma chácara, foi lá que eu construí e de lá que a gente espera também tirar algum benefício do que a gente tem. Mas com o que aconteceu no desastre ambiental ai acabou esse sonho que a gente tinha pra frente, ou seja, tem um ano e meio que a gente está com o sonho parado, que a gente tinha projeto de mais pra frente fazer alguma coisa lá, até mesmo para tirar alguma coisa para intera da nossa aposentadoria, eu e minha família. Mas, **o quê que acontece, eu acredito que está muito desigual esse pagamento. Uns recebem, outros não recebem. A gente fica até com a consciência um pouco, assim pesada do que vem acontecendo. Porque que os nossos irmãos, nossos amigos, nossos vizinhos, têm os mesmos direitos e não recebem o pagamento? Eu acho que está havendo uma desconsideração entre VALE e os atingidos dessa região nossa por esse motivo** (CP23, 2020; Grifo nosso).

Diversas atividades econômicas foram afetadas com sérios prejuízos a atividades industriais, às atividades e produção agropecuárias e agroindustriais, perdas econômicas em relação a investimentos e financiamentos de projetos, perdas e danos às atividades de comércio e serviços, perda de postos de trabalho, da renda derivada do turismo da pesca ou de lazer, da renda derivada da atividade de pesca.

Não obstante, a negligência, assédio e desigualdade de atendimento a demandas emergenciais pela Vale S.A. passam a instaurar novos conflitos ou aprofundar conflitos existentes. Não são raros os casos em que se registram irregularidade no fornecimento ou não fornecimento de insumos e estruturas de assistência para produção agropecuária, deterioração e desvalorização de equipamentos e máquinas, desvalorização imobiliária, danos e prejuízos à extração, produção e comercialização de insumos para a pesca (comércio de iscas/minhocuçu; artefatos e instrumentos, etc.). Além disso, uma série de danos e prejuízos à atividade de extração/beneficiamento mineral (areia, ardósia, etc.), danos associados à atividade de piscicultura, danos associados à atividade de apicultura, estigmatização e desvalorização de produtos regionais, perdas e danos materiais/patrimoniais devido à inundação de rejeitos por enchentes.

d) Conflitos pelo uso da água

As bacias hidrográficas configuram-se como sistemas abertos, integrados, que conferem a inter-relação biótica e abiótica na manutenção sinérgica desses ecossistemas, interligados pelo relevo, formando uma rede que drena água, material sólido e dissolvido para uma saída comum, onde há entrada e saída de energia. Sendo cursos d'água sistemas fluviais abertos, a compreensão de sua configuração morfológica, de seus processos e de sua dinâmica espaço-temporal exige a consideração do conjunto de variáveis do quadro físico e cultural, do uso e ocupação humano. Neste sentido, a mineração pode afetar diferentes ecossistemas, gerando graves danos socioambientais, de modo que os rompimentos de barragens de rejeitos de mineração, especificamente, representam uma ameaça à saúde humana, com potencial risco ambiental à medida em que a descarga atinge cursos d'água e ecossistemas ribeirinhos (KOSSOFF, et al. 2014; SUN et al., 2018).

Com o rompimento das barragens da Mina Córrego do Feijão, houve uma drástica interrupção no abastecimento de água, seja para o abastecimento público, geração de energia, agropecuária e consumo industrial, prejudicando inclusive o abastecimento de água da RMBH e sobrecarregando os sistemas de captação na bacia do rio das Velhas. Como relatado por atingidas e atingidos do território 3, diversos são os casos de danos e conflitos relacionados pelo uso da água, interrompido devido à contaminação provocada pelo rompimento:

[...] eu tive problema com água, fiquei muito tempo sem a água, proibiram da gente de consumir a água do rio, eu tinha uma cisterna, eles vedaram a cisterna, que eu não posso usar a cisterna mais [...] Este é o maior problema que nós encontramos agora no momento. No meu caso por exemplo, **a minha propriedade é 70% de várzea, ela foi toda inundada, além de ser inundada, eu fui proibido de colocar os animais nessa área, fiquei com 30% só de utilização da propriedade**, não posso usar a propriedade para colocar os animais, e nem para plantio, que eu fazia o plantio de milho para a silagem para alimentar os animais [...] estão furando o poço artesiano pra mim, que já foram lá por várias vezes, inclusive **agora depararam com uma situação que estão furando o poço pra onde eu falei pra eles não furarem, não fazer isso porque está furando dentro da área alagada, os engenheiros que sabem mais que nós né, tem mais uns que conhecem a terra, foram lá e furaram o poço e até hoje não voltaram.** Então o que eu falo é o seguinte, os prejuízos que eu tive, na plantação, na criação de animais, na produção de leite, e principalmente na valorização da terra, esse é que é o principal, é o que eu mais sinto (CP134, 2020).

[...] No meu caso, **eu fiz toda uma preparação pra mim fazer um poço de peixe, criar meus peixe, tem quase 2 anos que meu material está todo parado.** Isso eu tenho como comprovar, que eu tenho nota fiscal, tenho o material todo parado, o buraco já tem é mato, já tá dando uma árvore lá dentro, **porque eu não posso fazer isso, porque não tem água. Nosso condomínio no caso as águas estão ficando cada vez mais escassas [...]** (CP30, 2020).

[...] 70% do terreno ficou embaixo da enchente, foi o maior dos últimos 50 anos que eu já vi. A enchente chegou no cocho do gado, no cocho do sal, chegou pertinho da minha casa, então quer dizer, antigamente você podia usar a água do rio, agora a complicação aumentou, você perdeu terra, não pode usar a terra, então quer dizer, você tinha como plantar, você plantava milho pra cima (CP122, 2020).

Diante desse contexto, passam a se desenvolver diversos conflitos pelo uso da água, devido a contaminação de poços e cisternas e do lençol freático. Não obstante uma série de

irregularidades e outros problemas no fornecimento de água (uso/consumo humano, dessedentação animal) passam a ser denunciados pelos atingidos, que perderam suas fontes de água para dessedentação animal, para irrigação de lavouras, para uso e consumo humano. Nesse momento inicial foram identificados 80 conflitos relacionados ao uso da água (Figura 59), destacando-se as comissões de Chacreamento Paraopeba e Chacreamento Vargem Grande, com 18 casos; Córrego do Barro, também, com 18 casos e Muquém, com 11 conflitos. Certamente é um levantamento ainda incipiente, que necessita de mais e melhores detalhamentos, uma vez que os dados analisados do DRP tinham por foco questões de ordem econômica. No entanto, o panorama apresentado no Diagnóstico de comprometimentos ao abastecimento de água, traz maiores detalhes da grave crise hídrica que passa a se instaurar na bacia do rio Paraopeba. A distribuição dos conflitos pelo uso da água, identificados nas comissões é apresentado na Figura 59.

Em campo realizado pela Gerência Socioambiental da ATIR3, entre 28 e 30 de setembro de 2020, na comunidade de Taquaras, em Esmeraldas/MG, foram identificados diversos danos relacionados ao sistema fluvial, como alterações morfológicas, referentes aos danos gerados pela retirada de vegetação, pela erosão nas margens dos cursos d'água, pelas alterações no traçado fluvial e pela deposição de rejeitos no leito fluvial e nas planícies de inundação. Destacando-se, também, alterações na qualidade das águas, como alterações na turbidez e contaminação em potencial aos cursos d'água, poços artesianos etc. De modo a exemplificar, em escala local, os comprometimentos ao sistema fluvial, pode-se observar os ambientes com contaminação em potencial na Figura 60.

1. zonas de urgência: são sistemas que englobam os processos de exfiltração das águas subterrâneas que podem dar origem aos cursos d'água superficiais. Também envolvem as áreas de contribuição hídrica superficiais em que se formam os canais de ordem 0;

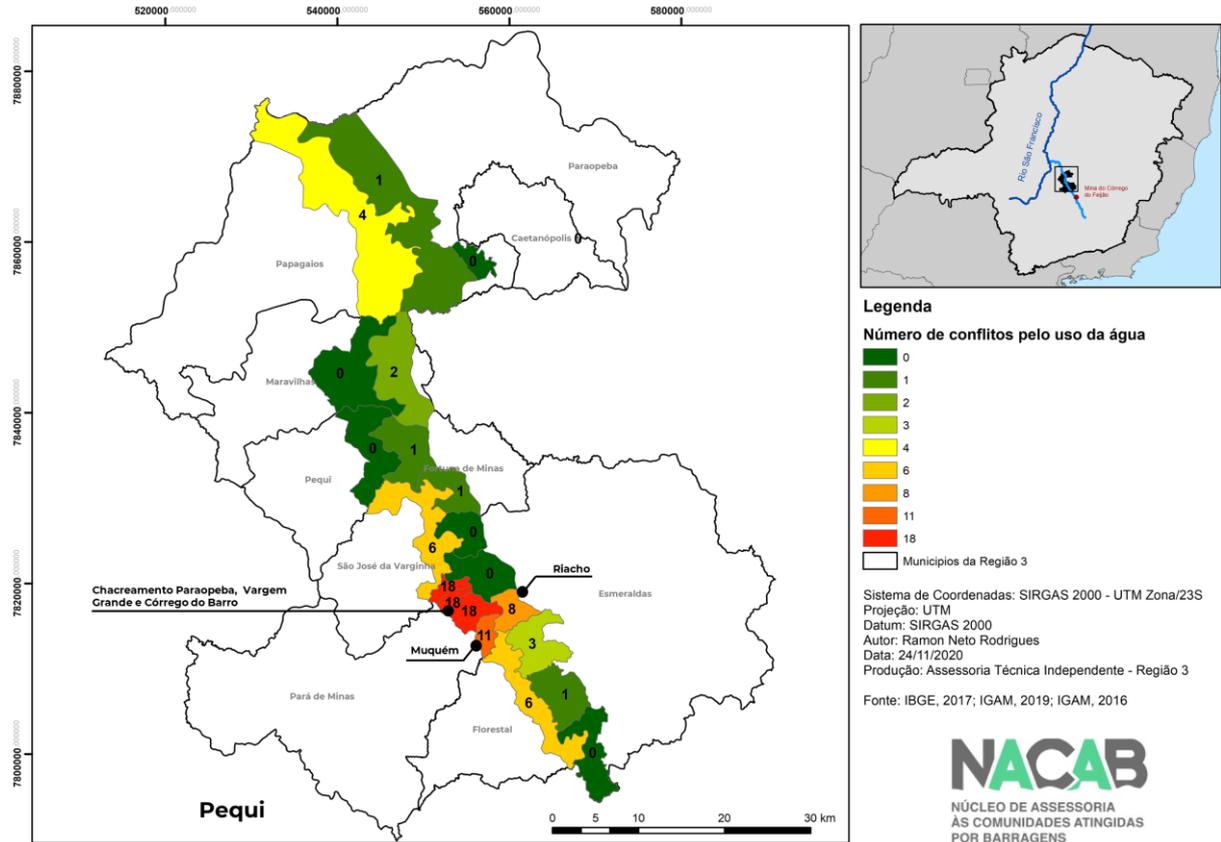
2. Os leitos fluviais formam a porção de fundo dos canais, na qual ocorre o transporte sedimentar de sedimentos mais grosseiros por arraste e saltação. Os leitos podem ser rochosos ou aluviais (sedimentares). 3

3. As margens fluviais delimitam o curso d'água (leito menor), podem apresentar diferentes formas e materiais constituintes e, é através da manutenção das margens que se contribui para a estabilidade dos cursos d'água.

4/5/6. As planícies fluviais são formas de deposição marginais aos cursos d'água e são geradas

pela contínua deposição nos períodos de inundação. São as principais áreas agricultáveis, devido à riqueza de matéria orgânica e nutrientes transportados pelo rio, sendo também muito utilizadas como pastagem.

Figura 59: Distribuição dos conflitos pelo uso da água identificados nas comissões pertencentes à Região 3.



Comissões	Nº de Conflitos
Chacreamento Paraopeba e Chacreamento Vargem Grande	18
Córrego do Barro	18
Muquém	11
Riacho	8
São José da Varginha	6
Valentim, Ribeirão do Ouro e Marinheiros	6
Papagaios	4
Taquaras	3
Beira Córrego e Retiro dos Moreira	2
Paraopeba	1
Sem identificação	1
Três Barras	1
Vista Alegre	1

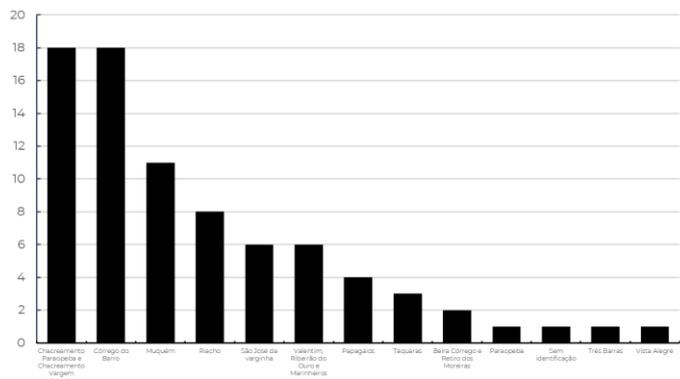


Figura 60: Fotografias dos diversos danos identificados na comunidade de Taquaras, pela Equipe do NACAB/ATIR3.



*A numeração corresponde aos ambientes do sistema fluvial observados em campo.

4. Considerações Finais

A partir da sistematização e análise dos dados secundários e primários sobre conflitos existentes, observa-se não só o aprofundamento das tensões e conflitos existentes antes do rompimento, como a produção sistemática de novos conflitos, violências e infrações aos direitos das pessoas e comunidades atingidas na região 3. No total foram identificadas quatro bases centrais, de fontes secundárias, que trazem dados concretos sobre a existência e magnitude dos conflitos na Região 3, e mais 16 bases secundárias que ajudam a qualificar e compreender as motivações para os conflitos pelo uso da água e conflitos pela terra e/ou bases extrativistas identificados. Não obstante, foram identificados 476 conflitos, territorialmente distribuídos, a partir da sistematização do DRP, sejam esses Conflitos pelo uso da água; Conflitos econômicos; Conflitos de base imaterial; Conflitos relacionados às incertezas por contaminação (contaminação de água/solo/animais/produtos agrícolas); Conflitos pela terra e/ou bases extrativistas e; Conflitos por criminalização. Com base nesse panorama inicial, será possível definir estratégias de monitoramento e mediação dos conflitos, buscando tratativas coletivas,

bem como encaminhamentos para as Instituições de Justiça visando a proteção dos direitos das pessoas e comunidades atingidas.

A partir da destruição da base material imposta pela contaminação do rio Paraopeba, bem como das áreas lindeiras, passa a se configurar a redistribuição do poder sobre os recursos naturais territorializados, seja pela legitimação/deslegitimação das práticas de apropriação da base material das pessoas e comunidades atingidas e de suas espacialidades historicamente constituídas. A inserção da empresa Vale S.A. no território e suas estratégias de gestão territorial, passam a gerar conflitos não só entre atingidos e a ré, como conflitos intra-comunidades e até mesmo no próprio núcleo familiar, marcadas pelas constantes assimetrias nas tratativas da Vale S.A., bem como nas violências cotidianas vividas pelas pessoas do território, entendendo o cotidiano como:

Aquilo que nos é dado cada dia (ou que nos cabe em partilha), nos pressiona dia após dia, nos oprime, pois existe uma opressão do presente. Todo dia, pela manhã, aquilo que assumimos, ao despertar, é o peso da vida, a dificuldade de viver, ou de viver nesta ou noutra condição, com esta fadiga, com este desejo (DE CERTEAU, 1998, 31).

Soma-se a processualidade do crime-desastre, uma perspectiva estruturante que se estabelece no modo como produzimos, como nos organizamos enquanto sociedade e como nos apropriamos do espaço e dos “recursos naturais”, transversalmente constituindo e instituindo práticas normativas, burocráticas e de gestão dos territórios pelas instituições privadas e pelo Estado, cujos complexos processos históricos compõe esse “neo” extrativismo tóxico, tão (re)marcado pela colonialidade, sobremaneira, pela modernização.

Ademais, prevê-se a constante atualização desse diagnóstico, buscando aprofundar as análises, interpretações e mediações dos conflitos através de atividades de cartografias sociais, com foco em resoluções coletivas dos problemas enfrentados. Não obstante, tem-se por objetivo maior interação e proximidade da equipe NACAB em campo, buscando maior detalhamento e entendimento dos conflitos que passam a ser produzidos no território.

5. Referências Bibliográficas

ACSELRAD, H. As práticas espaciais e o campo dos conflitos ambientais. In: ACSELRAD, Henri. (Org.) **Conflitos ambientais no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume, 2004., p. 7-12

ACSELRAD, H. Justiça ambiental – ação coletiva e estratégias argumentativas. In: ACSELRAD, H.; HERCULANO, S.; PÁDUA, J.A. (orgs). Justiça Ambiental e Cidadania. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2004b.

ACSELRAD, H. Justiça Ambiental e Construção Social do Risco. Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 5, 2002, pp. 49-60.

ACSELRAD, H. (org.). **Cartografias sociais e território**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional, 2008. 168 p.; 18 cm. - (Coleção Território, ambiente e conflitos sociais; n. 1).

ACSELRAD, H.; HERCULANO, S.; PÁDUA, J. A. (Org.). **Justiça Ambiental e Cidadania**. Rio de Janeiro: Relume Dumará/Fundação Ford, 2004.

ADÃO, Sônia Maria. Os discursos confrontados no processo de privatização: o caso Companhia Vale do Rio Doce. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Língua Portuguesa do Departamento de Letras Clássicas e Vernáculas da faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo com vistas à obtenção do título de doutoramento em letras. São Paulo. 2006.

AMBIOS – Engenharia e Processos LTDA. Estudo de avaliação de risco à saúde humana em localidades atingidas pelo rompimento da barragem do Fundão – MG. Relatório Final. São Paulo, 17 de abril de 2019.

ANA. Agência Nacional de águas. Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos: Atlas Esgotos. 2015. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

ARSAE. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. Fiscalização do Sistema de Esgotamento Sanitário do Município de Esmeraldas. ARSAR, Belo Horizonte. 29p. 2014.

BAKHTIN, MIKHAIL (VOLOCHINOV). Marxismo e filosofia da linguagem. 9ª ed. São Paulo: Hucitec, 1999 [1929].

BATISTA, B. T. Geografia do Brasil: uma questão de discurso. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia. Belo Horizonte, 2019.

BLOWERS, A. Environmental Policy: Ecological Modernization or The Risk Society. *Urban studies*. V.34. n 5-6, p. 845-871, 1997. BOURDIEU, Pierre. O campo científico. Renato Ortiz (org). Tradução de Paula Montero e Alicia Auzmendi. São Paulo: Ática. 1983.

BULLARD, Robert D. A anatomia do racismo ambiental e o movimento por justiça ambiental. In: IBASE. Movimento Sindical e Defesa do Meio Ambiente; o debate Internacional. Rio de Janeiro: Arte Maior, 2000. p. 32-41. Série Sindicalismo e Justiça Ambiental, vol. 3.

BOURDIEU, Pierre. ([1972] 1993), *Outline of a theory of practice*. Cambridge, Cambridge University Press.

CANUTO, Antônio (et.al.) (Org.) *Conflitos no Campo: Brasil 2019*. Goiânia: CPT Nacional, 2020. 247 p.

CEDEFER. Centro de Documentação Eloy Ferreira da Silva. Comunidade Quilombola da Pontinha. 45p. 2010.

CPP. CONSELHO PASTORAL DOS PESCADORES. Org.: Tomás, Alzení de Freitas & Santos, Gilmar. **Conflitos Socioambientais e Violações de Direitos Humanos em Comunidades Tradicionais Pesqueiras no Brasil**. – Brasília/DF. 2016. 104p.

CPT. COMISSÃO PASTORAL DA TERRA. **Conflitos no Campo – Brasil** [Coordenação: Antônio Canuto, Cássia Regina da Silva Luz, Thiago Valentim Pinto Andrade - Goiânia]: CPT Nacional – Brasil, 2016. 232 páginas. 2016.

CUNHA, I. Conflito ambiental em águas costeiras: relação porto - cidade no Canal de São Sebastião. **Ambiente & Sociedade**. v. 6, n. 2, jul./dez. 2003.

DA SILVA, C. N.; VERBICARO, C. C. O mapeamento participativo como metodologia de análise do território. **Scientia plena**. v. 12, n. 6. Ano 2016.

DA SILVA, R. A. C. Dramáticas da Vida Urbana: rupturas na vida cotidiana e nos projetos individuais e familiares dos atingidos pelo desastre. Águas de Novembro: estudo antropológico sobre memória e vitimização de grupos sociais citadinos e ação da Defesa Civil na experiência de calamidade pública por desastre ambiental (Blumenau, Brasil). Tese. Programa de Pós-graduação em Antropologia Social, UFRGS, 2015.

DE CERTEAU, M. GIARD, L. MAYOL, P. A invenção do Cotidiano: 2. Morar e Cozinhar. Petrópolis/Rio de Janeiro, Ed. Vozes, 1998.

DOMBROWSKY, W. R. “Again and again: is a disaster what we call a “disaster”?”. In: Quarantelli, Enrico L. (org.). What is a disaster? Perspectives on the question. London/New York, Routledge, p. 19-30. 1998.

DOUGLAS, M., WILDAVSKY, A. Os riscos são desconhecidos. Risco e Cultura: um ensaio sobre a seleção de riscos tecnológicos e ambientais. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

DRUMOND, M. A. Manejo adaptativo do minhocaçu *Rhinodrilus alatus*. Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 2008.

DRUMOND, M.A., GUIMARÃES, A.Q., EL BIRZI, R., L.C. GIOVANETTI, D.G. SEPÚLVEDA AND R.P. MARTINS. Life history, distribution and abundance of the giant earthworm *Rhinodrilus alatus* RIGHI 1971: conservation and management implications. **Braz. J. Biol.** 73:699-70. 82013.

DRUMOND, M.A., GUIMARÃES, A.Q., SILVA, R.H.P. The Role of Local Knowledge and Traditional Extraction Practices in the Management of Giant Earthworms in Brazil. **PLoS ONE** 10:4. doi: 10.1371/journal.pone.0123913. . 2015.

DUARTE, V. A.; MIOLA, D. T. B. Análise de disponibilidade hídrica na microbacia do Ribeirão Paciência: relação entre a oferta e o volume de água outorgado em Pará de Minas. **SynThesis Revista Digital FAPAM**, Pará de Minas, v.7, n.7, 32-54, dez. 2016.

FIOCRUZ. Mapa de conflitos envolvendo injustiça ambiental e saúde no Brasil. Fiocruz. Online. 2020. Disponível em: <http://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/>. Acesso em: 24/11/2020.

FREITAS, Carlos Machado de; BARCELOS, Cristovam; PORTO, Marcelo Firpo de Souza. Justiça ambiental e saúde coletiva. In: ACSELRAD, H. (org.). Conflitos ambientais no Brasil. Rio de Janeiro: Relume Dumará: Fundação Heinrich Böll, 2004. p. 245-294.

GESTA/UFMG. Grupo de Estudos em Temáticas Ambientais/UFMG. Considerações sobre a disputa acerca da Avaliação de Risco à Saúde Humana nos municípios de Mariana e Barra Longa, Minas Gerais, no contexto do desastre da Samarco S.A. Documento elaborado pela equipe do GESTA/UFMG no âmbito dos projetos de pesquisa: O Desastre e a Política das Afetações (Apoio FAPEMIG APQ 01598-16) e Mineração: desastre sociotécnico e a gestão da crise (Apoio CNPq 404990/2016-9), coordenados respectivamente pelas professoras Dra. Andréa Zhouri e Dra. Raquel Oliveira Santos Teixeira. GESTA/UFMG, 09 de abril de 2020.

GESTA. Observatório dos Conflitos Ambientais. Belo Horizonte: Gesta, 2020b. Disponível em: <https://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/observatorio-de-conflitos-ambientais/mapa-dos-conflitos-ambientais/>. Acesso em: 12/11/2020.

GESTA. Oficina da Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte na Atualização do Mapa dos Conflitos Ambientais de Minas Gerais. Belo Horizonte, 14 de abril de 2012.

GROSSI BASTOS, Lucas. A natureza do homem e a lama do desastre, o desastre do homem e a lama na natureza, a lama do homem e a natureza do desastre. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia. 2020.

GUDYNAS, Eduardo. Extractivismos en América del sur y sus efectos derrame. La Revista, Sociedad Suiza Americanista, Boletín No. 76, p. 13-23, 2015

IBAMA; NUGEO/SP. Mapa de Consolidação das áreas totais afetadas pelas plumas de alta e baixa concentração de todos os mapas produzidos entre 03/12/2015 e 03/02/2017, produzido pelo IBAMA e NUGEO/SP, anexo a Nota Técnica nº. 23/2017/TAMAR-Vitoria-ES/DIBIO/ICMBio de 25/09/2017.

IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Declaração de Área de Conflito - DAC/IGAM - Nº 002/2009. Belo Horizonte, 4p. 2009.

IGAM. INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Mapa de conflitos por Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. Infraestrutura de Dados Espaciais - IDE. Sisema, 2016. Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 24/11/2020.

LASCHEFSKI, K. A. O mapa dos conflitos ambientais em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. v. 5, n. 2. p. 73-92. 2018. DOI: 10.7867/2317-5443.2017V5N2P073-092.

LEFEBVRE, Henri. A produção do espaço. Trad. Grupo “As (im)possibilidades do Urbano na metrópole contemporânea. Do núcleo de Geografia urbana da UFMG (do original: La production de l’ espace, 4a éd. Paris: Éditions Anthropos, 2000). Primeira versão início de 2006.

MASSEY, Doreen. Um sentido Global do Lugar. In: O espaço da diferença. Antônio A. Arante, organizador. Campinas, São Paulo: Papirus, 2000 [1991].

MOSCOVICI, S. Das representações coletivas às representações sociais: elementos de uma história. In: JODELET, Denise. (Org.). **As representações sociais**. Rio de Janeiro: Ed. UERJ, 2001, p. 45-66.

MILANEZ, B. LOSEKANN, C. **Desastre no Vale do Rio Doce: antecedentes, impactos e ações sobre a destruição**. Rio de Janeiro: Folio Digital: Letra e Imagem, 2016.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública Parecer Técnico 01/2020-DSASTE/SVS/MS. ANÁLISE DA METODOLOGIA GAISMA.

MINISTÉRIO PÚBLICO ESTADUAL. Parecer Técnico N°1498/2019. Apurar as medidas adotadas para a reparação integral dos danos ocasionados às comunidades quilombolas situados nos municípios atingidos pelo rompimento da Barragem do Córrego do Feijão, da Vale, em Brumadinho / Bacia do Rio Paraopeba – de Brumadinho a Três Marias/ MG. 11p. 2019.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, Ministério Público do Estado de Minas Gerais, Ministério Público do Estado do Espírito Santo, Defensoria Pública da União, Defensoria Pública do Estado de Minas Gerais, Defensoria Pública do Estado do Espírito Santo, . . . Fundação Renova. (2018). Termo de Ajustamento de Conduta. Belo Horizonte.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, Ministério Público do Estado de Minas Gerais, Samarco Mineração S.A., Vale S.A., & BHP Billiton Brasil Ltda. (2017). Termo Aditivo ao Termo de Ajustamento Preliminar (TAP). Belo Horizonte.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL, Samarco Mineração S.A., Vale S.A., & BHP Billiton Brasil Ltda. (2017). Termo de Ajustamento Preliminar. Belo Horizonte.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL. (2018, 25 Jun). Linha do Tempo. Caso Rio Doce - Atuação do MPF. Acessado em: 18 Set 2018, Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/para-o-cidadao/caso-mariana/atuacao-do-mpf/linha-do-tempo>

MOVIMENTO PELAS ÁGUAS E SERRAS DE MINAS – MovSAM. Dossiê-denúncia: ameaças e violações ao direito humano à água no Quadrilátero Ferrífero-Aquífero de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2018.

NADER, Laura – Harmonia Coerciva. A economia política dos modelos jurídicos. In Revista Brasileira de Ciências Sociais, no. 26, p. 18-29, 1994. http://www.anpocs.org.br/portal/publicacoes/rbcs_00_26/rbcs26_02.htm.

ORLANDI, Eni Puccinelli. Análise de discurso: Princípios e procedimentos. Ed. Pontes. 2005. 100p.

PIASENTIN, F. B. **Conflitos socioambientais em torno do manejo do sistema agroflorestal tradicional cabruca no Sudeste da Bahia.** Universidade de Brasília - UNB. Brasília, 2008.

RAGGI, R. V. **CONTRADIÇÕES DA PRODUÇÃO DO ESPAÇO DOS ASSENTAMENTOS: A CONQUISTA DO PDA PELO MST.** (Um estudo de caso da Comunidade de Resistência Roseli Nunes – Pequi/ MG). Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia. Universidade Federal de Minas Gerais. 2008. 259p.

SABARÁ, R. Comunidade Negra Rural de Pontinha: agonia de um modo de produção. Belo Horizonte, 2001. (mimeo)

SANTOS, M. **A natureza do espaço. Técnica e tempo. Razão e emoção.** São Paulo: EDUSP, 1996.

SANTOS, M. E. G., CAMARGO, P. M. Comunidades quilombolas de Minas Gerais no século XXI, História e resistência. Belo Horizonte: Autêntica/CDEFES, 2008.

SARAMAGO, José. Levantando do chão. 15ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2009. 368 p.

SOS MATA ATLÂNTICA. Observando rios: O retrato da qualidade da água nas bacias dos rios Paraopeba e Alto São Francisco um ano após o rompimento da barragem Córrego do Feijão – Minas Gerais. Cord. RIBEIRO, M. A. p. 28. Brasília, Janeiro, 2020.

SOUZA, Marcelo Lopes de. Os conceitos fundamentais da pesquisa socioespacial. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

VALENCIO, Norma. Da Morte da Quimera à Procura de Pégasu: a importância da interpretação sociológica na análise do fenômeno denominado desastre. VALENCIO, N. et al. Sociologia dos Desastres: construção, interfaces e perspectivas no Brasil. São Carlos, RIMA Editora, 2009.

VERVLOET, Roberto José Hezer Moreira. A geomorfologia da região de rompimento da barragem da Samarco: a originalidade da paisagem à paisagem da mineração. In: MILANEZ, Bruno; LOSEKANN, Cristiane. (Org). Desastre no vale do Rio Doce: Antecedentes, impactos e ações sobre a destruição. Ed. Folio Digital. Rio de Janeiro, 2016.

VIÉGAS, Rodrigo Nuñez. O campo da resolução negociada de conflito: o apelo ao consenso e o risco do esvaziamento do debate político. Revista Brasileira de Ciência Política, no 21. Brasília, setembro - dezembro de 2016, pp 7-44. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-335220162101>.

WOLKMER, Maria de Fátima Schumacher. PAULITCHS, Nicole da Silva. O estado de direito socioambiental e a governança ambiental: ponderações acerca da judicialização das políticas públicas ambientais e da atuação do poder judiciário. Estudos Jurídicos. Disponível em: www.univali.br/periodicos. 2013.

ZHOURI, Andréa. Justiça ambiental, diversidade cultural e accountability: Desafios para a governança ambiental. Revista Brasileira de Ciências Sociais - Vol. 23 No 98 . 68. 2008, Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcsoc/v23n68/v23n68a07>, acesso em: 30 maio 2017.

ZHOURI, Andréia (org.). Mineração, Violências e Resistências: um campo aberto à produção de conhecimento no Brasil. Marabá, PA: Editorial iGuana: ABA, 2018.

FEAM. Fundação Estadual de Meio Ambiente. Inventário estadual de barragens do Estado de Minas. Belo Horizonte: FEAM, 2013.

ROJAS, Claudia Marcela Orduz; Pereira, Doralice Barros. As Políticas e estratégias empresariais de controle territorial: a VALE S.A e os embates na Serra do Gandarela/MG. Revista Novos Cadernos NAEA. V. 18, n.3, p.29-49. 2015.

VAINER, Carlos. Conceito de “atingido”: uma revisão em debate. In: FRANKLIN, Daniel Rothman. Vidas alagadas: conflitos socioambientais, licenciamento e barragens. Viçosa/ MG: Editora UFV, 2008, 344 p.

CAPÍTULO 4

DIAGNÓSTICO DOS DANOS CAUSADOS PELO ROMPIMENTO SOBRE OS FATORES BIÓTICOS E ABIÓTICOS DA REGIÃO 3

1. Introdução

No campo científico, estudos que buscam compreender algum fenômeno ou situação desconhecida, e/ou realizar uma nova leitura, precisam, quase obrigatoriamente, apresentar uma primeira etapa exploratória. Pesquisas exploratórias são fundamentais para a definição exata do objeto de estudo e a obtenção de dados preliminares que ajudam a identificar lacunas de informações, propiciando um olhar crítico sobre o fenômeno e a proposição de hipóteses (CHOY, 2014). Além disso, são excelentes fontes de informação para fomentar proposições novas, visto que podem trazer um olhar mais amplo sobre o objeto de estudo, reduzindo gastos com informações já coletadas e maximizando o poder preditivo (BOSLAUGH, 2007).

No âmbito socioambiental, levantamentos de dados secundários são fundamentais e altamente recomendados para uma compreensão mais holística sobre o problema de estudo. O meio ambiente, visto como algo complexo e integrado, é composto por múltiplos componentes que interagem entre si, dificultando a coleta de dados primários em todas as áreas do conhecimento por um longo período de tempo. Dessa forma, nas ciências ambientais, é comum que cada área do conhecimento produza dados primários apenas dentro da sua abrangência e depois relacione as informações obtidas com dados secundários de outras áreas do conhecimento (LITTEL et al., 2008).

Além disso, quando se busca investigar o efeito de determinada ação sobre um recurso natural sem ser possível reproduzir a condição inicial, a utilização de dados secundários torna-se, praticamente, a única forma de avaliar o impacto real dessa ação. Assim, levantamentos de dados secundários se configuram como uma etapa fundamental para compreensão dos impactos

do rompimento da barragem I da Mina Córrego do Feijão dentro da Região 3, bem como podem subsidiar futuras tomadas de decisão frente à reparação dos danos socioambientais causados.

No contexto do “Estudo de avaliação de risco à saúde humana em localidades atingidas pelo rompimento da barragem do Fundão - MG”, a AMBIOS Engenharia e Processos utilizou um conjunto de estudos e relatórios técnicos ambientais que forneceram dados secundários sobre fatores bióticos e abióticos, os quais são a base para as análises críticas, correlações com dados primários, validações, observações, avaliações e conclusões apresentadas ao longo do documento (AMBIOS, 2019). Os documentos utilizados possibilitaram também à equipe técnica a formulação de uma série de questionamentos que nortearam o levantamento de dados primários e a validação de dados secundários, a exclusão de fontes de pesquisa não relevantes, a definição de padrões normativos de referência e desenhos amostrais, além de evidenciar lacunas de conhecimento a serem preenchidas para a devida elucidação das rotas de exposição humana aos contaminantes provenientes do rompimento. Da mesma forma, o “Relatório Técnico de avaliação de risco à saúde humana - Metodologia Ministério da Saúde, Mariana/MG, Áreas Alvo 1, 2 e 3” (MAXIMIANO, 2019), desenvolvido pela empresa TECNOHIDRO, apresenta como referência vários estudos, diagnósticos e relatórios que forneceram dados secundários que balizaram as principais análises e conclusões do documento.

Neste contexto, o presente diagnóstico tem por objetivo principal analisar os danos causados pelo rompimento da barragem I da Mina Córrego do Feijão sobre fatores bióticos (animais domésticos de criação, ictiofauna e produtos vegetais) e abióticos (água, sedimentos, solo e ar), utilizando dados secundários para traçar um panorama das condições ambientais da bacia hidrográfica do rio Paraopeba antes e após o rompimento. Objetiva-se ainda: (i) comparar séries históricas de dados secundários para identificar dados similares e díspares; (ii) realizar análise crítica dos dados, objetivando a identificação de cenários fidedignos e incongruentes; (iii) verificar a existência de lacunas de informações e gargalos existentes para a proposição de estudos específicos; (iv) relacionar dados secundários com os problemas identificados em campo que podem repercutir na saúde das comunidades humanas, animais e vegetais; (v) compartilhar periodicamente com os atingidos as informações obtidas, como forma de elucidar o cenário e o grau de contaminação de fatores bióticos e abióticos; (vi) oferecer elementos que subsidiem a elaboração do desenho amostral dos estudos a serem realizados por consultorias especializadas contratadas pela ATI-R3/NACAB; (vii) subsidiar trabalhos de campo da ATI-R3/NACAB para consulta/validação com os atingidos de alguns dos resultados encontrados; (viii) subsidiar novos critérios de apoio emergencial a novas áreas/comunidades afetadas pelo

rompimento, mas que atualmente não estão devidamente contempladas; (ix) contribuir para a proposição e implementação de medidas de reparação integral.

2. Metodologia

Para consecução dos objetivos propostos, optou-se por dividir as atividades metodológicas em duas etapas principais. A primeira etapa refere-se ao levantamento e sistematização dos dados secundários existentes sobre fatores bióticos (animais domésticos de criação, ictiofauna e produtos agrícolas) e abióticos (água, sedimentos solo e ar) na região de estudo.

Os dados referentes aos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água e sedimentos, dados fluviométricos e pluviométricos da bacia hidrográfica do rio Paraopeba foram pesquisados no banco de dados integrado da Agência Nacional de Águas - ANA, do Instituto Mineiro de Gestão de Águas - IGAM, Serviço Geológico do Brasil - CPRM e a Secretária Estadual de Saúde - SES de Minas Gerais. Foram consultados ainda os relatórios institucionais de monitoramento e documentos produzidos pelo Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba e a iniciativa “Observando Rios” da ONG - SOS Mata Atlântica, que percorreram toda a extensão do rio Paraopeba fazendo análises de qualidade da água (SOS MATA ATLÂNTICA, 2020). Para tanto, foram consideradas séries históricas que integram períodos anteriores e posteriores ao rompimento da barragem I da Mina Córrego do Feijão. Também foram utilizadas publicações técnicas de outros órgãos, e ainda em publicações científicas.

Em relação aos dados de análise de solos, foi realizada uma revisão bibliográfica de estudos e publicações científicas realizadas na região de estudo, bem como uma busca em bancos de dados governamentais, incluindo nesse caso, os bancos de dados da Fundação Estadual do Meio Ambiental de Minas Gerais - FEAM, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa e Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Devido à falta de estudos relacionados à contaminação do solo após as enchentes do rio Paraopeba na Região 3, foram considerados ensaios ecotoxicológicos e de genotoxicidade do solo realizados em localidades com contexto semelhante de contaminação por rejeitos de mineração, que no caso são os dados provenientes da bacia do rio Doce.

Dados referentes à qualidade do ar foram retirados do banco de dados governamentais utilizados para monitoramento da qualidade do ar em Minas Gerais, compilados e organizados

pela FEAM, por meio da sua Gerência de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões (GESAR). Nesta etapa, foram considerados principalmente dados relativos aos níveis de material particulado antes e pós-rompimento, tendo em vista partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis PM10, PM2,5 e, notadamente, elementos de interesse como contaminantes metálicos, os quais podem ser provenientes dos rejeitos de minério. Como não existem estações automáticas de monitoramento ou estudos que avaliam poeira domiciliar na Região 3, foram considerados dados provenientes de outras localidades em contextos semelhantes, incluindo dados do município de Brumadinho e de municípios atingidos pelo rompimento da Barragem de Fundão na bacia do rio Doce, para composição de um possível cenário de referência.

Ainda nessa primeira etapa, visando compor um banco de dados sólido referente aos possíveis danos ecotoxicológicos para as espécies animais e vegetais atingidas pelo rompimento, foi realizada uma busca bibliográfica em estudos, publicações científicas e dados governamentais sobre o tema. Essa revisão bibliográfica foi realizada em duas vias:

1. Estudos e documentos técnicos que analisaram possíveis contaminantes e os efeitos tóxicos dos rejeitos de minério especialmente sobre animais domésticos de criação e produtos vegetais, considerando inclusive informações produzidas em laboratórios e centros de pesquisas.
2. Estudos e documentos técnicos que buscam mensurar níveis de contaminantes detectados na ictiofauna do rio Paraopeba pré e pós rompimento da barragem, além de registros de mortalidade de peixes também nessas duas temporalidades.

Porém, devido à insuficiência de dados, para alguns dos aspectos citados anteriormente, foram utilizados dados de outras localidades em contexto de impacto semelhante, de modo a construir um possível cenário de referência.

Como alguns dados relacionados aos fatores bióticos e abióticos não estavam disponíveis em banco de dados públicos, foram produzidos requerimentos e ofícios internos de acesso que foram enviados para as respectivas instituições públicas e privadas via Comitê Pró-Brumadinho, a partir da Lei de Acesso à Informação (Lei Nº 12.527, de 18 de novembro de 2011). Foram enviados ofícios requerendo dados ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas -

IGAM, ao Instituto Mineiro de Agropecuária - IMA, ao Serviço Geológico do Brasil - CPRM, a Secretária Estadual de Saúde - SES e Ministério da Saúde.

Após esse levantamento e sistematização dos dados secundários e outros documentos técnicos, foi realizado um cruzamento entre os diferentes dados obtidos. Nesta segunda etapa metodológica, os dados foram analisados em sua integralidade de forma a compreender o cenário geral dos parâmetros físicos, químicos e biológicos dos fatores analisados, identificando, desta forma, os principais danos, sua magnitude e onde estão concentrados.

Como grupo controle da qualidade da água e sedimentos, foram utilizados valores para os parâmetros de qualidade da água e sedimentos do rio Paraopeba na Região 3 obtidos em períodos anteriores ao rompimento da barragem. Para isto, utilizou-se dados secundários de caracterização dos parâmetros de qualidade da água, de sedimentos, uso e cobertura do solo, relevo, pedologia, geomorfologia e geologia predominantes na região.

Para compreensão da condição da qualidade do solo antes do rompimento, foram utilizados os dados do levantamento geoquímico publicados no Atlas Geoquímico da Bacia do São Francisco para o estado de Minas Gerais. Este estudo, envolvendo análises de teores de metais em amostras de solo, foi produzido e disponibilizado em sua integralidade pelo CPRM, o que possibilitou o processamento e manipulação dos mesmos, a fim de extrair as informações para a bacia do rio Paraopeba e para a Região 3.

Para dados controle relacionados à qualidade do ar e poeira domiciliar, foram utilizadas as concentrações de material particulado e contaminantes obtidos em períodos anteriores ao rompimento da barragem. Como para Mariana/MG, não havia dados antes o rompimento e como Brumadinho está dentro de um contexto distinto ao encontrado na Região 3, optou-se por fazer a comparação apenas com os limites definidos pela Resolução Conama Nº 491/2018 e os limites estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde - OMS (WHO, 2006).

Em relação a ensaios ecotoxicológicos para animais domésticos de criação, produtos vegetais e ictiofauna, também foram utilizados, quando disponíveis, dados coletados dentro da bacia do rio Paraopeba, porém em localidades sem qualquer tipo de contato com o rejeito de minério ou dados coletados anteriormente ao rompimento da barragem. Devido a ausência e a escassez de informações específicas para a bacia do rio Paraopeba, foram utilizados, quando cabíveis, dados para regiões externas à bacia, mas com características semelhantes à ela.

Em todos os casos, todos os dados secundários obtidos foram comparados aos limites máximos previstos em legislação específica. Após essa etapa de compilação dos dados obtidos,

foi produzido este relatório técnico com o objetivo de apresentar os principais resultados encontrados aos atingidos e Instituições de Justiça. Ao longo do relatório, são apresentados diversos elementos visuais como gráficos e mapas para facilitar a compreensão da magnitude dos danos ambientais já identificados e para aqueles com potencial de existência.

Após a revisão final do documento, todas as informações deste documento serão compartilhadas com os atingidos, de maneira clara e objetiva, com auxílio da Gerência de Participação Social e Engajamento e da Assessoria de Comunicação. Todos os resultados obtidos ainda serão compartilhados com as demais gerências da ATI-R3 para auxiliar na identificação de danos sociais e econômicos ao longo da região, podendo ainda auxiliar na identificação de atingidos(a) e na construção informada e coletiva de medidas de reparação integral dos danos na Região 3.

3. Resultados

3.1 Caracterização do Rejeito de Minério

A maioria dos elementos e matérias-primas usados em aplicações industriais, desenvolvimento tecnológico e geração de energia são produzidos pela extração e processamento de minério de ferro. Invariavelmente ao processo minerário adotado, os rejeitos minerais são considerados parte intrínseca do processo (KURANCHIE, 2015). Isso acontece, pois as diversas tipologias de minerais não são encontrados de maneira pura na natureza e por esse motivo, sua extração dependerá dos processos de beneficiamento que lhe garantirão as características de qualidade necessárias a sua comercialização.

No Brasil, os minérios de ferro, predominantemente explorados, são a hematita (Fe_2O_3) e o itabirito, que é um tipo de formação ferrífera composta de hematita e quartzo (sílica). O teor médio de ferro pode variar conforme agrupamento de minério, chegando a teores próximos de 70% no Pará e valores próximos a 50% no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais (ANDRADE, 2014).

Dessa forma a quantidade de rejeito e as propriedades físico-químicas do minério de ferro irão depender da formação ferrífera, seus teores de ferro e da qualidade do processo de beneficiamento (BJELKEVIK, 2011; GHOSE & SEN, 2001). De todo modo, normalmente o rejeito de minério de ferro irá apresentar como minerais padrões a hematita, a goethita, o

quartzo, a caulinita e a gibbsita, em diferentes proporções que variam por localidade (SILVA, et al., 2016; ARAÚJO, 2006; WOLFF, 2009). Sendo assim, a presença de sílica e ferro é quase universal e, juntamente com oxigênio, são os elementos mais abundantes. Outros elementos encontrados com frequência são: alumínio, cálcio, potássio, manganês, magnésio, sódio, fósforo, titânio e enxofre (KOSSOFF et al., 2014). Outros estudos, ainda apontam arsênio, cobre, chumbo, zinco e cádmio presentes em altas concentrações (MECK et al., 2006; HELLSTRÖM et al., 2007; KOSSOFF et al., 2011).

3.1.1 Rejeitos da Mineração na Mina do Córrego do Feijão

A Barragem I (B-I), de disposição de rejeitos de minério de ferro, que se rompeu no dia 25 de janeiro de 2019, situa-se na Mina do Córrego do Feijão, cuja proprietária é a empresa VALE S.A. A Mina do Córrego do Feijão, está localizada na parte norte do município de Brumadinho (20° 07' 10'' S; 44° 07' 13''O), na região metropolitana de Belo Horizonte. Hidrologicamente, a Barragem B-I está situada na bacia hidrográfica do Ribeirão Ferro-Carvão, corpo d'água que deságua no ponto médio da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, que por sua vez, deságua no rio São Francisco.

O processo de concentração mineral da Mina do Córrego do Feijão tinha como objetivo enriquecer o produto final em teor de ferro, retirando a sílica (quartzo) e os minerais de alteração (óxidos de manganês, caulinita, gibbsita e goethita) que compõem o rejeito. Segundo o Laudo Pericial Nº 3565/2019, desde sua construção, em 1976, a usina de beneficiamento não utiliza reagentes químicos na etapa de concentração e desde de 2016, a operação era realizada sem a geração de rejeitos.

Nesse contexto, para composição de uma caracterização fidedigna do rejeito de minério de ferro da Mina do Córrego do Feijão e seu potencial poluidor, foram analisados o Laudo de Perícia Criminal Federal nº 3565/2019, que avaliou as características do minério nas áreas soterradas, o estudo desenvolvido por Wolff (2009) que objetivou caracterizar o rejeito de nove minas da empresa Vale S.A., incluindo a Mina do Córrego do Feijão e o estudo de Gomes (2009), que também caracterizou o rejeito da Mina do Córrego do Feijão.

3.2.1.a) Laudo de Perícia Criminal Federal nº 3565/2019 - NUCRIM/SETEC/SR/PF/SP

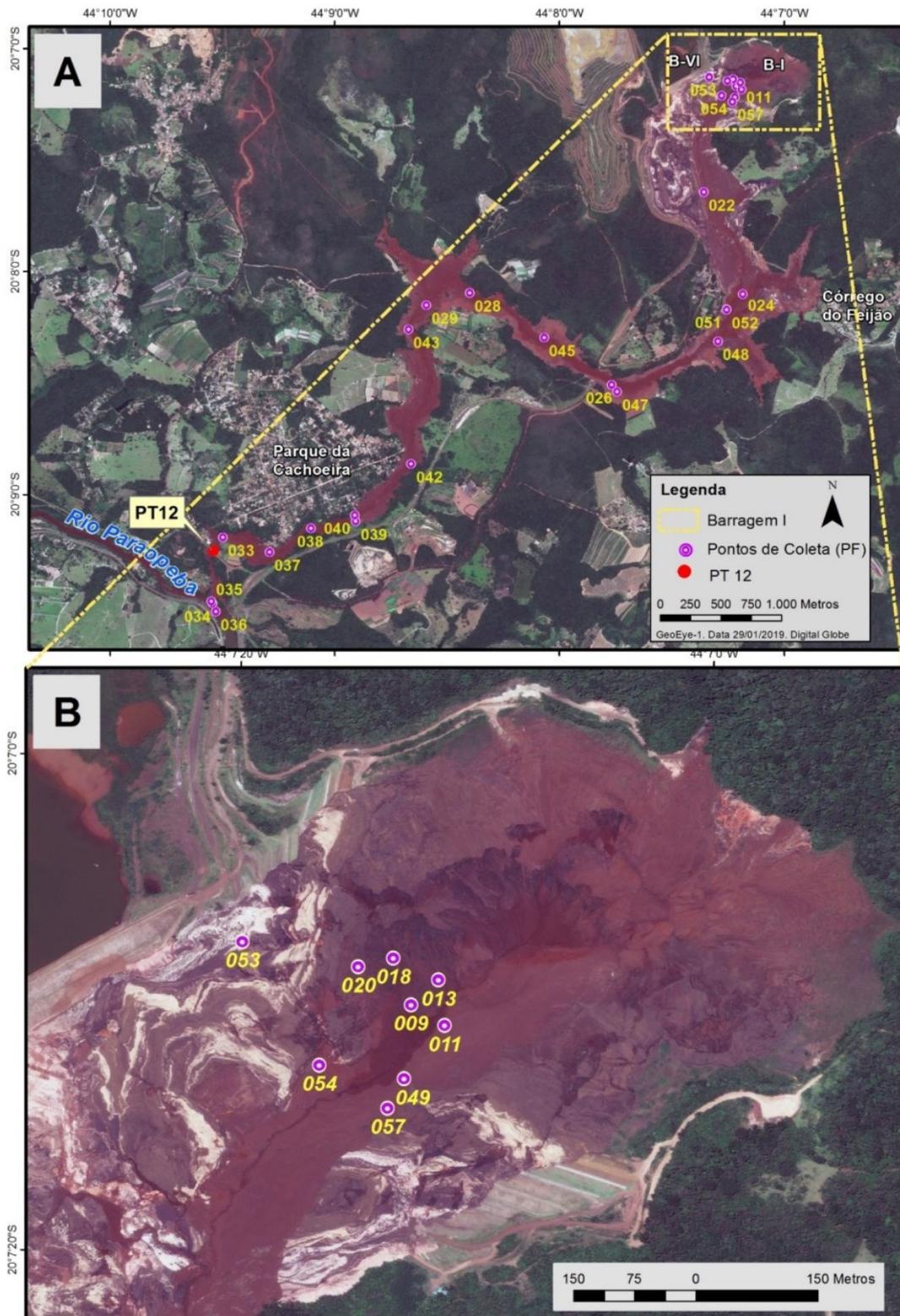
Imediatamente após o rompimento da Barragem B-I, uma equipe de Peritos Criminais Federais, a fim de atender à solicitação do Delegado de Polícia Federal LUIZ AUGUSTO P. NOGUEIRA contida no Memorando nº 1121/2019 – IPL 0062/2019-4 SR/PF/MG de 11/02/2019, foi acionada para investigar a magnitude da tragédia que se construía. Os exames periciais envolveram visitas à região afetada e entorno, coleta de amostras, levantamento, sistematização e análise de dados e produção do laudo pericial.

A etapa relacionada aos exames geoquímicos do rejeito disposto sobre a área afetada na bacia do ribeirão Ferro-Carvão foi realizada entre os dias 20 e 25/03/2019, aproximadamente, dois meses após o rompimento. Nesta etapa, efetuaram-se coletas de amostras de rejeitos na área soterrada visando a caracterização geoquímica do material e sua dinâmica provável de contaminação ambiental. No total foram analisadas 24 amostras coletadas por via aérea, com auxílio do helicóptero, e 5 amostras por via terrestre (Figura 61). As amostras foram analisadas quanto à mineralogia por difração de raios-x, granulometria e concentração de metais.

Os resultados da caracterização mineral, apresentados no laudo, indicam a presença de minerais compatíveis com a região e ao tipo de mineração realizada na Mina do Córrego do Feijão. Os minerais detectados foram: Quartzo (SiO_2), Hematita (Fe_2O_3), Goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$) e Caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), que também foram observados por outros estudos (GOMES, 2009; WOLFF, 2009).

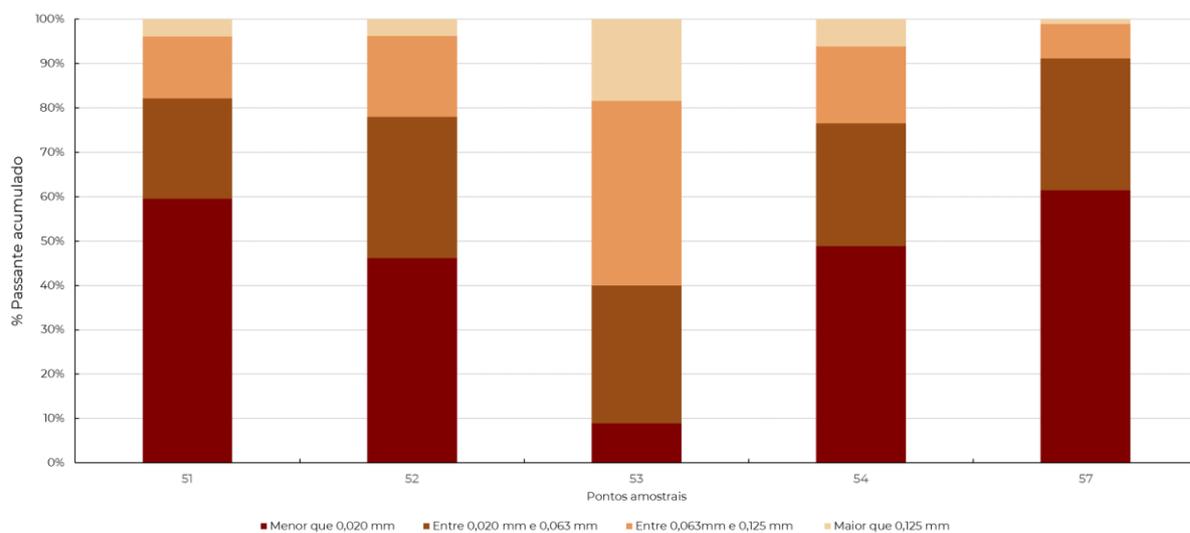
Quanto às análises granulométricas os peritos constataram a grande presença de silte /argila (granulometria $< 0,062\text{mm}$; Figura 62). Esses resultados condizem com os resultados encontrados em ensaios feitos antes do rompimento por Wolff (2009, vide seção 3.2.1.b), Gomes (2009; vide seção 3.2.1.c) e pela própria VALE S.A., em 2017. Apesar dessas similaridades com os estudos realizados anteriormente ao rompimento, as amostras do laudo pericial, com exceção da amostra 53, apresentaram um material mais fino que os resultados apresentados pela empresa VALE S.A. em 2019, vide Figura 63. Para os peritos, essa discrepância pode estar relacionada à área em que foram feitas as amostras da VALE S.A e a amostra 53. Essa amostra foi realizada na área onde estava o dique e ombreiras estruturais da barragem (vide Figura 61), que estruturalmente apresenta um material de granulometria mais grossa, porém de pouca importância percentual em relação ao total de volume de rejeito liberado.

Figura 61: Pontos de amostragem do Laudo Pericial N° 3565/19 da Polícia Federal para caracterização do rejeito de minério liberado após o rompimento da barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão.



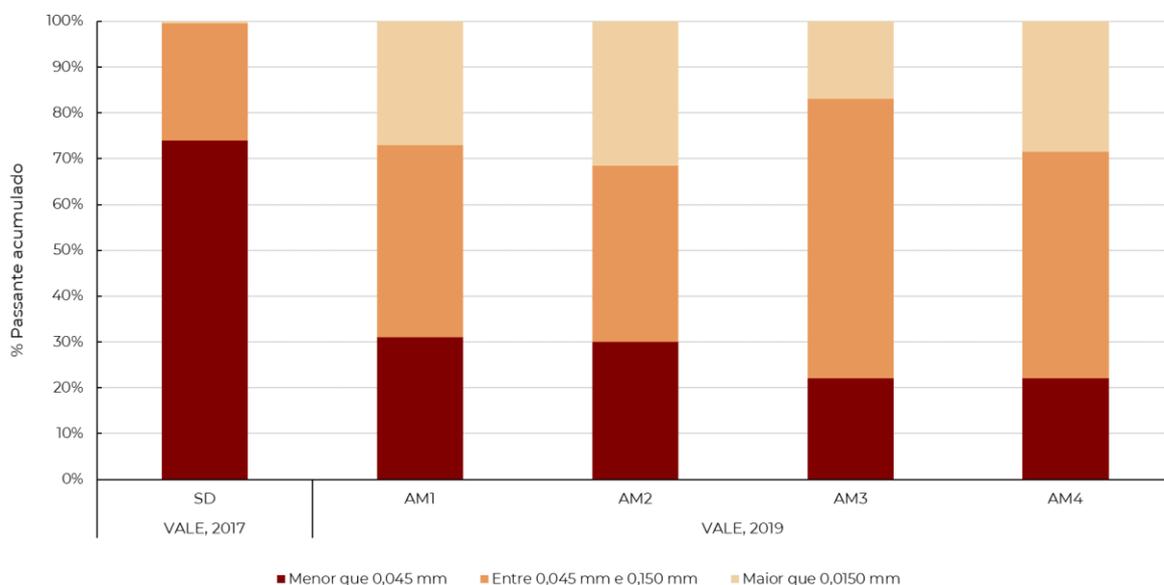
Detalhe para as amostras realizadas na região da barragem (B) e a amostra 53, realizada na região de dique e ombreiras.

Figura 62: Resultados da análise granulométrica do rejeito de minério da Barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão do Laudo Pericial N° 3565/19 da Polícia Federal.



Fonte: Laudo Pericial N° 3565/2019 (2019).

Figura 63: Resultados da análise granulométrica do rejeito de minério da Barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão realizado por empresa contratada pela VALE S.A e apresentados no Laudo Pericial N° 3565/19 da Polícia Federal.



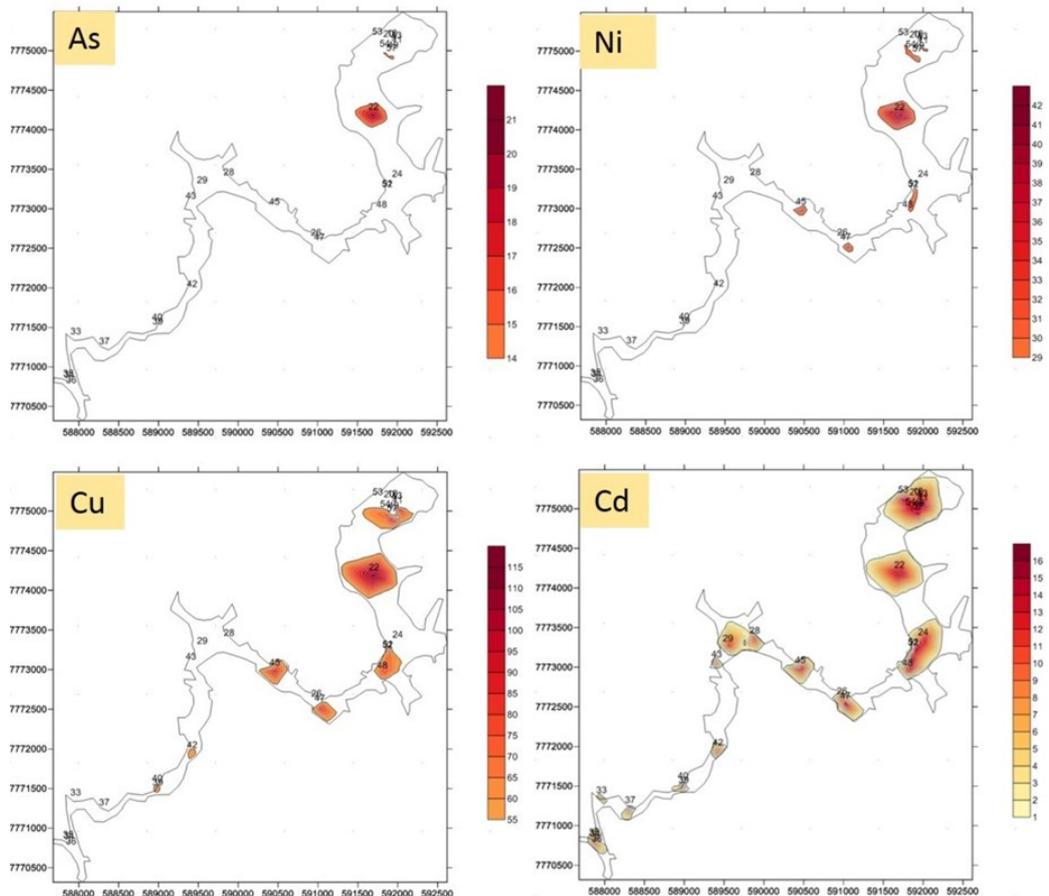
Fonte: Laudo Pericial N° 3565/2019 (2019).

Conforme indicado pelos peritos criminais, é esperado que possíveis contaminantes ambientais presentes no rejeito, tais como possíveis metais tóxicos, estejam muito mais associados a materiais com granulometrias mais finas (< 0,063 mm) do que a materiais com

granulometrias mais grossas. Outro ponto observado pelos peritos é que materiais mais finos também são mais susceptíveis ao carreamento físico e quando escoados tendem a percorrer maiores distâncias devido à baixa capacidade de decantação na coluna de água, e portanto, podendo atingir áreas mais baixas da bacia do rio Paraopeba.

Quanto às concentrações de metais potencialmente tóxicos, os peritos identificaram áreas cuja concentração de metais foram superiores aos Valores de Prevenção ou de Investigação, com riscos potenciais à saúde humana, conforme descritos na resolução do CONAMA Nº 420/2009. Entre os principais resultados têm-se: 13 e 10 pontos amostrais apresentaram concentrações de Cobre e Níquel, respectivamente, acima dos Valores de Prevenção da Legislação. Além disso, todos os pontos amostrados (29) apresentaram concentrações de Cádmio acima dos Valores de Prevenção, Investigação Agrícola e Investigação Residencial definidos na resolução CONAMA 420/2009 (Figura 64; Tabela 1).

Figura 64: Curvas de Isoconcentração (mg/kg) dos principais elementos encontrados na área imediatamente afetada pelo rejeito (vide resultados completos na Tabela 1).



Valores de Prevenção da Resolução CONAMA 420/09: As (15 mg/kg) ; Ni (30 mg/kg); Cu (60 mg/kg); Cd (1,3 mg/kg). Valores de Investigação da Resolução CONAMA 420/09: Cd (3 mg/kg, agrícola; 8 mg/kg, Residencial).

Tabela 19: Concentração (mg/kg) de metais e semi-metais nas amostras de rejeito coletadas pelo corpo técnico da Polícia Federal na área imediatamente afetada pelo rejeito.

RESPONSÁVEL	PONTOS	LOCAL DE COLETA	CIDADE	LATITUDE	LONGITUDE	DATA	ANTIMÔNIO (MG/KG)	ARSÊNIO (MG/KG)	BÁRIO (MG/KG)	CÁDMIO (MG/KG)	CHUMBO (MG/KG)	COBALTO (MG/KG)	COBRE (MG/KG)	CROMO (MG/KG)	FERRO (MG/KG)	MANGANÊS (MG/KG)	MERCÚRIO (MG/KG)	NÍQUEL (MG/KG)	ZINCO (MG/KG)
POLÍCIA FEDERAL, 2019	9	barragem	Brumadinho, MG	591961,69	7775056,18	21/03/2019	<0,1	8,41	87,6	15,7	19,3	13,4	23,1	16,3	36690	6247	<0,05	24,1	23,8
POLÍCIA FEDERAL, 2019	11	barragem	Brumadinho, MG	592002,96	7775030,72	21/03/2019	1,28	14,5	133	15,7	28,8	21,3	87	25,8	36325	8416	0,09	31,8	57,9
POLÍCIA FEDERAL, 2019	13	barragem	Brumadinho, MG	591995,41	7775086,99	21/03/2019	<0,1	7,87	115	14,3	18,3	12,1	22,6	18,2	37226	6535	<0,05	21,4	22
POLÍCIA FEDERAL, 2019	18	barragem	Brumadinho, MG	591939,84	7775114,06	21/03/2019	1,65	6,44	110	14,6	19,7	16,4	32	18,8	36126	8960	0,05	25,3	28,5
POLÍCIA FEDERAL, 2019	20	barragem	Brumadinho, MG	591896,82	7775103,44	21/03/2019	0,65	8,14	90,3	10,2	14,9	6,35	8,7	15,4	38756	4759	0,14	15,1	11,3
POLÍCIA FEDERAL, 2019	22	extravasamento	Brumadinho, MG	591707,15	7774184,3	21/03/2019	2,6	20,5	166	15,4	32,1	28,4	113	30,7	35408	11049	0,11	41,3	71,1
POLÍCIA FEDERAL, 2019	24	extravasamento	Brumadinho, MG	592004,87	7773336,06	21/03/2019	1,08	7,99	60,6	14,2	19	10,8	20,7	14,1	34655	4424	<0,05	20,2	20,5
POLÍCIA FEDERAL, 2019	26	extravasamento	Brumadinho, MG	590985,7	7772591,82	21/03/2019	1,12	7,2	74,3	14,8	21,2	11,6	25,3	15,2	35369	4355	<0,05	19,5	23,4
POLÍCIA FEDERAL, 2019	28	extravasamento	Brumadinho, MG	589888,29	7773357,97	21/03/2019	0,43	3,78	52,2	13,4	18,9	9,46	18,3	11,9	36046	3642	<0,05	17,7	18,6
POLÍCIA FEDERAL, 2019	29	extravasamento	Brumadinho, MG	589552,35	7773257,56	21/03/2019	1,53	8,68	43,7	12,2	17,3	8,43	13,8	10,1	36803	2910	<0,05	15,7	16,4
POLÍCIA FEDERAL, 2019	33	extravasamento	Brumadinho, MG	587964	7771343,92	22/03/2019	1,46	10,2	77,7	12,7	21,5	12,8	30,6	14,3	37031	5223	<0,05	20,6	25,7
POLÍCIA FEDERAL, 2019	34	extravasamento	Brumadinho, MG	587880,33	7770796,17	22/03/2019	0,56	9,4	112	13,4	26,6	17,3	60,9	22,2	36294	7468	0,08	26,4	44,3
POLÍCIA FEDERAL, 2019	35	extravasamento	Brumadinho, MG	587871,12	7770813,27	22/03/2019	0,98	9,95	103	13,2	24,6	16,3	50,8	20,5	36315	7552	0,06	26,8	38,2
POLÍCIA FEDERAL, 2019	36	Paraopeba	Brumadinho, MG	587906,22	7770727,98	22/03/2019	1,36	4,7	51,2	9,65	17,5	9,14	17,8	10,9	37746	2832	<0,05	13,5	21,3
POLÍCIA FEDERAL, 2019	37	extravasamento	Brumadinho, MG	588324,67	7771218,91	22/03/2019	1,2	8,57	62,8	13,5	20,6	10,9	24,1	15	35790	4316	<0,05	19,1	22,8
POLÍCIA FEDERAL, 2019	38	extravasamento	Brumadinho, MG	588648,11	7771416,48	22/03/2019	0,39	6,07	85,7	14,1	21,9	14	36,3	16,6	35534	5997	0,05	23,4	29,4
POLÍCIA FEDERAL, 2019	39	extravasamento	Brumadinho, MG	588994,33	7771469,93	22/03/2019	0,42	10,8	118	13,9	27,6	17,9	64,5	22	35686	7558	0,07	27,7	44,6
POLÍCIA FEDERAL, 2019	40	extravasamento	Brumadinho, MG	588988,22	7771523,31	22/03/2019	1,37	13,8	120	15,3	28,3	20,1	73,3	23,5	37372	8711	0,09	31,1	52
POLÍCIA FEDERAL, 2019	42	extravasamento	Brumadinho, MG	589427,05	7771942,84	22/03/2019	0,43	6,98	114	13,8	24,9	16,9	63,7	41,6	37099	7268	0,31	25,7	41,5
POLÍCIA FEDERAL, 2019	43	extravasamento	Brumadinho, MG	589411,15	7773058,18	22/03/2019	2,12	7,72	67,4	14,4	19	11,3	21,4	14,3	35430	4171	<0,05	19,5	21,1
POLÍCIA FEDERAL, 2019	45	extravasamento	Brumadinho, MG	590463,03	7772984,35	22/03/2019	1,63	12	145	15,1	30,7	22,8	88,6	27,1	35632	9936	0,1	34,8	57,8
POLÍCIA FEDERAL, 2019	47	extravasamento	Brumadinho, MG	591026,57	7772533,95	22/03/2019	1,79	15,1	144	14,8	31,7	22,2	86,6	25,4	35216	9592	0,09	35	56,7
POLÍCIA FEDERAL, 2019	48	extravasamento	Brumadinho, MG	591810,17	7772947,52	22/03/2019	3,12	11,8	120	15,2	27,3	21	79,2	23,2	34983	8344	0,06	30,9	52,1
POLÍCIA FEDERAL, 2019	49	barragem	Brumadinho, MG	591953,16	7774964,58	22/03/2019	<0,1	10,8	63,9	14	19,2	10,1	24,8	14,8	35832	3713	<0,05	17,6	21,6
POLÍCIA FEDERAL, 2019	51	extravasamento	Brumadinho, MG	591878,16	7773212,78	23/03/2019	0,25	12,7	152	14,1	29,6	25,2	93,9	25,3	36342	10220	0,1	37,3	59
POLÍCIA FEDERAL, 2019	52	extravasamento	Brumadinho, MG	591879,49	7773207,13	23/03/2019	0,87	11,1	132	15,2	26,6	20	71	23,7	35888	8596	0,08	31,4	47,7
POLÍCIA FEDERAL, 2019	53	dique	Brumadinho, MG	591754,81	7775134,41	23/03/2019	1,06	2,52	59,2	15,3	19,1	13,2	22,3	13,2	37218	4965	<0,05	29,4	28,3
POLÍCIA FEDERAL, 2019	54	barragem	Brumadinho, MG	591849,13	7774981,62	23/03/2019	1,85	14,6	125	14	26,4	20	73,2	22,3	36244	8225	0,08	30,7	48,5
POLÍCIA FEDERAL, 2019	57	barragem	Brumadinho, MG	591932,9	7774928,17	23/03/2019	2,04	16,3	176	15	37,3	23,2	109	29,1	35539	12653	0,07	35,5	68,1

Valores de Prevenção da Resolução CONAMA 420/09: As (15 mg/kg) ; Ni (30 mg/kg); Cu (60 mg/kg); Cd (1,3 mg/kg). Valores de Investigação da Resolução CONAMA 420/09: Cd (3 mg/kg, Agrícola; 8 mg/kg, Residencial). Em vermelho estão os valores acima dos limites estabelecidos pela resolução Conama n° 420/09.

O laudo pericial também traz os resultados disponíveis na nota técnica denominada “Caracterização Geoquímica de Rejeitos – Composição Química Global, Análise Granulométrica e Classificação segundo a Norma NBR ABNT 10.004/200417”. Para construção desta nota foram utilizadas como base 45 pontos amostrais ao longo da sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão, realizadas pela VALE S.A e analisadas pela SGS Geosol Laboratórios Ltda.

Entre os principais resultados da nota técnica têm-se: 18, 13, 11 e 9 pontos amostrais (dos 45 totais) apresentaram concentrações de Cobalto, Arsênio, Cobre e Bário, respectivamente, acima dos Valores de Prevenção definidos pela Resolução CONAMA N° 420/2009. Além disso, 6 pontos amostrais apresentaram concentrações de Cobalto acima do Valor de Investigação Agrícola, definido na resolução CONAMA N°420/2009.

As amostras do laudo pericial e as apresentadas pela empresa VALE S.A., revelaram diferenças nas concentrações de alguns metais analisados. Comparando os resultados, pode-se observar uma concentração média de Arsênio e Cobalto, são 30% e 61%, maiores que nas amostras apresentadas pela VALE S.A. Para o Níquel, Cromo e Cádmio, foram encontrados concentrações 81%, 240% e 4300%, respectivamente, maiores nas amostras do laudo pericial que nas amostras coletadas pela empresa ré. Segundo os peritos, esses resultados podem estar relacionados aos métodos diferentes adotados. Os peritos federais utilizaram o método USEPA 3050B, que é o recomendado no anexo I da resolução Conama 420/2009, enquanto que os dados apresentados pela VALE S.A. foram realizados por outro método (ISO 11466.3), o que impede comparações com os valores de referência da legislação.

Para finalizar essa discussão, ainda foram pedidas análises adicionais de nove amostras coletadas pelos peritos em campo, ao Laboratório de Geoquímica e Água da Universidade Federal de Brasília (UnB). Se comparadas aos resultados da Polícia Federal, os pesquisadores da UnB, identificaram concentrações de metais ainda mais elevadas. A concentração média de Arsênio, Níquel e Chumbo, foram 8%, 28% e 20% maiores nas amostras da UnB, respectivamente. Já o Cádmio apresentou valores 100% maiores nas amostras da UnB, que nos resultados da Polícia Federal.

Independente dos valores absolutos apresentados pelo laudo pericial, os peritos apontam que os dados discutidos convergem ao demonstrar que as concentrações de metais, em diferentes pontos, atingiram valores acima dos Valores de Prevenção e até mesmo Valores de Investigação, definidos pela Resolução CONAMA N°420/09. Segundo os peritos, esses dados revelam que o

rejeito não pode servir como meio básico para sustentação da vida e de habitat para as pessoas, plantas e organismos vivos, portanto, não pode servir como meio de produção ou como meio básico para ocupação territorial. **Para eles, o rejeito amostrado apresenta riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana.**

Por fim, os peritos apontam que a nova superfície condicionou toda água superficial da sub-bacia da Mina do Córrego do Feijão, que drenando continuamente em direção ao rio Paraopeba aumentou a propagação dos impactos ambientais. Para os signatários do laudo, se considerarmos a granulometria fina desse material, o que diminui sua velocidade de decantação na coluna de água e sua maior capacidade de associação a metais tóxicos, **os impactos da contaminação podem atingir áreas distantes ao longo da bacia hidrográfica do rio Paraopeba.**

3.2.1.b) Wolff, 2009. Caracterização de Rejeitos de Minério de Ferro de Minas da Vale.

Este estudo traz um compilado de análises mineralógicas de rejeitos de minério de ferro de nove diferentes processos de mineração realizados dentro das minas da empresa VALE S.A. Esse estudo foi realizado em 2009, e entre os rejeitos avaliados, dois tipos foram coletados na Mina do Córrego do Feijão. O primeiro tipo refere-se ao rejeito provenientes do processo de mineração de hematita (RH-CF) e o segundo proveniente do processo de mineração de itabirito (RIL - CF). Diferente de outros estudos de caracterização tecnológica do rejeito de minério de ferro, que são feitos com amostras coletadas na barragem, esse estudo analisou a polpa antes do armazenamento. Além disso, não foram realizadas análises de possíveis contaminantes.

Os resultados da caracterização mineral realizado por Wolff (2009), para o rejeito provenientes da Mina do Córrego do Feijão, indicam a presença de minerais compatíveis com a região e ao tipo de mineração realizada na Mina do Córrego do Feijão. Os minerais detectados foram: Hematita (Fe_2O_3), Goethita (FeO.OH), que juntos representam 81% do RH - CF e 68% do RIL - CF, além de Caulinita ($\text{Al}_2\text{H}_4\text{O}_9\text{Si}_2$), Quartzo (SiO_2) e em baixíssimas concentrações Talco, Muscovita, Magnetita e Gibbsita, o que também foram observados por outros estudos (GOMES, 2009).

A autora ainda observou que os rejeitos estudados da Mina do Córrego do Feijão apresentavam uma granulometria essencialmente ultrafina com D_{80} variando entre (0,010 mm

e 0,030mm), o que condiz com os dados levantados pelos peritos criminais (POLÍCIA FEDERAL, 2019a). No que se refere a análise química a autora encontrou altos teores de ferro, 46,5% para o RH - CF e 56,3% para o RIL - CF. Além disso, foram encontrados teores de Alumínio (entre 1,3 e 2%), Manganês (entre 1,1 e 4,6%) e Fósforo (entre 0,11 e 0,27%). Como o teor de fósforo e alumínio estavam associados a partículas mais finas, acredita-se que sua concentração é proporcional à presença de goethita.

Com base nas análises por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) , a autora observou que as partículas dos rejeitos analisadas não são esféricas. Essa característica cristalina, em consonância ao tamanho ultra fino das partículas, pode potencializar os processos de contaminação, visto que partículas menores possuem uma velocidade de decantação mais baixa, podendo ser carregadas por grandes distâncias e são cineticamente mais propensas à oxidação e a provável liberação de elementos químicos associadas a elas (KOSSOFF et al., 2012).

3.2.1.c) Gomes, 2009. Caracterização Tecnológica no Aproveitamento do Rejeito de Minério de Ferro.

Similar ao estudo de Wolff (2009), Gomes objetivou caracterizar o rejeito produzido pelo processo de beneficiamento de minério de ferro da Mina do Córrego, quanto à mineralogia, granulometria e quanto às concentrações químicas das substâncias. Porém, nesse estudo o rejeito foi coletado diretamente na barragem B-I, tanto na região de praia quanto na região de água. Foram feitos 17 furos amostrais, 10 em região de praia e 7 na região de água (Figura 65). Dos 17 furos amostrais, foram retiradas 251 amostras de rejeito. As quantidades de amostras por furo variaram entre 8 e 80 amostras, dependendo da profundidade, sendo uma amostra a cada metro de profundidade.

Assim como os demais levantamentos apresentados anteriormente, de acordo com a análise mineralógica observou-se a grande presença de hematita, goethita, martita e magnetita e os minerais de ganga, quartzo, gibbsita e caulinita. No que se refere a distribuição granulométrica, observou-se que 91,79% das partículas estão abaixo de 0,150mm e 58,81% abaixo de 0,045mm. Isso significa que a maior parte do rejeito é composto por partículas ultrafinas (argila/silte; Figura 66). Conforme pode-se observar houve uma predominância de

finos da parte aquosa da barragem e uma predominância de granulometrias mais grossas próximo ao maciço.

Figura 65: Localização dos furos de sondagens realizados por Gomes (2009) na Barragem B-I, da Mina do Córrego do Feijão.

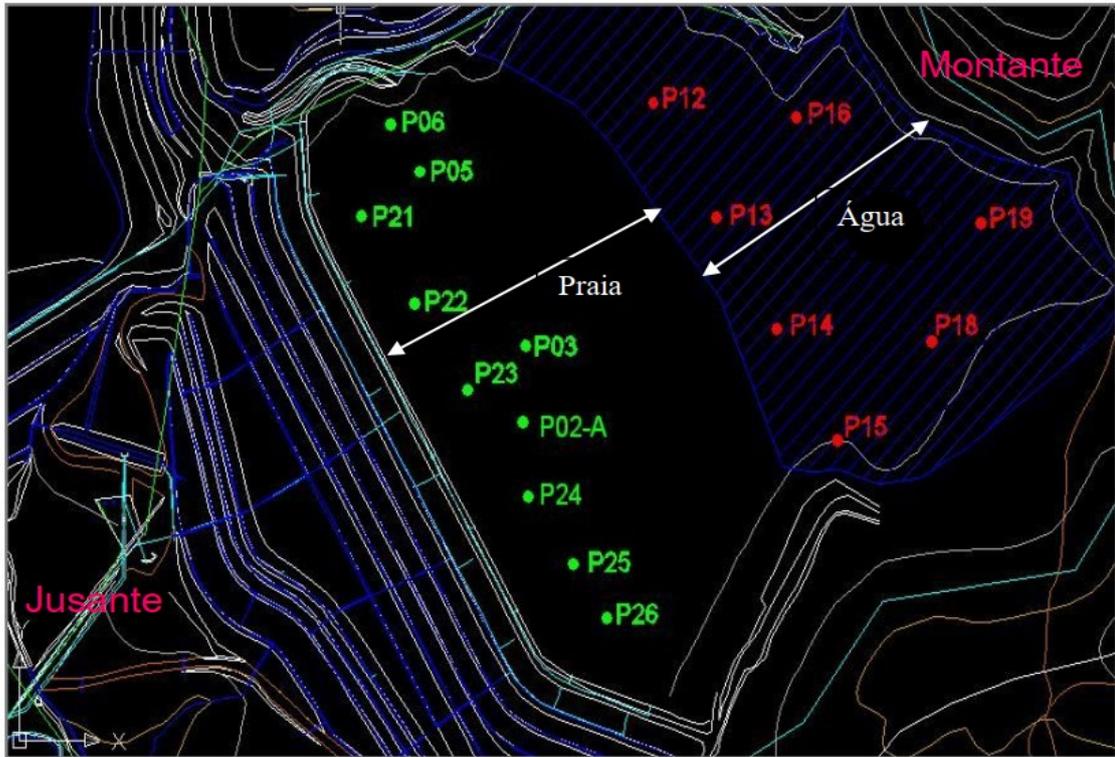
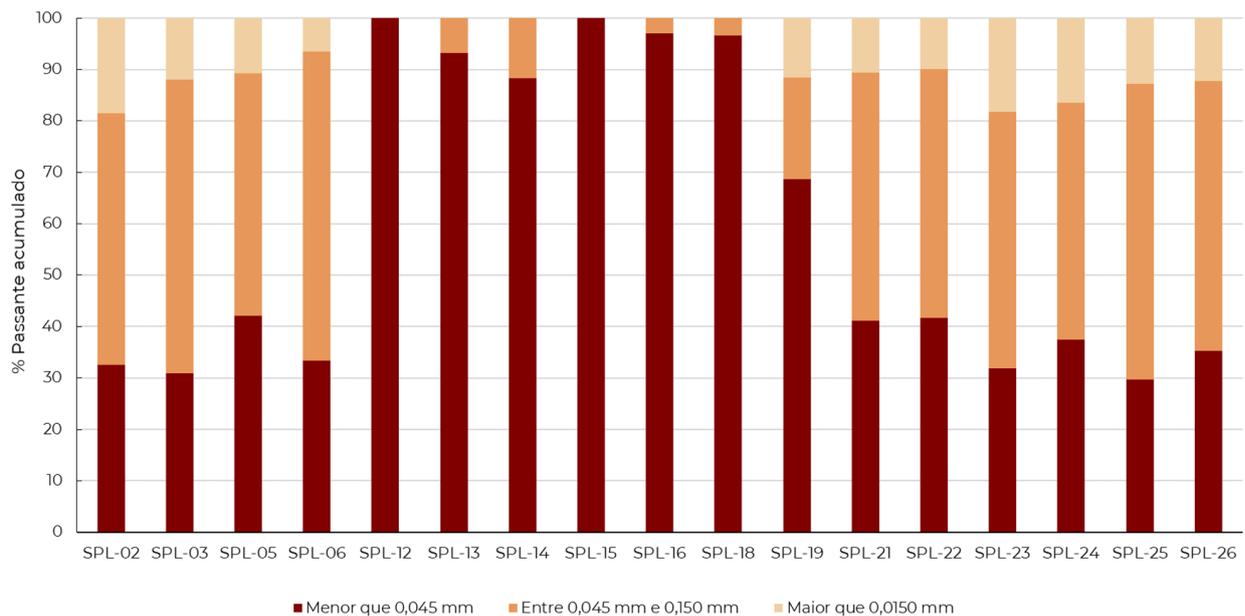


Figura 66: Resultados da análise granulométrica do rejeito de minério da Barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão apresentados por Gomes (2009).



Os teores de ferro variaram entre 34,80% e 60,78%. Os maiores teores de ferro foram encontrados próximo ao maciço da barragem. Os teores médios de sílica e alumínio foram de 20,58% e 3,19%, respectivamente. O autor ainda encontrou valores significativos de manganês (0,89 %) e óxidos de cálcio, titânio e magnésio. Assim como Wolff (2009), esse autor não realizou análises de possíveis contaminantes.

3.1.2 Análise integrada e considerações finais integradas

Diante do exposto nos três estudos apresentados pode-se concluir que o material residual proveniente da Mina do Córrego do Feijão apresenta uma gama de minerais. Isso acontece, pois, o processo de concentração mineral e retirada do minério de ferro não possui uma eficiência completa. Dessa forma o rejeito, possui uma composição mineralógica formada por hematita, quartzo, goethita, caulinita, martita, gibbsita e magnetita, em diferentes proporções. Esses resultados são condizentes aos encontrados em outros estudos (SILVA, et al., 2016; ARAÚJO, 2006), incluindo realizados no contexto da barragem de Fundão, em Mariana - MG (MORGENSTERN et al., 2016; INSTITUTOS LACTEC, 2017; GOLDR ASSOCIATES, 2016; PIRES, et al., 2003).

Quanto à análise granulométrica, observou-se que o rejeito da Mina do Córrego do Feijão é composto, em sua grande maioria, por partículas finas (< 0,063 mm). Essa característica aumenta o potencial poluidor desse rejeito visto que partículas mais finas, possivelmente ligadas aos óxidos de ferro (hematita e goethita), tendem a percorrer maiores distâncias, devido à baixa velocidade de decantação (KOSSOFF, et al. 2012; PEREIRA, et al., 2005). Desta forma, esse material mais fino só terá uma deposição significativa em áreas de menor velocidade de fluxo, podendo, após uma enxurrada e cheias, se espalhar nas margens formando um novo solo (DUARTE, et al. 2020). Além disso, partículas finas cristalinas, especialmente relacionadas à característica argilomineral da goethita, como presentes no rejeito estudado, tendem a complexar ou adsorver metais pesados e mobilizar ao longo das matrizes ambientais (GRIMALT, et al. 1999; COPPETEC, 2017).

Quanto a presença de contaminantes, observou-se que as concentrações de metais, em diferentes pontos da barragem e pontos atingidos pelo rompimento, possuíam valores acima dos Valores de Prevenção e até mesmo Valores de Investigação, definidos pela Resolução CONAMA N°420/09, e muito acima aos valores de referência definidos pela Deliberação

Normativa do COPAM, Nº 166/2011 para Minas Gerais. Esses resultados apresentam uma ameaça direta aos moradores das regiões onde houve a deposição superficial na bacia do ribeirão Ferro-Carvão e ao longo da bacia do rio Paraopeba, que recebeu consideráveis cargas de rejeito.

De qualquer forma, deve-se ter em mente que os contaminantes metálicos provenientes desse rejeito após serem emitidos para o ambiente, diferente de outros compostos metálicos, não desaparecem. Na verdade, sua transformação em compostos orgânicos e sais geralmente aumentam sua biodisponibilidade e toxicidade (KOSSOFF, et al. 2012). Assim, agentes biológicos e físicos, como chuvas e fluxos excessivos durante as cheias, poderão remobilizar e biodisponibilizar os contaminantes dos solos e sedimentos (DUARTE et al. 2020; DÁVILA, et al. 2020).

3.2 Água Superficial

a. Dados do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM)

Segundo a Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental nº 14/1995, o Rio Paraopeba está enquadrado como Classe 2 no trecho impactado pelo rompimento da barragem de rejeitos da mina do Córrego do Feijão (IGAM, 2019a). Na Tabela 20 apresentam-se os valores da Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG nº 01, de 5 de maio de 2008 para Classe 2.

O IGAM mantém desde 1997 um programa de monitoramento da qualidade da água ao longo do rio Paraopeba, compondo o que aqui se denominou “série histórica”. Logo após rompimento da barragem de rejeitos da Mina do Córrego do Feijão, o IGAM intensificou o acompanhamento da qualidade das águas ao longo do trecho do Rio Paraopeba afetado pelo rompimento, implementando um “programa emergencial de monitoramento” (IGAM, 2020a). Em resumo, o monitoramento no rio Paraopeba, no que se refere à Região 3, é realizado historicamente nas estações BP082 (1997-2020) e BP083 (1997-2020) (ANA, 2020) e de forma emergencial nas estações BP077 (2019-2020), BPE3 (2019-2020) e BPE4 (2019-2020) (FEAM, 2020), conforme descrito na Tabela 21.

Ressalta-se que o IGAM (2020a) denomina “Trecho 2” as estações BP072, BPE3, BPE4 e BP082 e como “Trecho 3” as estações BP083, BP077, BP078 e BP087. Alguns dos

municípios da Região 3 estão inseridos nestes “Trecho 2” e “Trecho 3”, a saber: Esmeraldas, Pará de Minas, São José da Varginha, Papagaios e Paraopeba (IGAM, 2020a).

Tabela 20: Padrão de águas doces (Classe 2).

PARÂMETRO	PADRÃO DE ÁGUAS DOÇES (CLASSE 2)	UNIDADE DE MEDIDA
Turbidez	100	UNT
Alumínio dissolvido	0,1	mg/L
Arsênio total*	0,01	mg/L
Cádmio total	0,001	mg/L
Chumbo total	0,01	mg/L
Cobre dissolvido	0,009	mg/L
Cromo total	0,05	mg/L
Ferro dissolvido**	0,3	mg/L
Manganês total	0,1	mg/L
Mercúrio total	0,0002	mg/L
Níquel total	0,025	mg/L
Zinco total	0,18	mg/L

*No caso do parâmetro arsênio total, deve-se observar o inciso IV do artigo 13 da Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 01/08, o qual determina que nas águas doces onde ocorrer pesca ou cultivo de organismos, para fins de consumo intensivo, o limite de arsênio total passa a ser 0,00014 mg/L

**Para o parâmetro ferro está previsto apenas sua forma dissolvida. Porém, foi constatado que a maior parte do ferro proveniente dos rejeitos da barragem B1 estão associados à sua fração total e não estão dissolvidos na água (IGAM, 2020a).

Fonte: MINAS GERAIS (2008)

Tabela 21: Estações pertencentes aos municípios da Região 3, sua distância até a Barragem B-1 e o início das coletas de amostra, após o rompimento.

ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	DISTÂNCIA ATÉ A BARRAGEM B1 (KM)	DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO	INÍCIO DA COLETA APÓS O ROMPIMENTO
BPE3	Esmeraldas	112,8	Rio Paraopeba a montante da captação de Pará de Minas	12/02/2019
BPE4**	Pará de Minas	115,9	Rio Paraopeba na captação de Pará de Minas	08/02/2019
BP082	Esmeraldas e São José da Varginha	123,1	Rio Paraopeba na localidade de São José, em Esmeraldas	27/01/2019
BP083	Papagaios e Paraopeba	192,4	Rio Paraopeba logo após a foz do Ribeirão São João em Paraopeba	27/01/2019
BP077	Papagaios e Paraopeba	203	Rio Paraopeba na captação da Copasa entre os municípios de Paraopeba e Papagaios	11/11/2019

**Estação desativada. Última medição realizada em 11/03/19.

Fonte: IGAM (2020a). Adaptado

A seguir, apresenta-se uma análise dos resultados obtidos do monitoramento histórico e emergencial realizado pelo IGAM (durante o período de 1997-2020 e 2019-2020, respectivamente), para os parâmetros turbidez, alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel e zinco.

Ressalta-se que a frequência de amostragem sofreu alterações ao longo do ano de 2019, sendo que nos primeiros 60 dias foi realizada em frequência diária. Porém, fatores como redução de variações nas concentrações dos parâmetros e períodos chuvosos determinaram alterações de frequência de amostragem.

3.2.1 Turbidez

De maneira geral, os maiores valores de turbidez foram registrados durante os 60 dias subsequentes ao rompimento (final de janeiro a abril de 2019) e no último trimestre do mesmo ano (período chuvoso). Porém, nos meses de outubro a dezembro foram também observadas violações frequentes do limite de turbidez para águas de classe 2 (100 UT) nos trechos 2 e 3. Isso demonstra a interferência das chuvas na qualidade das águas do rio Paraopeba, visto que o aumento do escoamento superficial e da vazão do rio contribuem para a remobilização do material depositado no leito, bem como novos aportes de rejeitos no rio Paraopeba (IGAM, 2020a).

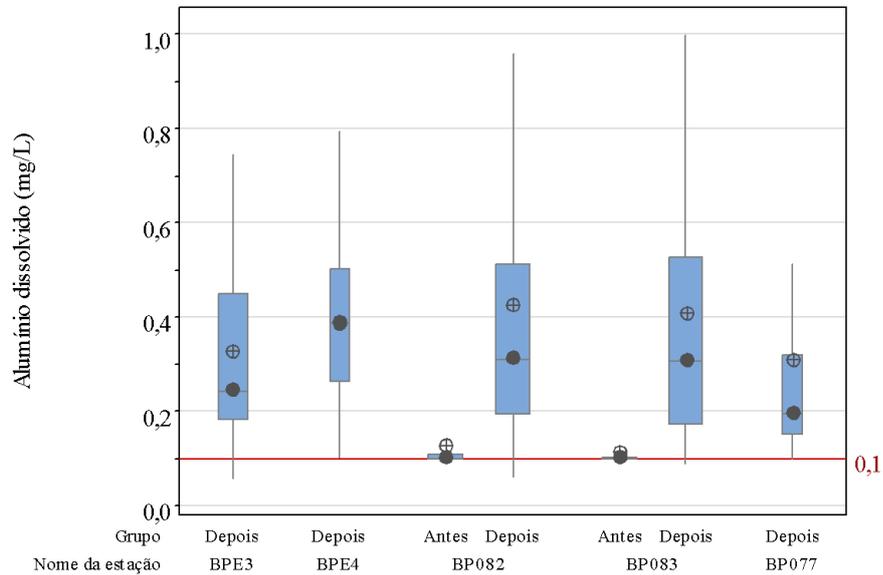
Foram ainda observados valores acima de 100 UT em todas as medições realizadas durante a primeira quinzena de abril. Porém, na segunda quinzena do mesmo mês os valores se mantiveram quase sempre abaixo do limite legal - a única exceção foi na coleta do dia 28/04 na estação BPE3 no município de Esmeraldas, cujo valor foi 444 UT (IGAM, 2020b). Nos meses de maio a agosto de 2020, período de estiagem, nenhuma amostra esteve acima do limite legal, sendo valor máximo (78,8 UT) registrado na estação BP083 (IGAM, 2020d).

3.2.2 Alumínio dissolvido

A entrada do alumínio em águas superficiais se dá por fontes naturais e antrópicas. A forma como o alumínio se apresenta nas águas sofre influência de fatores como pH, temperatura e presença de matéria orgânica. Além disso, a presença de alumínio dissolvido está fortemente relacionada às estações chuvosas e ao aumento da turbidez (CETESB, 2016).

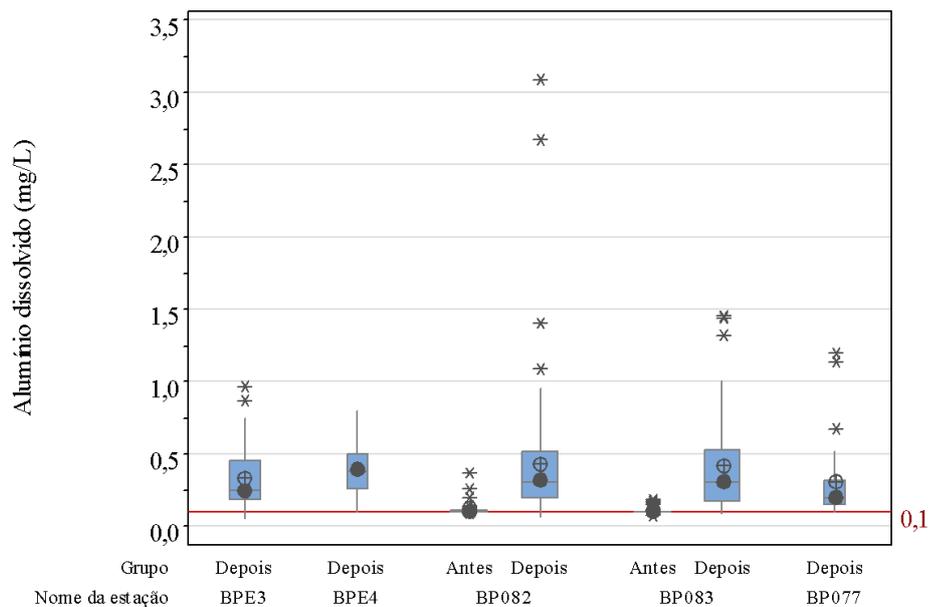
As Figuras 67 e 68 mostram a distribuição dos valores do alumínio dissolvido durante a série histórica e o monitoramento emergencial. A concentração máxima durante a série histórica foi igual a 0,36 mg/L (BP082) e 0,18 mg/L (BP083), valores próximos ao máximo permitido (0,1 mg/L). Após o rompimento da barragem B1, os valores máximos encontrados foram 3,08 mg/L (BP082) e 1,45 mg/L (BP083). Percebe-se também aumento dos valores médios em relação a série histórica.

Figura 67: Concentrações de alumínio dissolvido (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

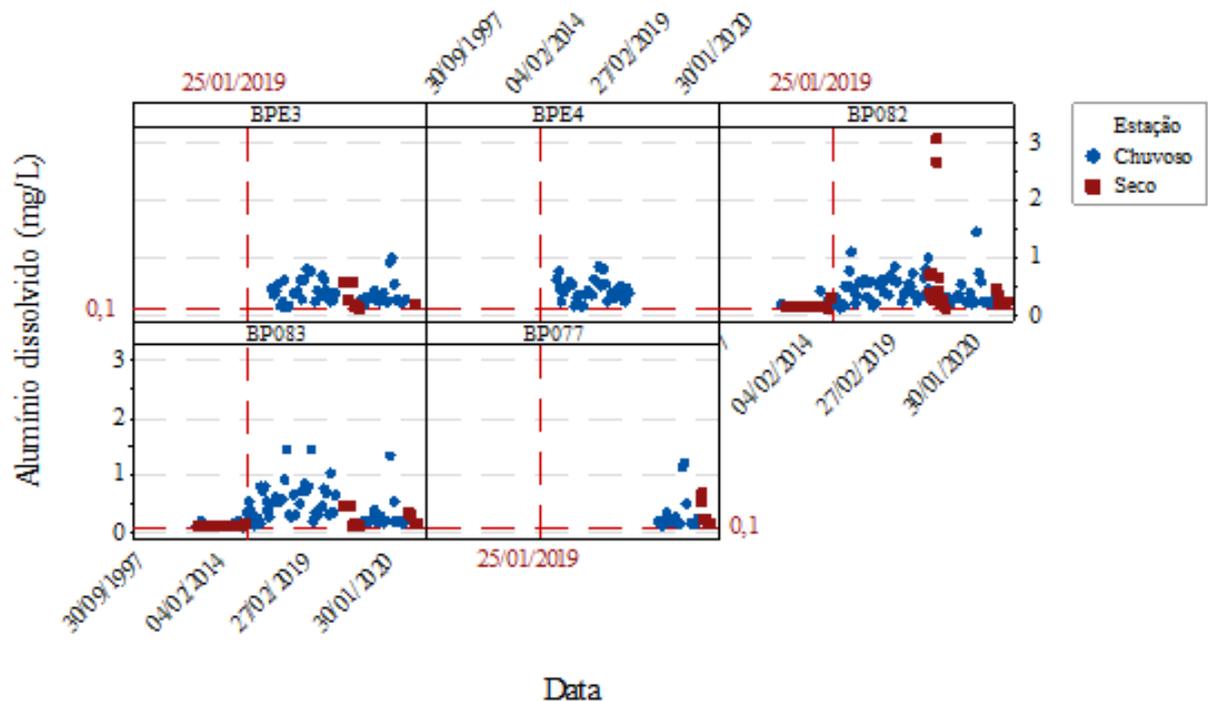
Figura 68: Concentrações de alumínio dissolvido (mg/L), com indicação de valores extremos, nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

Na Figura 69 se observa o aumento dos valores de alumínio dissolvido na estação chuvosa. A figura também expressa a elevação dos valores de alumínio dissolvido em todo o trecho do rio localizado na região, apresentando o maior valor de média de 0,42 mg/L na estação BP082. Em maio de 2019 foram registradas precipitações pluviométricas atípicas na bacia do rio Paraopeba naquela época do ano (IGAM, 2019b), o que pode explicar a elevada concentração de alumínio dissolvido no período seco da estação BP082 (3,08mg/L).

Figura 69: Distribuição espaço-temporal de alumínio dissolvido (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

3.2.3 Ferro dissolvido

Devido à estrutura geológica de solos encontrados em diversas regiões do país, a ocorrência de concentrações elevadas de ferro em águas superficiais brasileiras não é incomum. Além disso diversos outros fatores podem influenciar nas concentrações de ferro nas águas superficiais, como a presença de matéria orgânica, o carreamento de solos, evidenciado

principalmente nas épocas de chuvas, à ocorrência de processos de erosão das margens dos rios e ações antrópicas, como atividades minerárias.

As Figuras 70 e 71 mostram as concentrações de ferro dissolvido antes e depois do rompimento da barragem B1. Evidencia-se que a concentração média de ferro dissolvido após o rompimento da barragem (0,54 mg/L para as duas estações, BP082 e BP083) estão acima do valor máximo permitido pela legislação (0,3 mg/L), fato esse que não se percebia antes do rompimento, em que as concentrações médias eram iguais a 0,24 mg/L (BP082) e 0,17 mg/L (BP083).

A Figura 72 apresenta a distribuição espacial e temporal da concentração de ferro dissolvido ao longo das estações de coleta da Região 3. Nas estações BP082 e BP083 é possível perceber aumento da concentração de ferro dissolvido após o rompimento da barragem B1, tanto no período chuvoso quanto no período de seca. Em escala espacial é possível notar a redução da concentração de ferro dissolvido na estação localizada na Região 3 que fica mais distante da barragem B1 (BP077). Ainda assim, 70% das amostras dessa estação apresentam concentrações acima do valor máximo permitido.

Figura 70: Concentrações de ferro dissolvido (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).

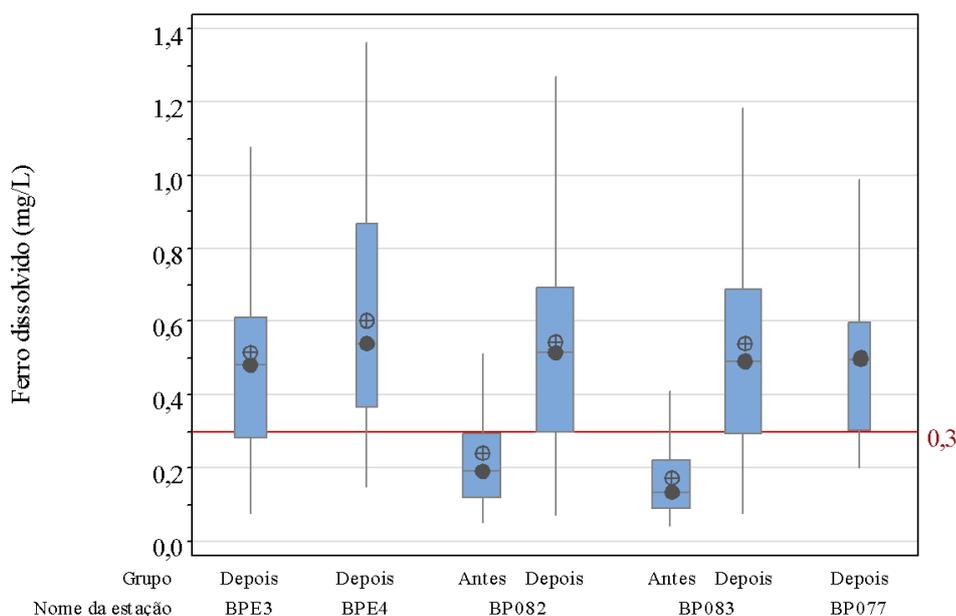
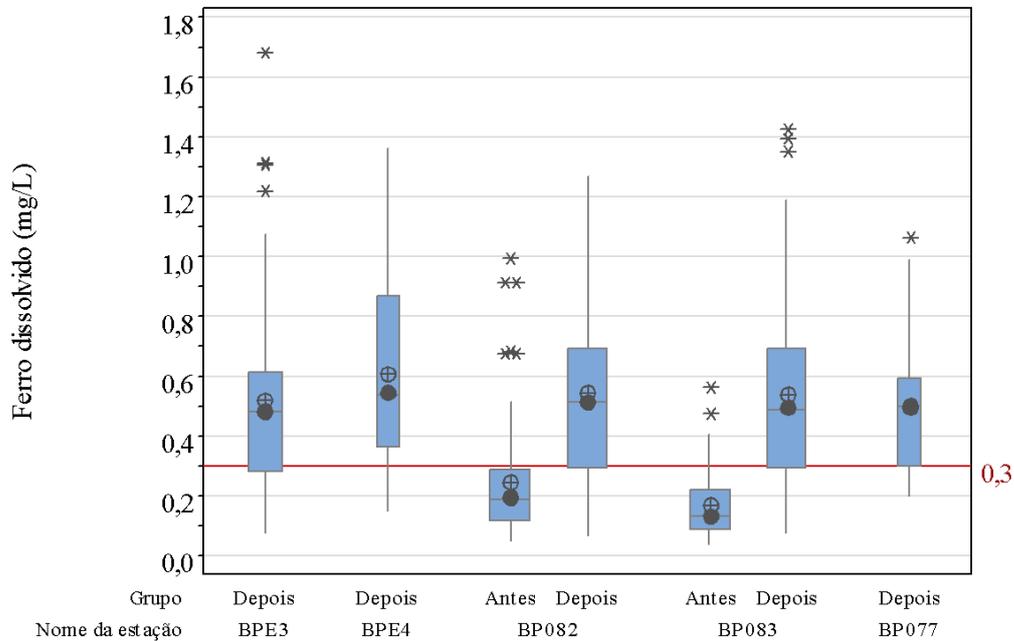
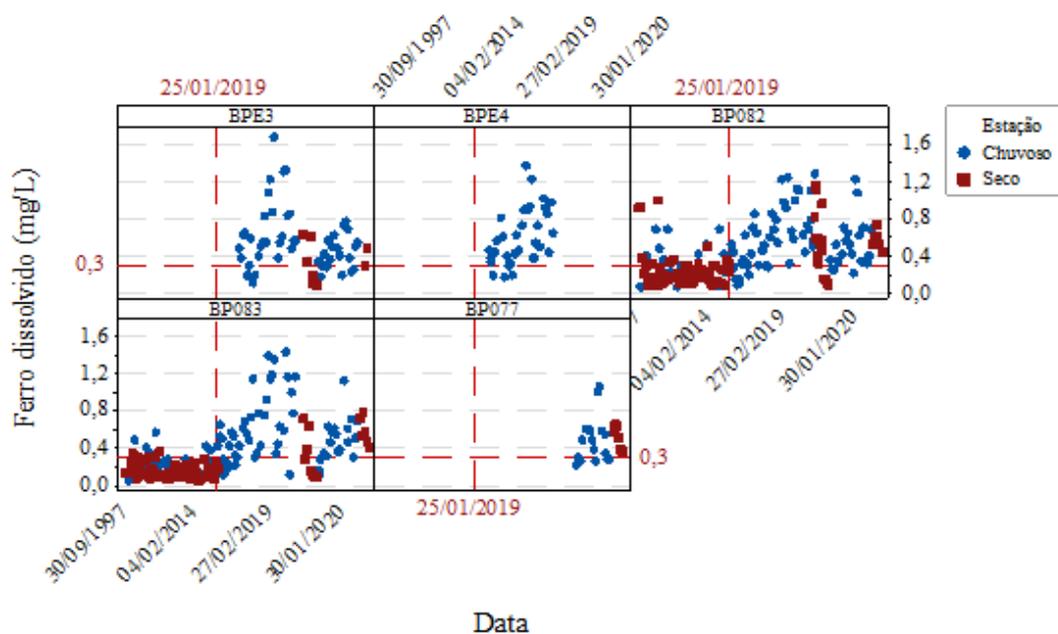


Figura 71: Concentrações de ferro dissolvido (mg/L), com indicação de valores extremos, nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



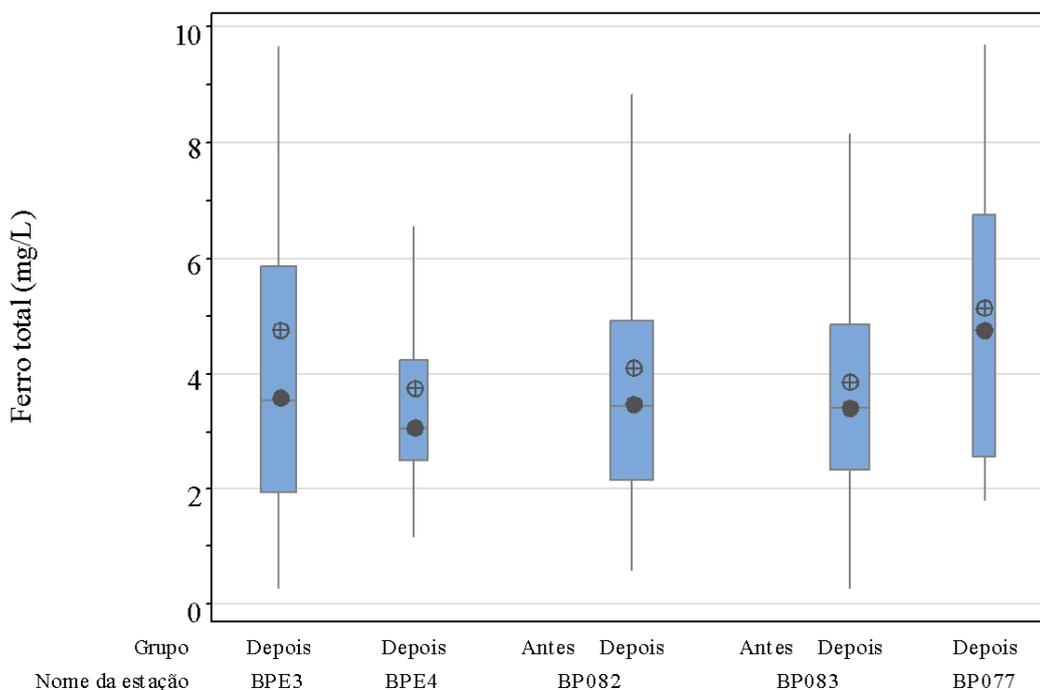
Fonte: IGAM (2020e).

Figura 72: Distribuição espaço-temporal de ferro dissolvido (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial)



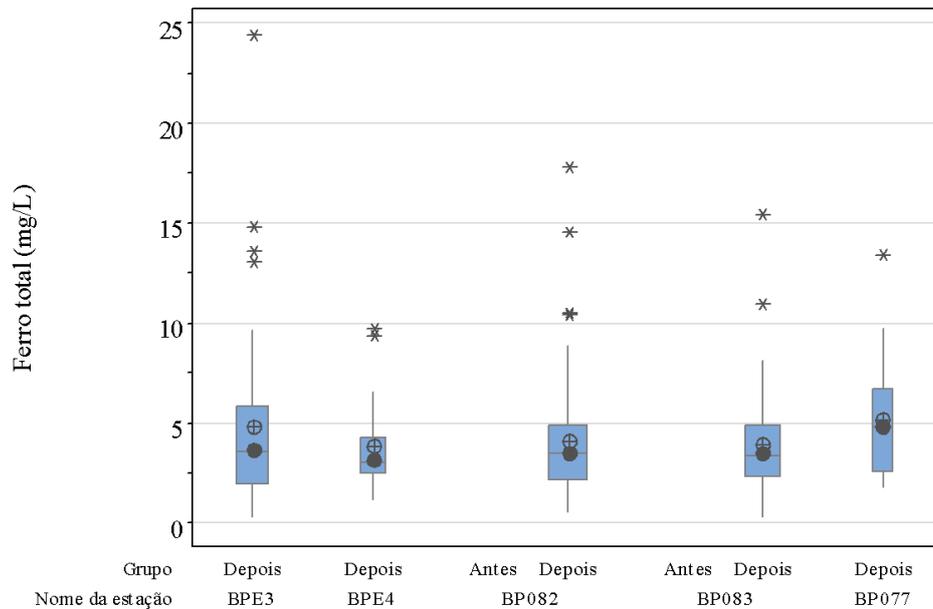
A Resolução COPAM/CERH-MG nº 01/2008 não determina valores máximos permitidos para o ferro total. Entretanto, esse parâmetro é um importante componente da turbidez pronunciada no rio Paraopeba. Percebe-se nas Figuras 73, 74 e 75 que a concentração média de ferro total permaneceu próxima a 5 mg/L em todas as estações de coleta da Região 3. Além disso, é perceptível o aumento dos valores de ferro total nas estações chuvosas.

Figura 73: Concentrações de ferro total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial)



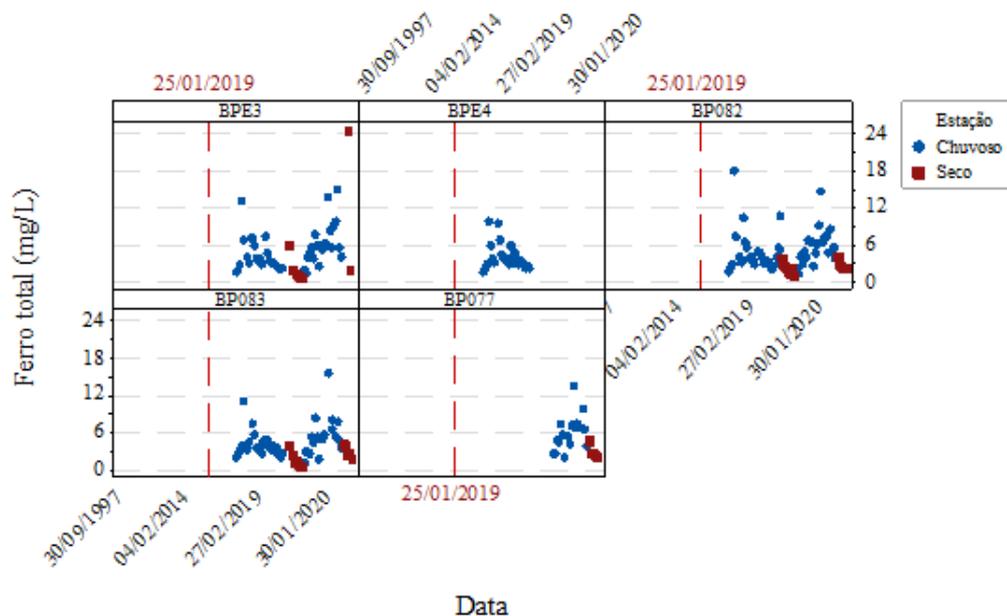
Fonte: IGAM (2020e).

Figura 74: Concentrações de ferro total (mg/L), com indicação de valores extremos, nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

Figura 75: Distribuição espaço-temporal de ferro total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



3.2.4 Manganês

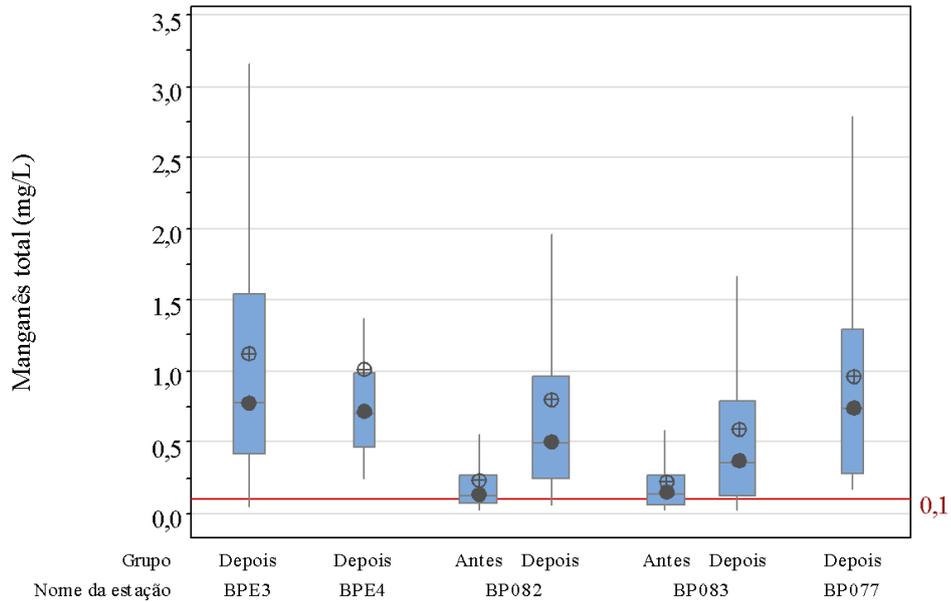
Assim como o ferro, a presença de manganês em águas superficiais pode estar associada a eventos de chuva. A concentração de manganês em águas superficiais é usualmente inferior a 0,2 mg/L e raramente atinge 1,0 mg/L (CETESB, 2016).

As Figuras 76 e 77 apresentam a distribuição espacial de manganês total no trecho do rio Paraopeba que está inserido na Região 3, antes e após o rompimento. De forma similar ao que foi observado para o ferro dissolvido, o manganês apresentou em sua série histórica concentrações médias iguais a 0,22 mg/L (BP082) e 0,21 mg/L (BP083), valores esses próximos ao limite máximo permitido pela legislação (0,1 mg/L). Após o rompimento da barragem B1, a concentração desse metal apresentou aumento de 2 a 3 vezes em relação aos valores da série histórica: 0,79 mg/L na estação BP082 e 0,59 mg/L na estação BP083. Além disso, o valor máximo observado foi de 7,45 mg/L (BP082), muito acima do citado pela CETESB (2016) como usual para águas superficiais naturais e aproximadamente oito vezes maior que a concentração máxima observada na série histórica (0,88 mg/L para a estação BP083).

A Figura 78 mostra a tendência da concentração do manganês aumentar com a estação chuvosa, permanecendo, porém, próxima ao valor máximo permitido pela legislação na estação seca.

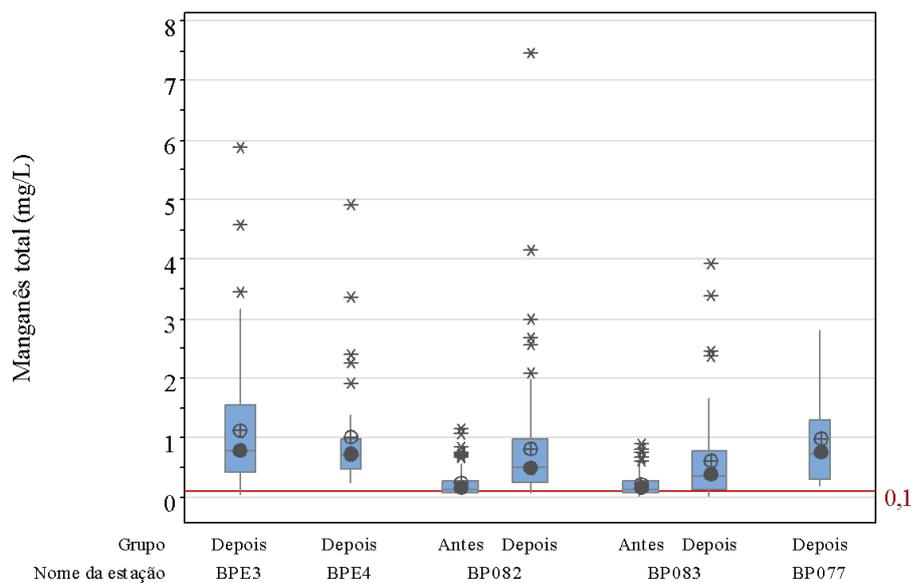
De acordo com IGAM (2020b), entre os meses de janeiro a abril de 2020 o manganês total apresentou maiores concentrações na água do rio a montante do município de Esmeraldas (estação BPE3). Nos trechos 2 e 3 foram observadas violações dos valores limites em todas as medições realizadas no mês de abril. No dia 28/04 foram quantificados os maiores valores de manganês e de ferro total do mês de abril na estação BPE3 (4,6 mg/L e 24,3 mg/L, respectivamente). Observa-se que este evento coincide também com o maior valor de turbidez registrado nos trechos 2 e 3.

Figura 76: - Concentrações de manganês total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial)



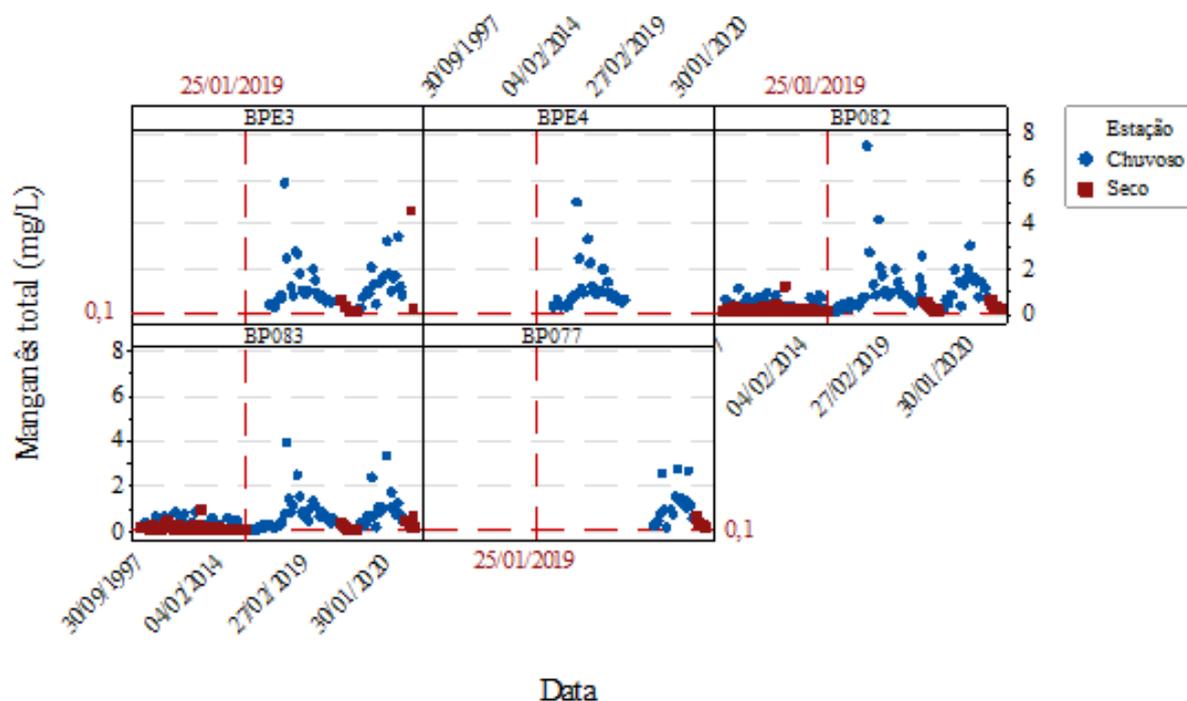
Fonte: IGAM (2020e).

Figura 77: Concentrações de manganês total (mg/L), com indicação de valores extremos, das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

Figura 78: Distribuição espaço-temporal de manganês total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



3.2.5 Arsênio

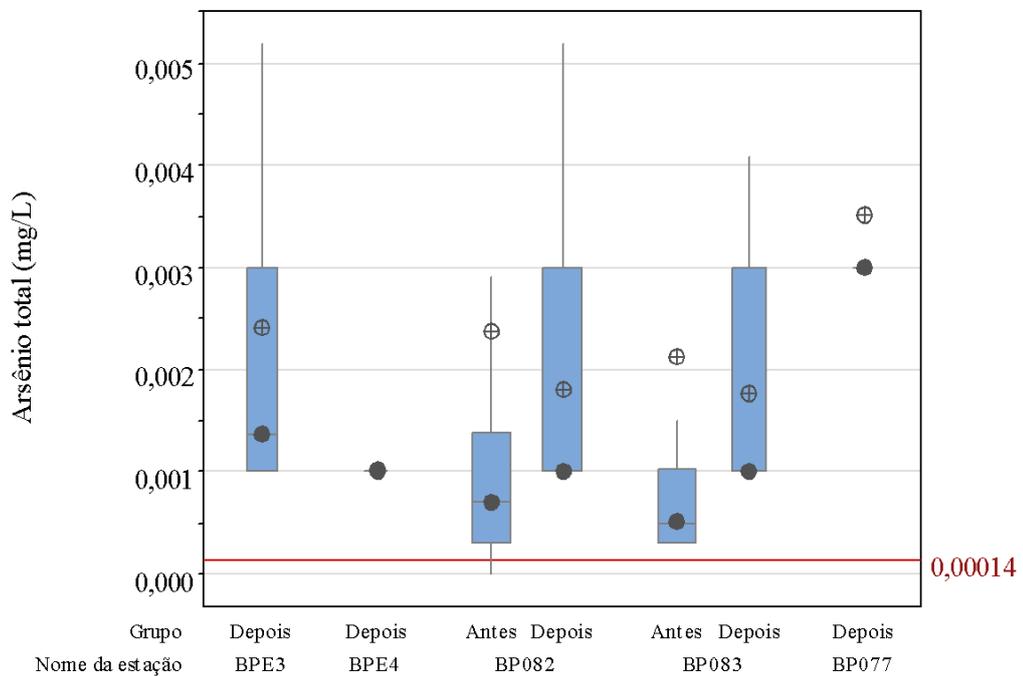
O arsênio é um elemento tóxico, amplamente distribuído no ambiente. Em corpos d'água, o arsênio é predominantemente encontrado no sedimento e sua dessorção para o meio líquido é controlada principalmente pelo pH. As concentrações de arsênio em águas superficiais variam amplamente, dependendo do ambiente geoquímico e do uso e ocupação do solo, sendo em geral menores que 0,01 mg/L e mais frequentemente menores que 0,001mg/L (SMEDLEY; KINNIBURGH, 2002).

A distribuição espacial e temporal do arsênio é apresentada nas Figuras 79, 80 e 81. Observa-se que, apesar de 40% das amostras terem apresentado concentrações inferiores aos limites de detecção dos métodos utilizados (0,0003 mg/L – até 2013 e 0,001 mg/L - atual), as concentrações médias estão acima do permitido pelo inciso IV do artigo 13 da Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG nº 01/08, que define o limite de 0,00014 mg/L. Além disso, percebe-se uma redução dos valores médios das concentrações de arsênio nas estações BP082 (0,0024 mg/L para 0,0018 mg/L) e BP083 (0,0021 mg/L para 0,0018 mg/L) após o rompimento,

enquanto as medianas dessas estações apresentaram aumento em seus valores, respectivamente iguais a: 0,0007 mg/L para 0,0010 mg/L e 0,0005 mg/L para 0,0010 mg/L.

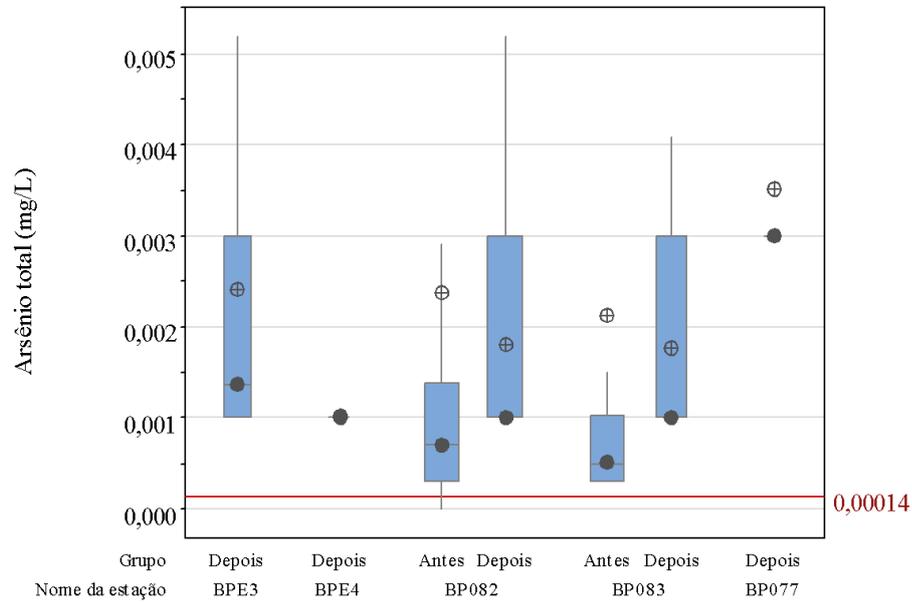
A Figura 81 mostra a tendência de aumento da concentração nas amostras de cada estação de coleta nos períodos de chuva e de redução nos períodos secos.

Figura 79: Concentrações de arsênio total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



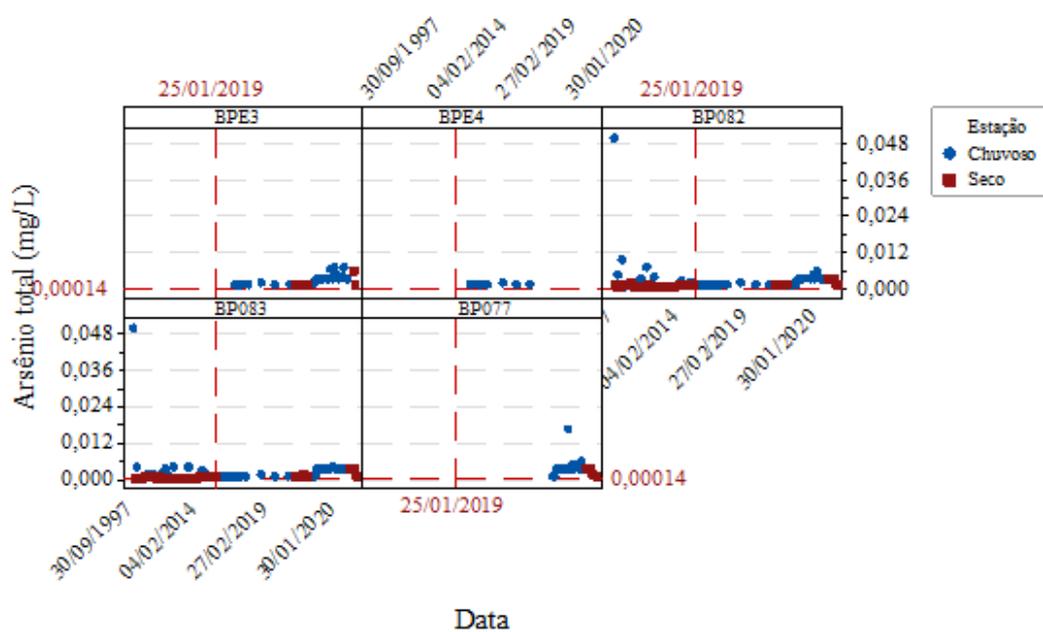
Fonte: IGAM (2020e).

Figura 80: Concentrações de arsênio total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

Figura 81: Distribuição espaço-temporal do arsênio total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



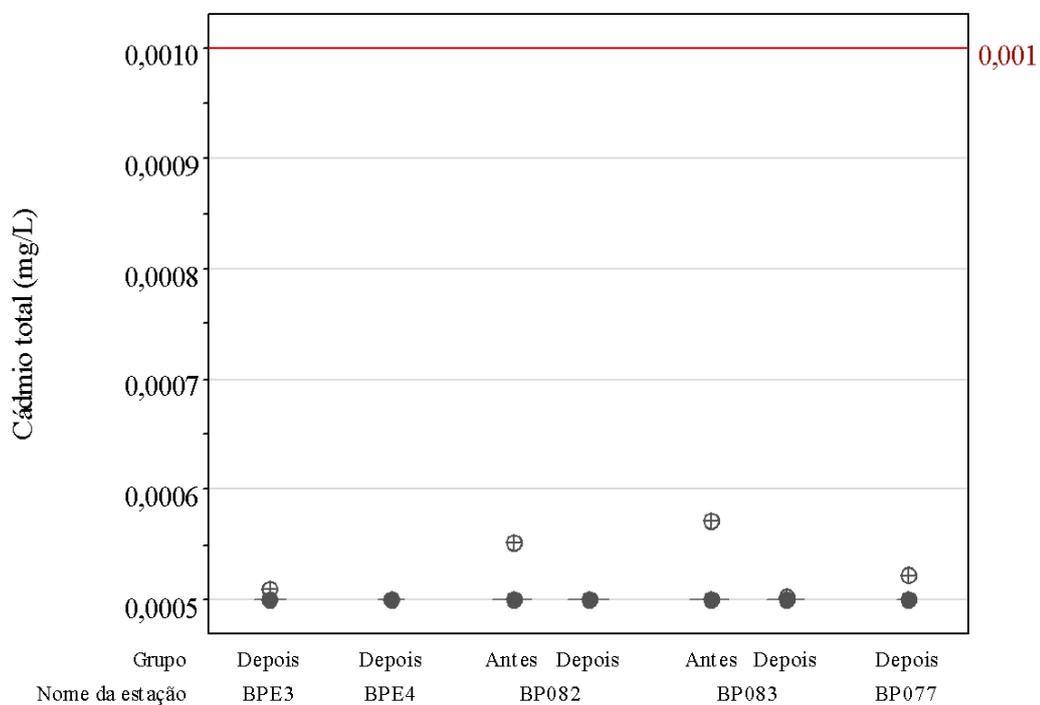
Fonte: IGAM (2020e).

3.2.6 Cádmio

O cádmio é um elemento altamente tóxico, cujas concentrações em águas não poluídas são, usualmente, inferiores a 0,001 mg/L (CETESB, 2016).

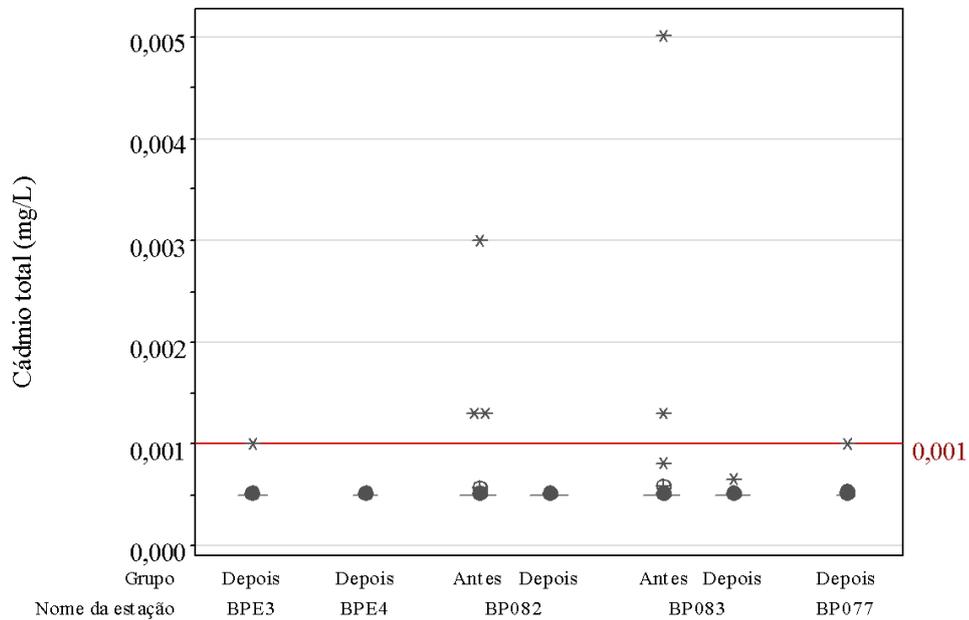
Nas Figuras 82, 83 e 84 são apresentados os valores espaciais e temporais de cádmio total obtidos do monitoramento histórico e emergencial no rio Paraopeba. Observa-se que 98% dos resultados obtidos desde o início da série histórica (BP082 e BP083) e do monitoramento emergencial (BP077, BPE3 e BPE4) estiveram em conformidade com o limite máximo permitido para a classe 2 (0,001mg/L) e abaixo do limite de quantificação (0,0005 mg/L). Os valores acima do limite máximo permitido indicados nas Figuras 82 e 83 (0,005 e 0,003 mg/L) referem-se ao início da série histórica, nas estações BP082 e BP083.

Figura 82: Concentrações de cádmio total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



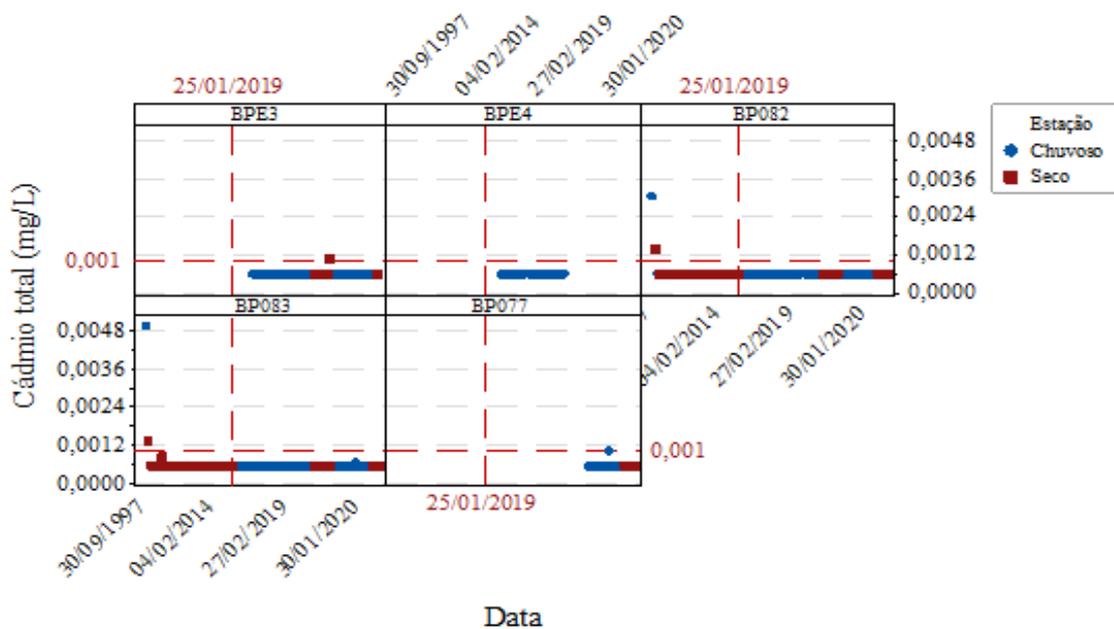
Fonte: IGAM (2020e).

Figura 83: Concentrações de cádmio total (mg/L), com indicação de valores extremos, nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

Figura 84: Distribuição espaço-temporal de cádmio total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

3.2.7 Chumbo

O chumbo é um elemento tóxico e que apresenta propriedades de bioacumulação. Foi amplamente utilizado em diversas áreas, porém, devido à sua toxicidade, vários usos têm sido interrompidos. A presença desse metal em águas superficiais pode se dar por ocorrência natural ou em decorrência de ação antrópica, por deposição atmosférica, lixiviação do solo e aporte de esgotos ou águas contaminadas (CETESB, 2016).

Nas Figuras 85, 86 e 87 são apresentadas as variações espaciais e temporais de chumbo total obtidas do monitoramento histórico e emergencial do rio Paraopeba. Observa-se que os valores médios de chumbo total estão dentro do limite máximo permitido (0,01 mg/L). Entretanto, antes do rompimento da barragem B1, 61% dos dados amostrados nas estações BP082 e BP083 ficaram acima do limite de quantificação do método (0,005mg/L), enquanto após o rompimento da barragem este percentual se elevou para 71%.

Na Figura 87 se percebe algum efeito das chuvas no aumento, mesmo que pequeno, das concentrações de chumbo total nas estações presentes na Região 3 do rio Paraopeba.

Figura 85: Concentrações de chumbo total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).

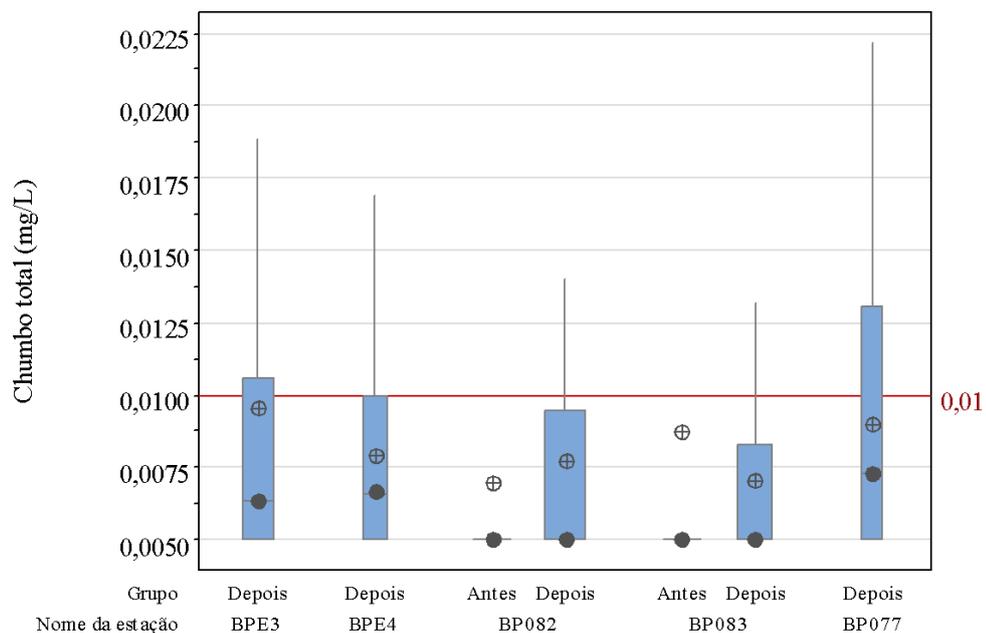
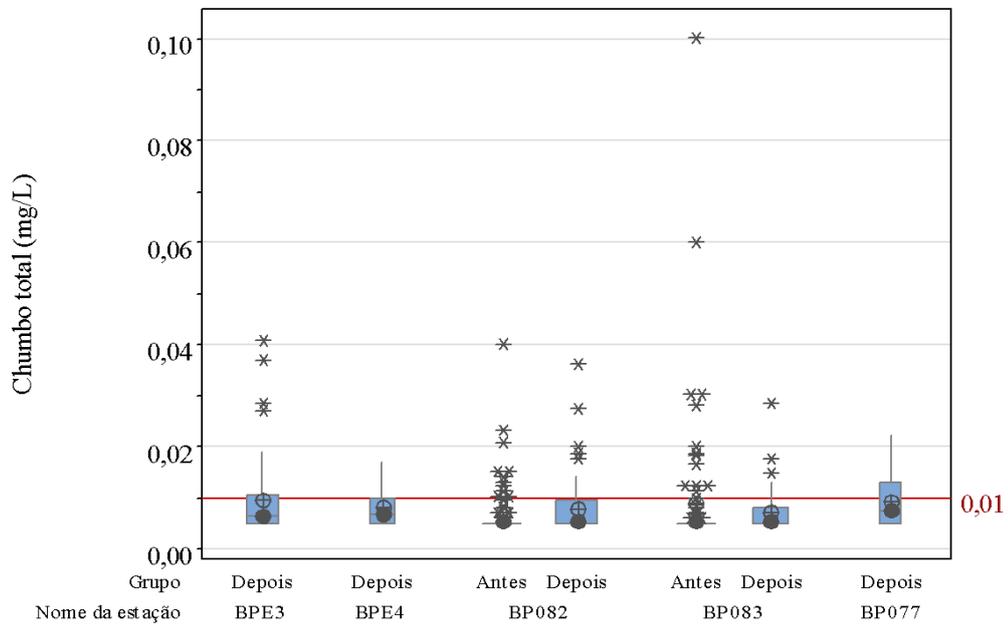
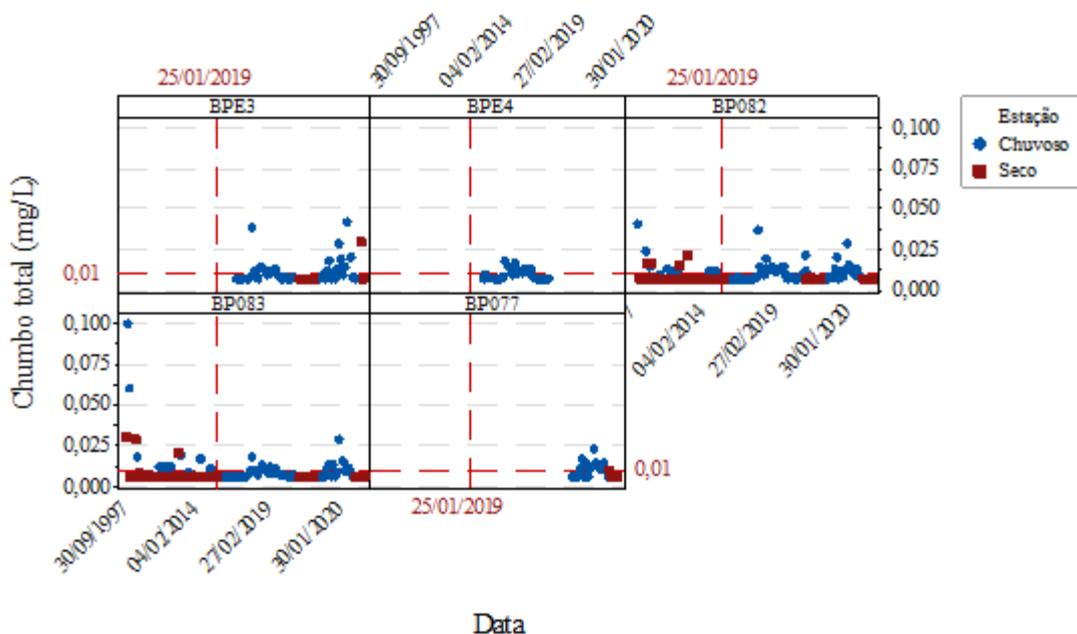


Figura 86: Concentrações de chumbo total (mg/L), com indicação de valores extremos, nas amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

Figura 87: Distribuição espaço-temporal de chumbo total (mg/L) nas amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



No estudo do IGAM (2020b), valores de chumbo total acima do limite de classe 2 foram observados nos trechos 2 e 3. No Trecho 2, em Esmeraldas, foi registrado um valor acima do máximo da série histórica (em 19/02/2019). Porém, o valor máximo da série histórica do IGAM indica que previamente ao rompimento da barragem esse elemento já havia sido detectado em concentrações superiores ao limite estabelecido para a respectiva classe de enquadramento.

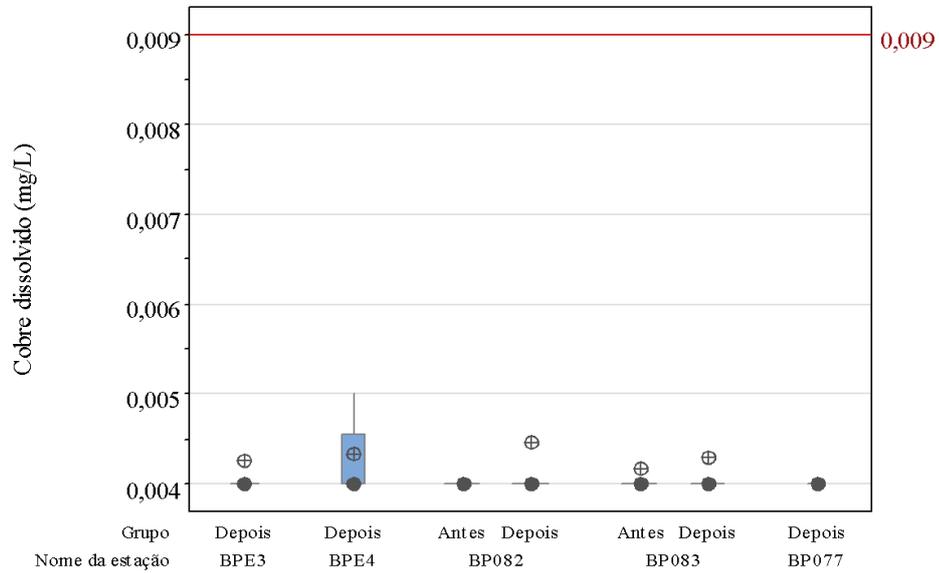
3.2.7 Cobre

O cobre é considerado um elemento traço essencial para algumas plantas e animais, porém em concentrações mais elevadas apresenta toxicidade, inclusive aos humanos. A presença do cobre em águas superficiais ocorre principalmente por ação antrópica, como corrosão de tubulações, minas de cobre ou de outros metais, efluentes de estações de tratamento de esgotos, uso agrícola do cobre e precipitação atmosférica de fontes industriais (CETESB, 2016).

Nas Figuras 88, 89 e 90 são apresentados as variações espaciais e temporais de cobre dissolvido, registradas no monitoramento histórico e emergencial no rio Paraopeba. Observa-se que as concentrações médias de cobre dissolvido nas estações da Região 3 estão dentro do limite máximo permitido pela legislação (0,009mg/L). Entretanto, antes do rompimento da barragem B1, 32% dos dados amostrados nas estações BP082 e BP083 se mantiveram acima do limite de quantificação do método (0,007 mg/L até 2004 e 0,004 mg/L, entre 2005 e 2020), percentual este que se elevou para 62% após o rompimento da barragem. A concentração máxima de cobre encontrada no rio Paraopeba no período considerado foi 0,031 mg/L (BP082), valor este encontrado após o rompimento da barragem e em período chuvoso.

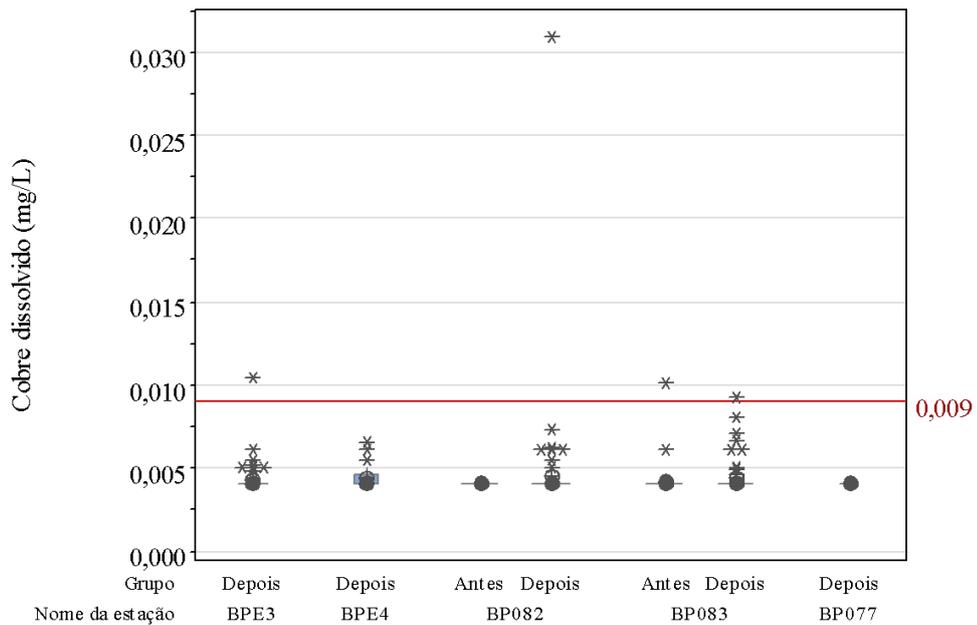
Na Figura 90 nota-se o efeito das chuvas no aumento, mesmo que pequeno, nos valores de cobre dissolvido nas estações inseridas no rio Paraopeba.

Figura 88: Concentração do cobre total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



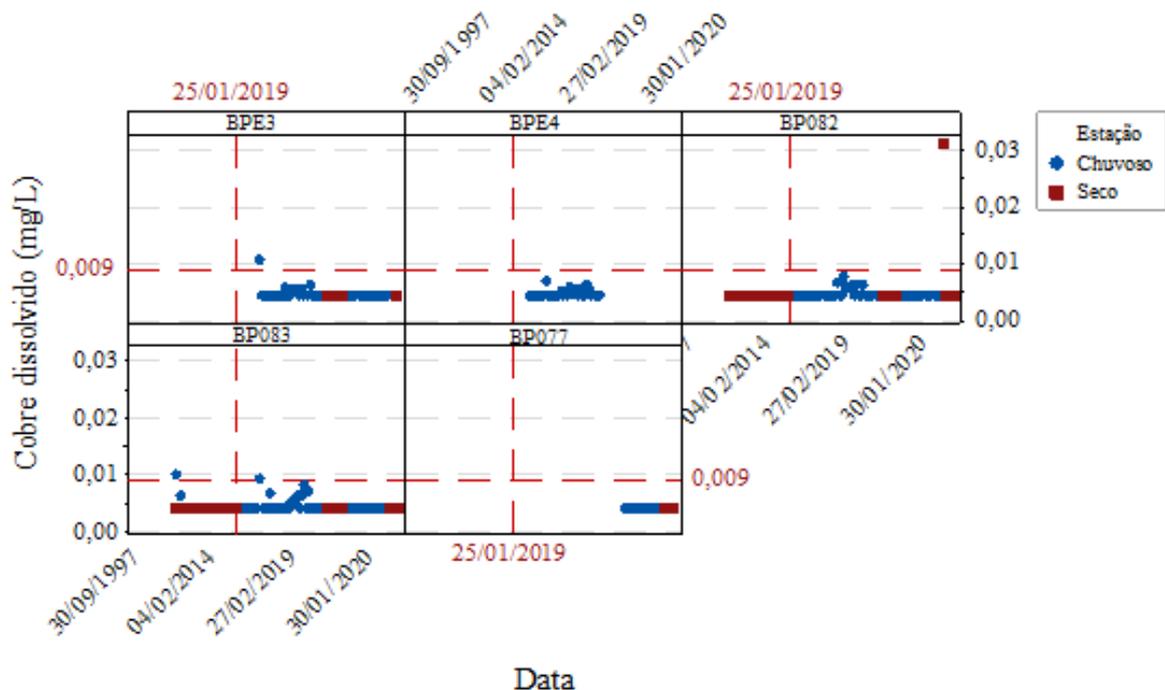
Fonte: IGAM (2020e).

Figura 89: Concentração do cobre total (mg/L) com valores extremos das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

Figura 90: Distribuição espaço-temporal do cobre total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

3.2.8 Cromo

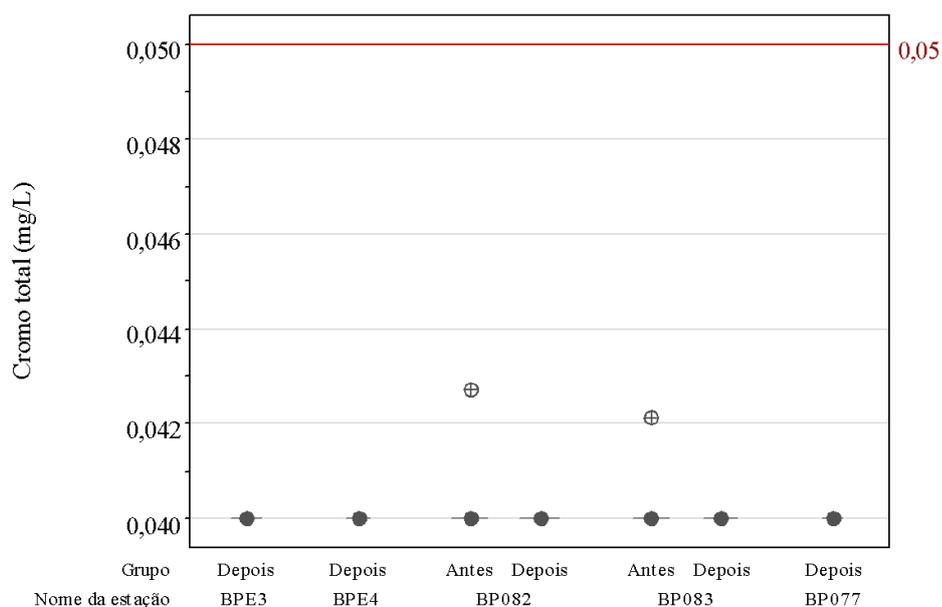
O cromo é um elemento não essencial para as plantas, mas é um elemento essencial para os animais. Em águas naturais pode existir na forma de cromo trivalente e hexavalente, sendo este último estado de oxidação tóxico e cancerígeno. Em geral, as águas superficiais contêm entre 0,001 e 0,01 mg/L de cromo (CETESB, 2016)

Nas Figuras 91, 92 e 93 são apresentadas as variações espaciais e temporais de cromo total, registradas no monitoramento histórico e emergencial no rio Paraopeba. Observa-se que os valores médios de cromo total para as estações presentes na região 3 estão dentro do limite máximo permitido (0,05 mg/L). A concentração máxima de cromo total observada nas estações inseridas na Região 3 do rio Paraopeba foi igual a 0,1 mg/L (BP082 e BP083) observada no início da série histórica. Para a série de cromo total, observa-se pouca variação da concentração ao longo da série histórica, ultrapassando o limite máximo permitido em 12% das amostras.

Esses valores correspondem ao período de 1998 a 2006 da série histórica. Durante esse período, percebe-se que houve uma redução da concentração do metal no rio. Esse padrão se manteve após o rompimento da barragem B1, em que nenhuma das amostras ultrapassou o limite mínimo de detecção do método (0,04 mg/L).

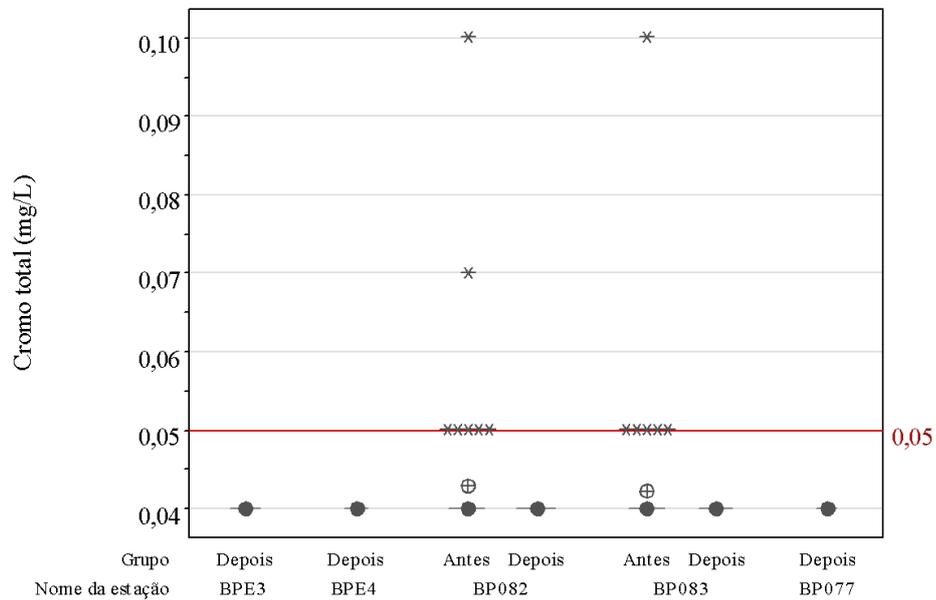
As baixas concentrações do cromo total presentes no rio Paraopeba são refletidas na Figura 93, em que não há variação da concentração do metal em relação aos períodos chuvosos e secos.

Figura 91: Concentração do cromo total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



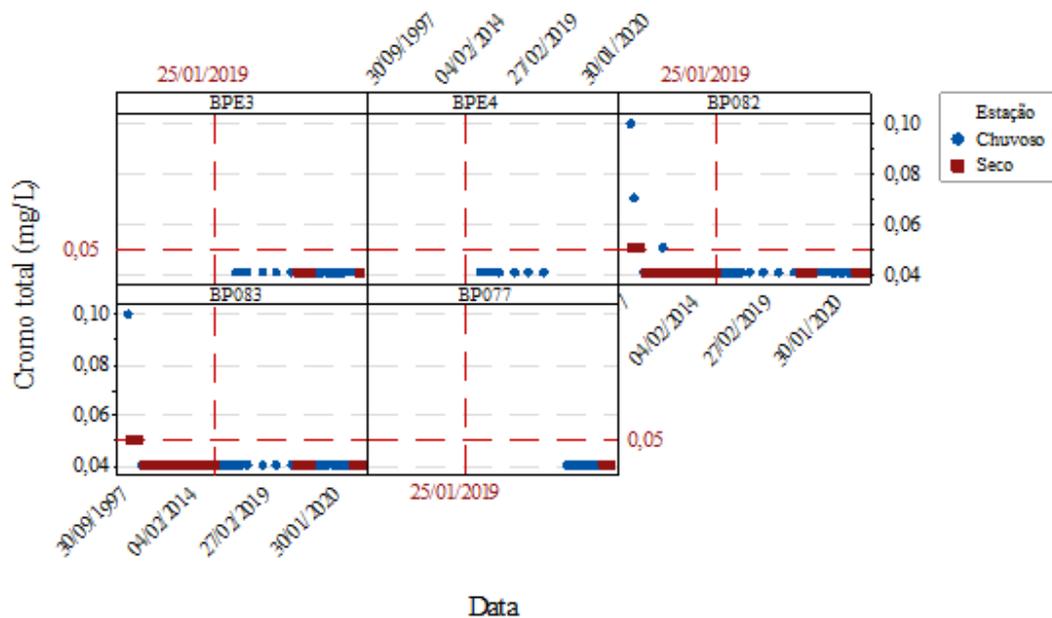
Fonte: IGAM (2020e).

Figura 92: Concentração do cromo total (mg/L) com valores extremos das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

Figura 93: Distribuição espaço-temporal do cromo total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



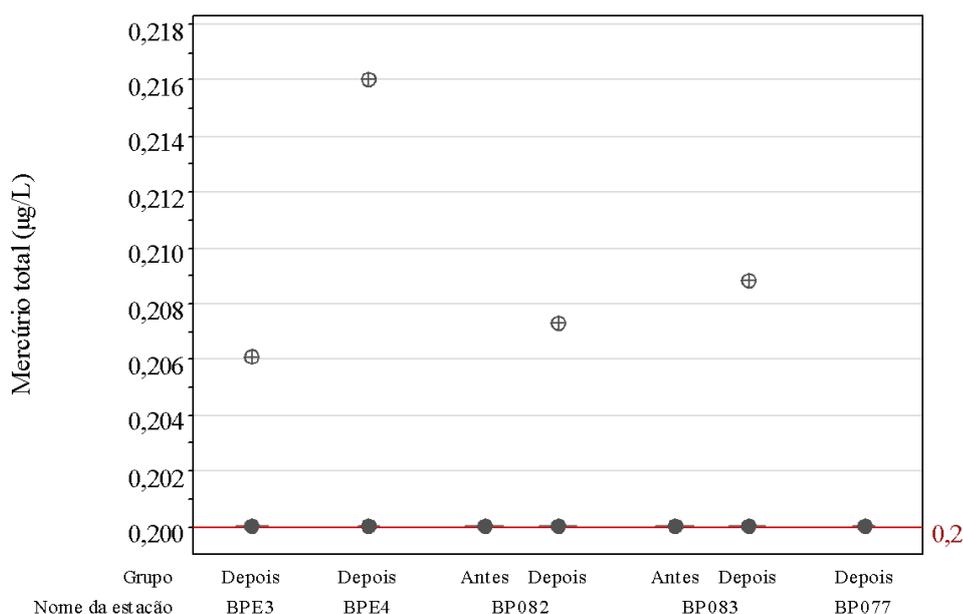
Fonte: IGAM (2020e).

3.2.9 Mercúrio

O mercúrio é um metal altamente tóxico ao ser humano, ocorrendo nos corpos d'água de forma natural ou decorrente de ação antrópica. Em águas superficiais tende a estar presente a forma inorgânica e em concentrações abaixo de 0,5 µg/L (CETESB, 2016).

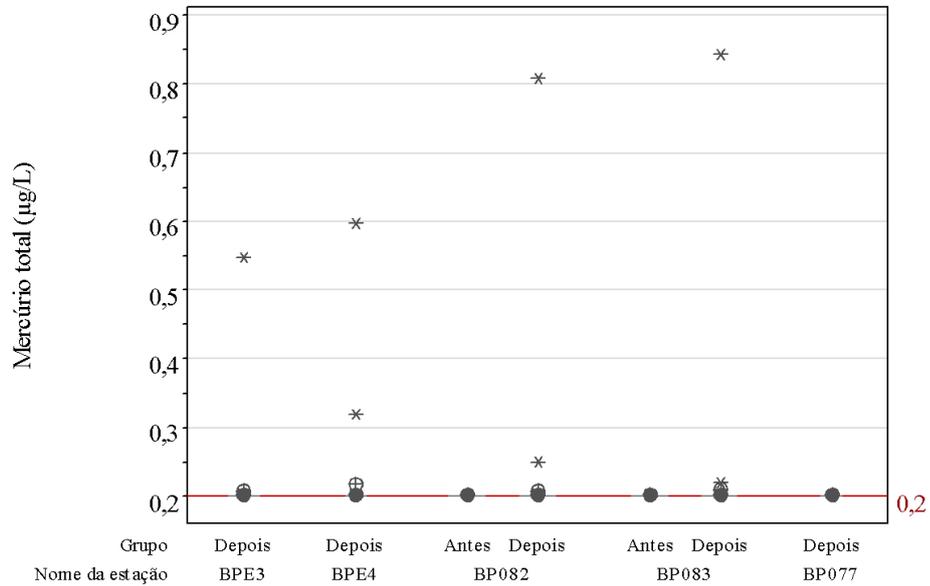
Nas Figuras 94, 95 e 96 são apresentadas as variações espaciais e temporais de mercúrio total - dados obtidos do monitoramento histórico e emergencial do rio Paraopeba. Observa-se que as concentrações médias de mercúrio total registradas nas estações de amostragem da Região 3 se apresentaram, quase sempre, abaixo do limite máximo permitido pela legislação (0,2 µg/L) e do limite mínimo de quantificação do método (0,2 µg/L). Porém, é possível observar que após o rompimento da barragem B1 a concentração máxima de mercúrio passou de 0,2 µg/L (BP082 e BP083) para 0,81 µg/L (BP082) e 0,84 µg/L (BP083). Por outro lado, apesar do aumento da concentração máxima, as concentrações médias pré e pós-rompimento da barragem permaneceram em valores próximos entre si.

Figura 94: Concentração do mercúrio total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



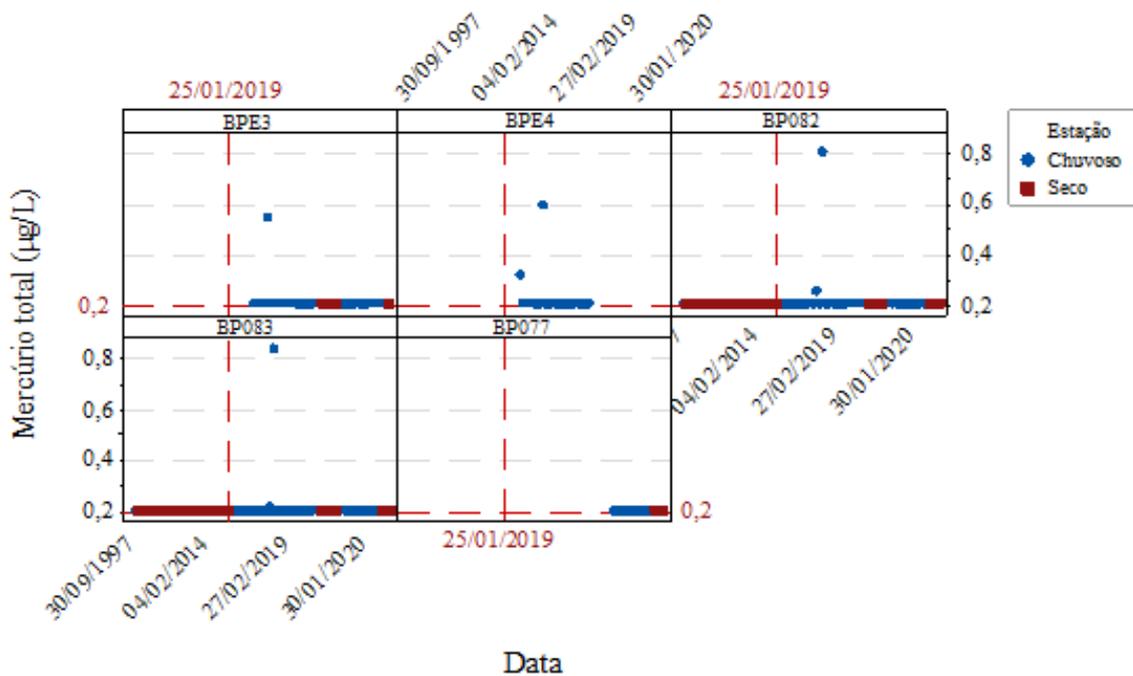
Fonte: IGAM (2020e).

Figura 95: Concentração do mercúrio total (mg/L) com valores extremos das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

Figura 96: Distribuição espaço-temporal do Mercúrio total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

3.2.10 Níquel

O níquel é um metal que em altas concentrações é tóxico às plantas, animais e ao ser humano. As maiores contribuições antrópicas para o meio ambiente são, entre outras: queima de combustíveis, mineração e fundição do metal, fusão e modelagem de ligas. As concentrações de níquel em águas superficiais naturais podem chegar a 0,1 mg/L, porém valores mais elevados podem ser encontrados em áreas de mineração (CETESB, 2016).

Nas Figuras 97, 98 e 99 são apresentados as variações espaciais e temporais de níquel total registradas no monitoramento histórico e emergencial nas estações de amostragem da região 3 do rio Paraopeba. Observa-se que os valores médios de níquel total estão dentro do limite máximo permitido (0,025mg/L). A concentração máxima encontrada foi de 0,087mg/L (BP083), sendo que este dado foi obtido antes do rompimento da barragem B1. Observa-se ainda que 62% das amostras analisadas apresentaram concentrações inferiores ao limite de detecção (0,0040 mg/L).

Na Figura 99 percebe-se uma pequena variação da concentração do níquel durante os períodos chuvosos, enquanto para os períodos secos observa-se a tendência dos valores em permanecer com concentrações mais constantes.

Figura 97: Concentração do níquel total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).

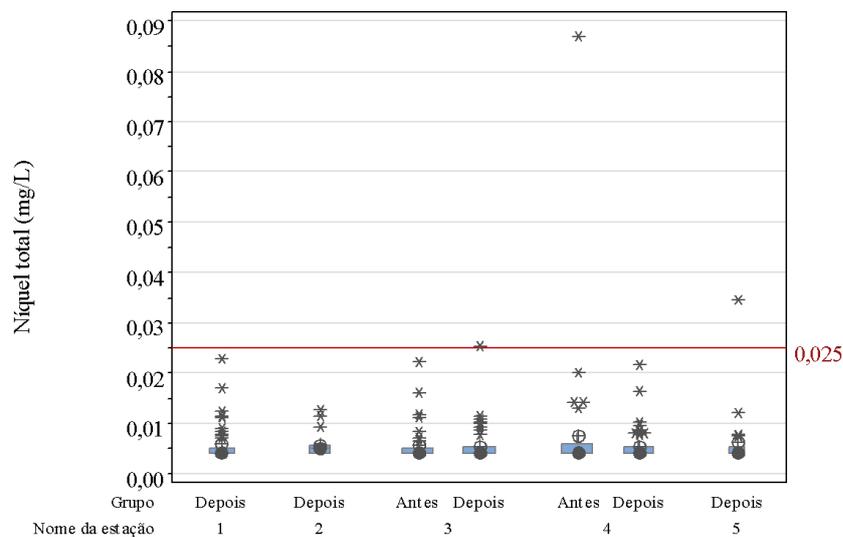
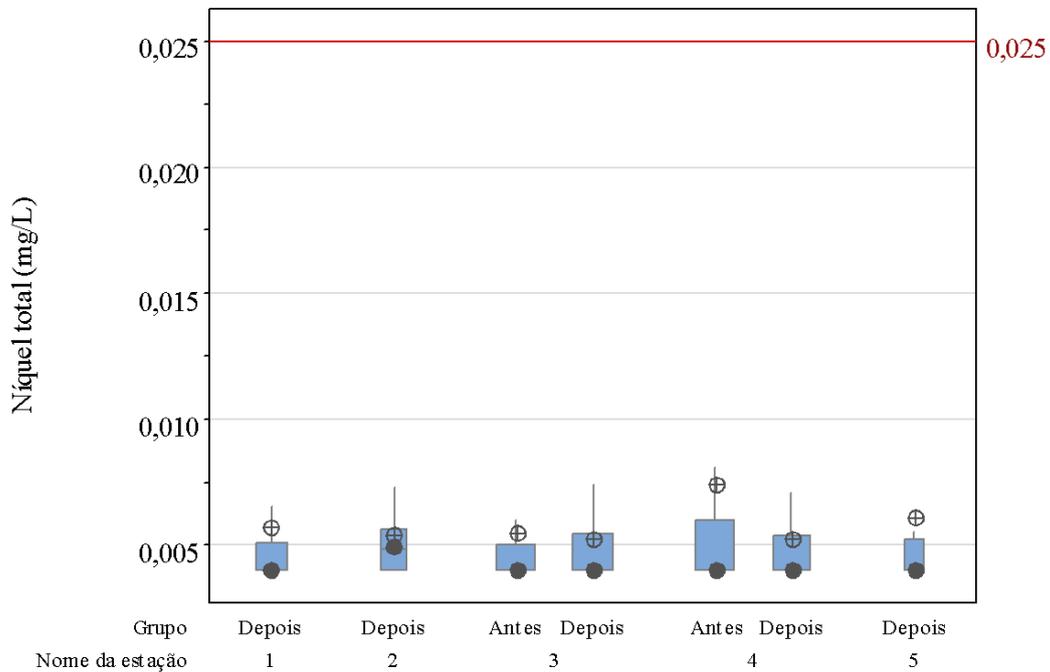
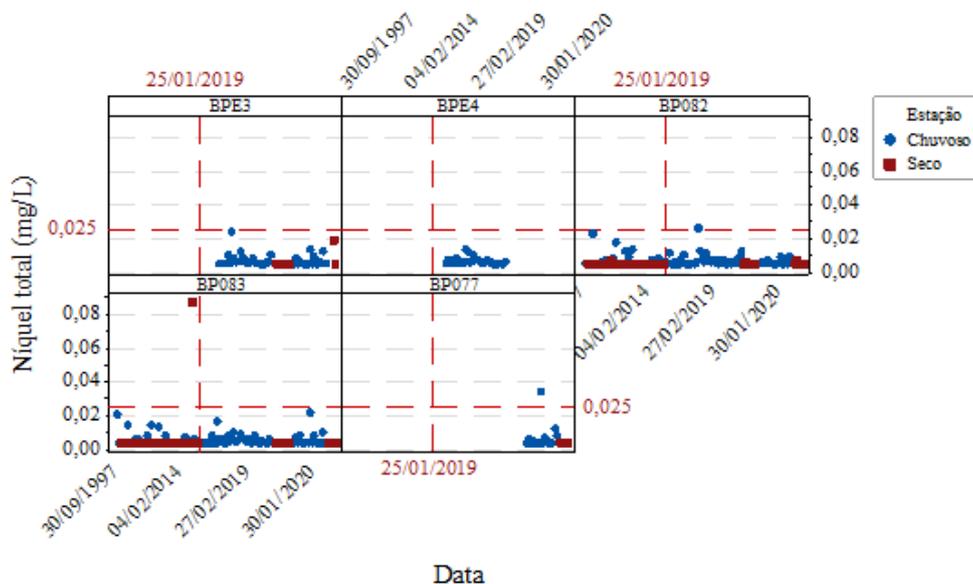


Figura 98: Concentração do níquel total (mg/L) com valores extremos das amostras coletadas nas estações localizadas na Região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

Figura 99: Distribuição espaço-temporal do Níquel total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

3.2.11 Zinco

O zinco, em pequenas quantidades, é um elemento essencial a muitos organismos. Porém, em concentrações acima de 5,0 mg/L, confere sabor à água e aparência leitosa; além disso, pode apresentar toxicidade, pois tende a se acumular em tecidos do organismo. Em águas superficiais, o zinco geralmente se apresenta em concentrações abaixo de 0,01 mg/L (CETESB, 2016).

Nas Figuras 100, 101 e 102 são apresentadas as variações espaciais e temporais de zinco total registradas no monitoramento histórico e emergencial do IGAM no rio Paraopeba. Observa-se que os valores médios de zinco total na região 3 estão dentro do limite máximo permitido (0,18 mg/L). Porém, a julgar pelos valores médios, praticamente não se nota diferença antes e após o rompimento da barragem.

De forma similar ao ferro e manganês, a ocorrência de zinco também parece ter sido influenciada por eventos de chuva (Figura 102) - percebe-se que há uma variação da concentração do metal apenas durante os períodos chuvosos.

Figura 100: Concentração do Zinco total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).

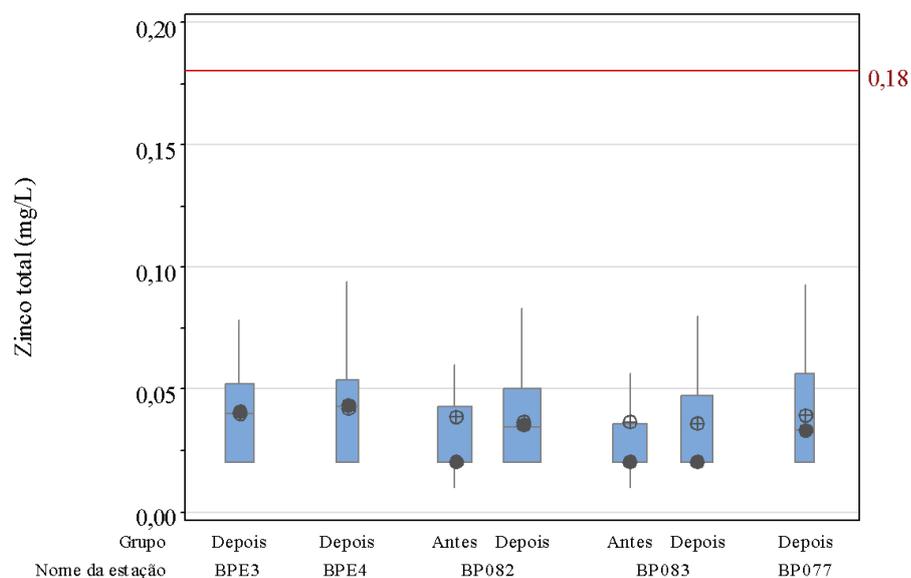
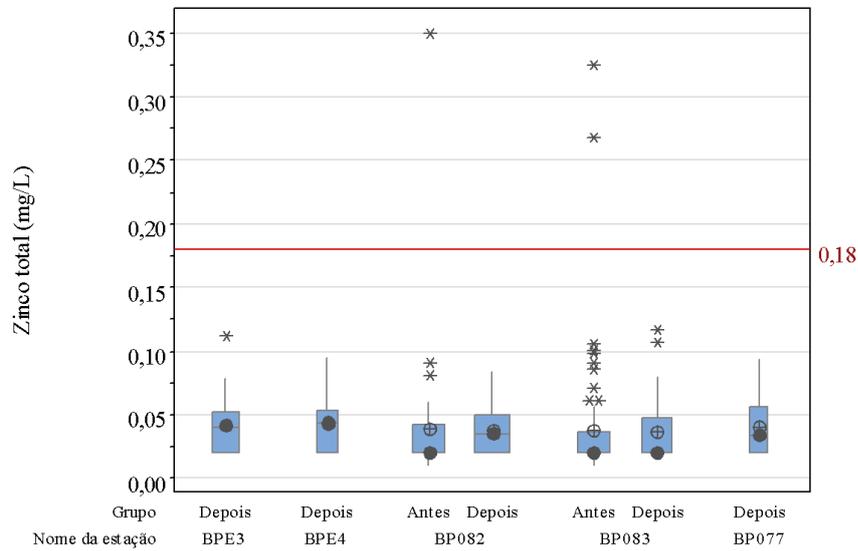
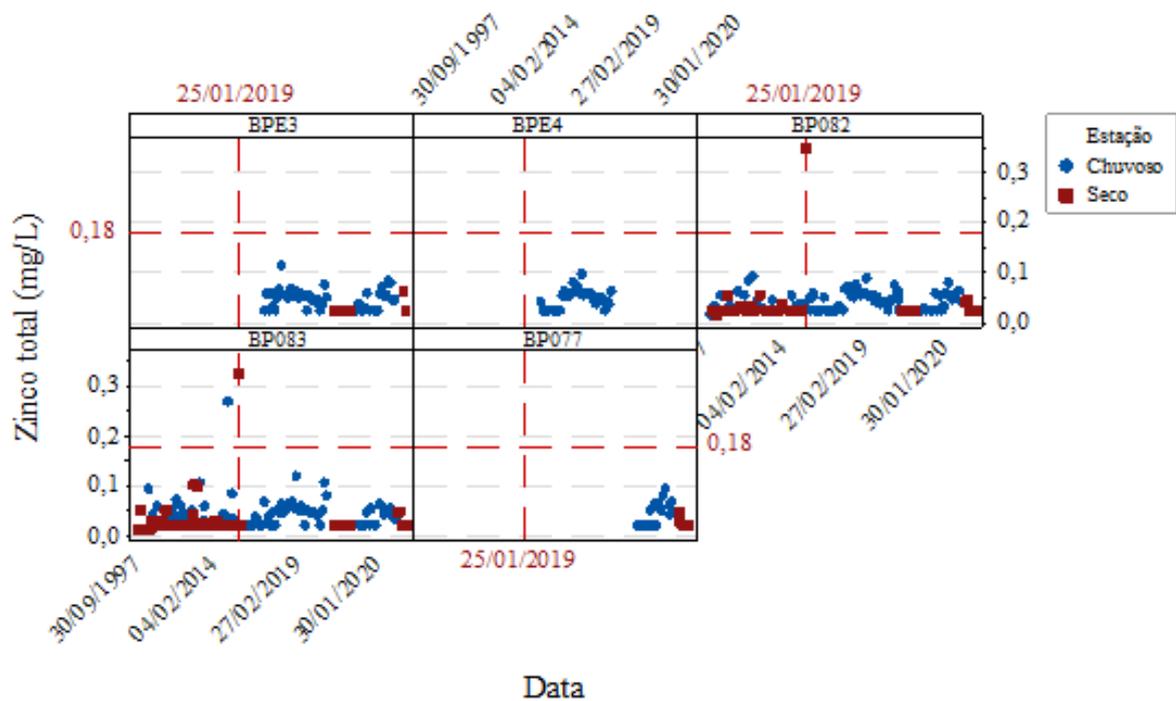


Figura 101: Concentração do Zinco Total (mg/L) com valores extremos das amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

Figura 102: Distribuição espaço-temporal do Zinco total (mg/L) das amostras coletadas nas estações localizadas na região 3 do rio Paraopeba, período 1997-2020 (série histórica) e 2019-2020 (monitoramento emergencial).



Fonte: IGAM (2020e).

3.2.12 Considerações finais acerca dos dados do IGAM

Ao se avaliar a série histórica dos dados de monitoramento do IGAM nas estações BP082 e BP083), percebe-se que espécies de maior potencial tóxico, como arsênio e mercúrio, apresentaram aumento em suas concentrações após o rompimento da barragem B1. O mesmo foi percebido para elementos que são essenciais à saúde humana mas que em excesso podem agir como contaminantes ambientais, como o cobre, ferro e zinco. Também foi verificado aumento considerável nas concentrações de alumínio, sobre o qual pesa a suspeita de ser um elemento relacionado a doenças neurológicas como mal de Alzheimer e mal de Parkinson. Outros metais considerados tóxicos, como o cádmio, cromo, chumbo e níquel, apareceram em baixas concentrações nas estações avaliadas.

No que se refere aos resultados de ferro dissolvido e total, alumínio dissolvido e manganês total, observou-se que a partir do rompimento da barragem B1 esses metais se apresentaram na água em valores muito superiores aos limites estabelecidos na Resolução COPAM/CERH-MG nº 01/2008. Apesar de ter sido notada redução temporal nas concentrações desses metais, suas concentrações ainda permaneceram acima do máximo histórico e acima do limite de Classe 2 nas estações da região 3 do rio Paraopeba (BP082 e BP083). Nota-se também que as reduções se deram nas estações secas, indicando a possível deposição desse material no leito do rio, com potencial de ressuspensão em períodos chuvosos.

No estudo do IGAM (2020a) nos trechos 2 e 3, com exceção dos meses de junho a setembro de 2019, o ferro dissolvido sempre se manteve em valor superior à concentração máxima permitida, enquanto o manganês apresentou concentrações acima dos valores legais de maneira ainda mais recorrente. Outro parâmetro avaliado no referido estudo foi o alumínio, apresentando resultados valores próximos de sua normalidade histórica

b. Dados do Relatório SOS Mata Atlântica

Em 2020 a Fundação SOS Mata Atlântica publicou um relatório sobre a qualidade da água nas bacias hidrográficas dos rios Paraopeba e Alto São Francisco, um ano após o rompimento da barragem B1 (SOS Mata Atlântica, 2020). Os dados publicados descrevem a condição do rio durante o período de 07 a 17 de janeiro de 2020, com base em 21 pontos de

coleta distribuídos ao longo de 356 km do rio Paraopeba. Esse percurso abrange desde o Córrego Ferro Carvão, na região rural denominada Córrego do Feijão no município de Brumadinho (MG), até Felixlândia, na formação do lago de Três Marias. O relatório aponta que em todo o trecho analisado a qualidade da água do rio Paraopeba se manteve imprópria, com índices que a classificavam como ruim ou péssima, em desconformidade com os padrões definidos na legislação brasileira para usos múltiplos.

As amostras de água do relatório da Fundação SOS Mata Atlântica (2020) foram obtidas por meio de amostras de superfície, realizadas a 30 cm da lâmina d'água, e na coluna d'água, a partir de 2 m de profundidade. Dessas amostras, aquelas coletadas em áreas de remansos e próximas às ilhas ao longo do curso do rio apresentaram maior concentração de poluentes e valores mais elevados de turbidez. A Tabela 22 mostra os municípios da Região 3 em que foram coletadas amostras de água e suas respectivas coordenadas.

Tabela 22: Pontos de coleta e monitoramento pertencentes à Região 3, estudo da Fundação SOS Mata Atlântica

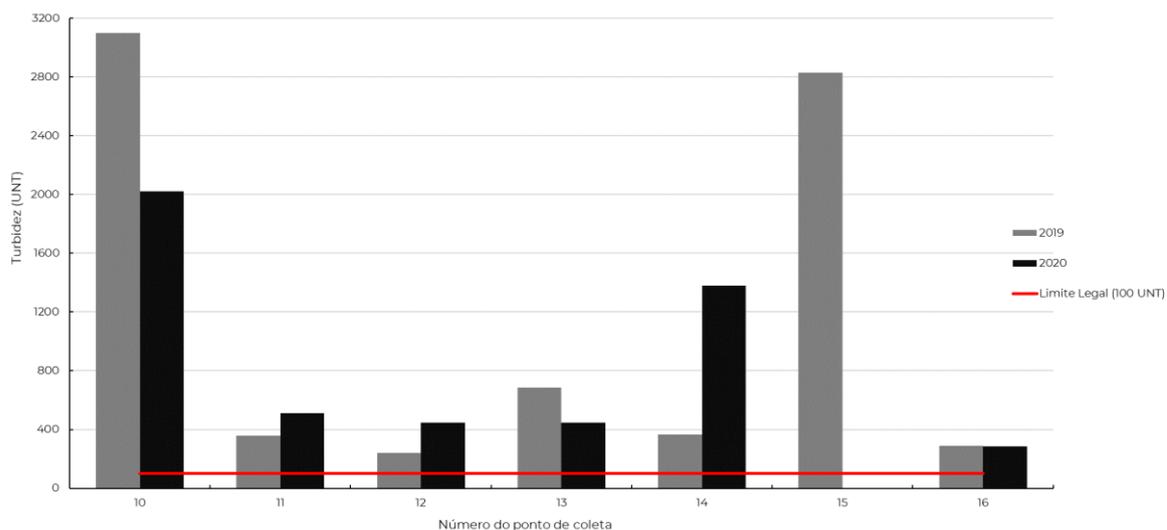
NÚMERO DO PONTO	MUNICÍPIO	PONTO DE REFERÊNCIA	LATITUDE	LONGITUDE
10	Florestal/Esmeraldas	-	-19,8413400	44,3858000
11	São José da Varginha	Urucaia	-19,6662680	-44,4790870
12	Fortuna de Minas	-	-19,6054980	-44,4790870
13	Pará de Minas	A montante das barreiras do Condomínio Paraopeba	-19,7269700	-44,4631800
14	Pará de Minas	Captação de Água	-19,7094630	-44,4983770
15	Caetanópolis	Ponto JK	-19,4229300	-44,5485400
16	Caetanópolis	Ilha do Cabo Eloi	-19,3329660	-44,5421080

Fonte: FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2020. Adaptado

O relatório comparou os resultados obtidos em 2020 com os resultados do relatório de 2019, visto que nos dois casos foram utilizados os mesmos pontos para amostragem. De maneira geral, foi observado que o rio Paraopeba ainda apresenta poucos sinais de regeneração, principalmente pelas movimentações realizadas por dragagens na região inicial do dano, pela manutenção de rejeitos na calha e leitos do rio e pelas condições climáticas.

Na Figura 103 encontram-se os dados de turbidez nos pontos de coleta apresentados na Tabela 22, nos anos de 2019 e 2020. Nota-se que a turbidez se apresentou em valores superiores ao limite legal (100 UT) em todas as amostras.

Figura 103: Valores de turbidez da água do rio Paraopeba em municípios da Região 3 em 2019 e 2020



Fonte: FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA (2020, 2019). Adaptado

No que diz respeito aos metais analisados (ferro, cobre, manganês e cromo), percebe-se que os pontos da Região 3 (enumerados de 10-16) apresentaram todas as amostras coletadas (2019 e 2020) com valores acima dos limites legais de uso, de acordo com o enquadramento na Classe 2.

3.3 Água Subterrânea

a. Dados do Ministério da Saúde/SES MG

Logo após o crime ambiental, por intervenção do Ministério da Saúde, a Vale firmou um acordo com a Advocacia Geral da União, em que a empresa se comprometeu a monitorar, com acompanhamento técnico da Secretaria de Saúde de Minas Gerais, a qualidade da água de poços localizados até 100 metros da margem do rio durante um ano. As coletas de amostras de água foram iniciadas em 29 de janeiro de 2019, ou seja, quatro dias após o rompimento da

barragem, no município de Brumadinho e, posteriormente, expandidas para os demais municípios. Ao todo foram monitorados 104 poços em 16 municípios (SVS, 2020). Esses dados estão apenas parcialmente publicados, mas o monitoramento cessou e praticamente não existem informações sobre a qualidade da água subterrânea localizada em áreas afastadas do rio para além dos 100 m.

Em janeiro de 2020 o Ministério da Saúde publicou um boletim informativo contendo dados de um ano de monitoramento (SVS, 2020). A Tabela 23 mostra o número de amostras coletadas até dezembro de 2019 nos municípios inseridos no território da Região 3. Neste boletim, foi feita uma ressalva de que não foram identificadas formas de abastecimento de água que atendam ao critério de inclusão estabelecido (distância de até 100 m do rio Paraopeba) nos seguintes municípios da Região 3: Maravilhas, Pequi e Fortuna de Minas.

Tabela 23: Número de amostras de água coletadas por municípios abrangidos na Região 3.

MUNICÍPIO	NÚMERO DE AMOSTRAS COLETADAS
Esmeraldas	217
Florestal	107
Paraopeba	58
Papagaios	100
Pará de Minas	103
São José da Varginha	189
Total de amostras referentes aos municípios da Região 3	774

No entanto, neste boletim, a análise é realizada considerando o conjunto dos dados nos 16 municípios avaliados (1.847 amostras), sem possibilidade de discriminação dos dados específicos da Região 3. Por sua vez, um boletim informativo da Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais com informações até a data 30/10/2019 organiza os dados por município (SES, 2019). A Tabela 24 mostra o número de campanhas realizadas e o número de amostras coletadas até 30 de outubro de 2019 nos municípios inseridos no território da Região 3.

Tabela 24: Número de campanhas e amostras de água coletadas por municípios abrangidos na Região 3.

MUNICÍPIO	NÚMERO DE CAMPANHAS REALIZADAS	NÚMERO DE AMOSTRAS COLETADAS
Esmeraldas	22	180
Florestal	17	90
Paraopeba	21	51
Papagaios	19	90
Pará de Minas	18	89
São José da Varginha	18	168
TOTAL	115	668

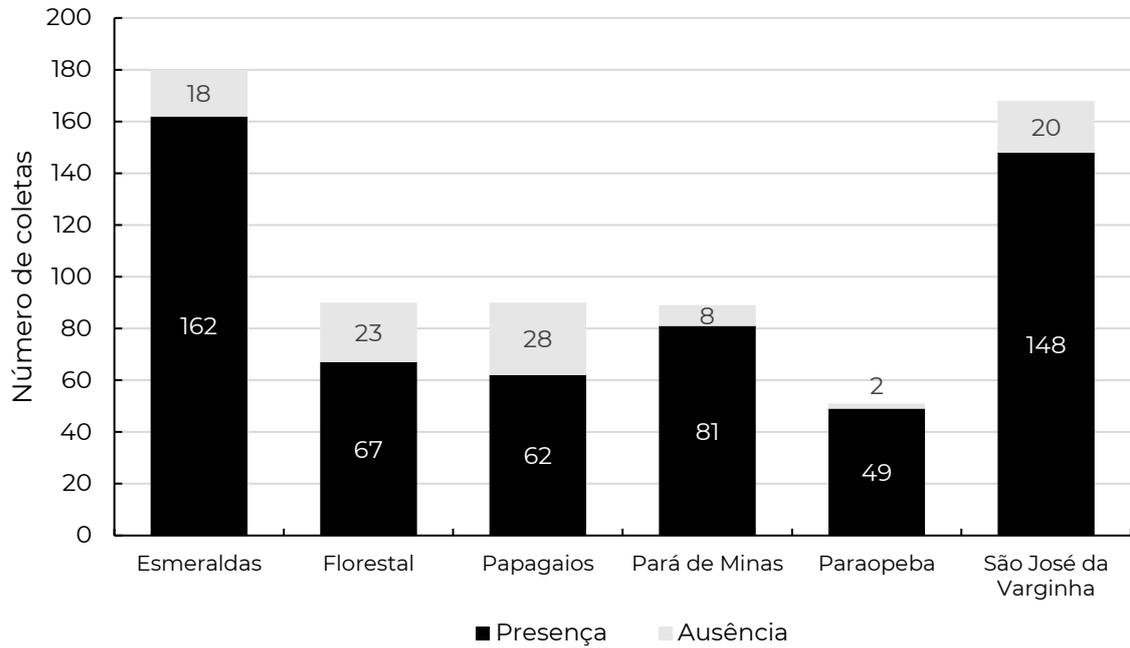
Fonte: SES (2019).

Neste boletim foi informado que foram incluídos e excluídos pontos ao longo do período de monitoramento, visto que alguns desses foram identificados posteriormente, enquanto outros foram inviabilizados por intercorrências da coleta (datas pontuais ou permanentes), como por exemplo: recusas de moradores para receber os técnicos da saúde no momento da coleta, poços que secaram devido ao período de estiagem e falhas no funcionamento da bomba dos poços.

Para a apresentação dos resultados neste boletim e para a Região 3, os parâmetros monitorados foram divididos em três grupos e de acordo com o padrão de potabilidade vigente: coliformes totais e E.coli; alumínio, ferro, manganês, zinco, cor aparente; antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e selênio

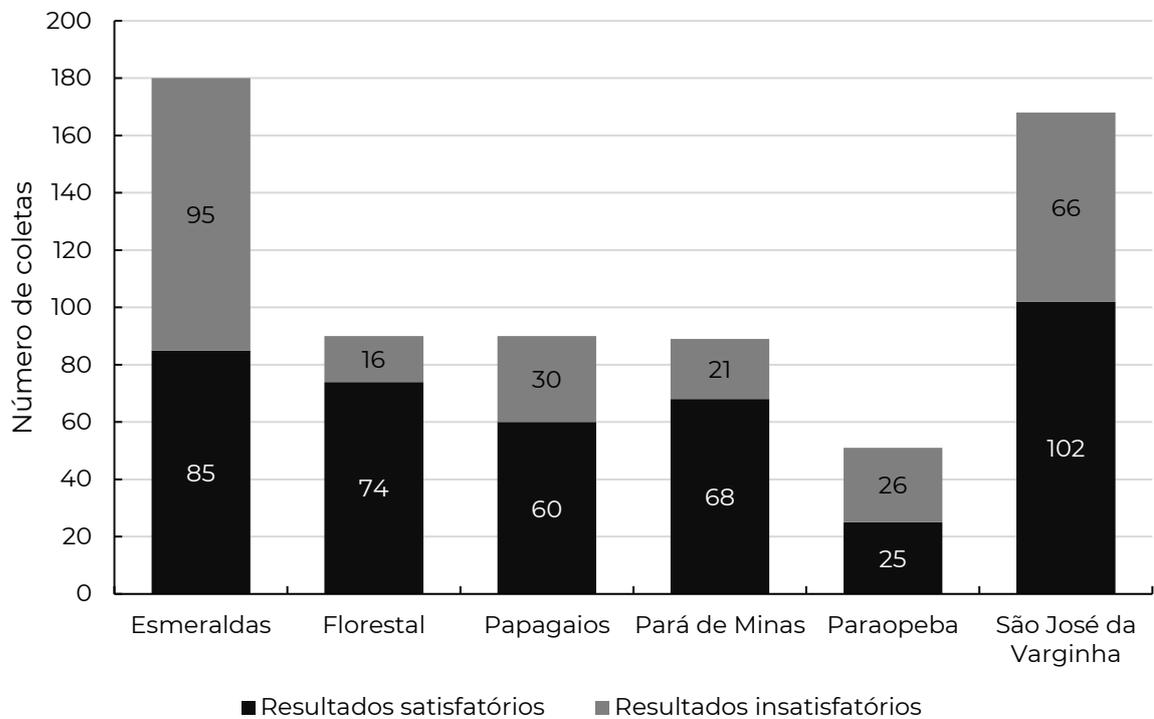
As Figuras 104 e 105 mostram os valores dos resultados obtidos para coliformes totais e E. coli, respectivamente, de acordo com os municípios da Região 3.

Figura 104: Distribuição de resultados de coliformes totais por município.



Fonte: SES (2019). Adaptado

Figura 105: Distribuição de resultados de *E. coli* por município.

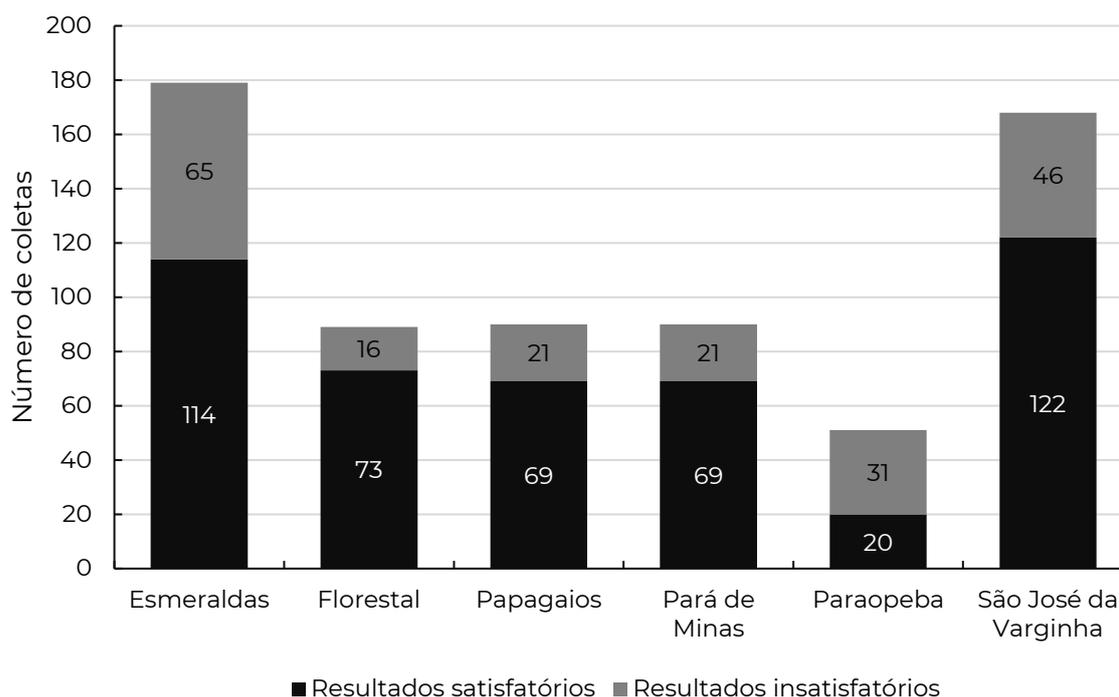


Fonte: SES (2019). Adaptado

Coliforme totais e *E. coli* (em análise mais rigorosa, apenas *E. coli*) são organismos indicadores que sinalizam o potencial de contaminação da água. Grande parte das amostras apresentaram resultados insatisfatórios para *E.coli*, sendo necessárias orientações de desinfecção da água previamente ao consumo (SES, 2019).

A turbidez é um parâmetro relacionado à presença de partículas em suspensão na água e, para fins de consumo, deve ser inferior a 5 UT (como padrão organoléptico). A Figura 106 mostra os valores dos resultados de turbidez, de acordo com os municípios da Região 3.

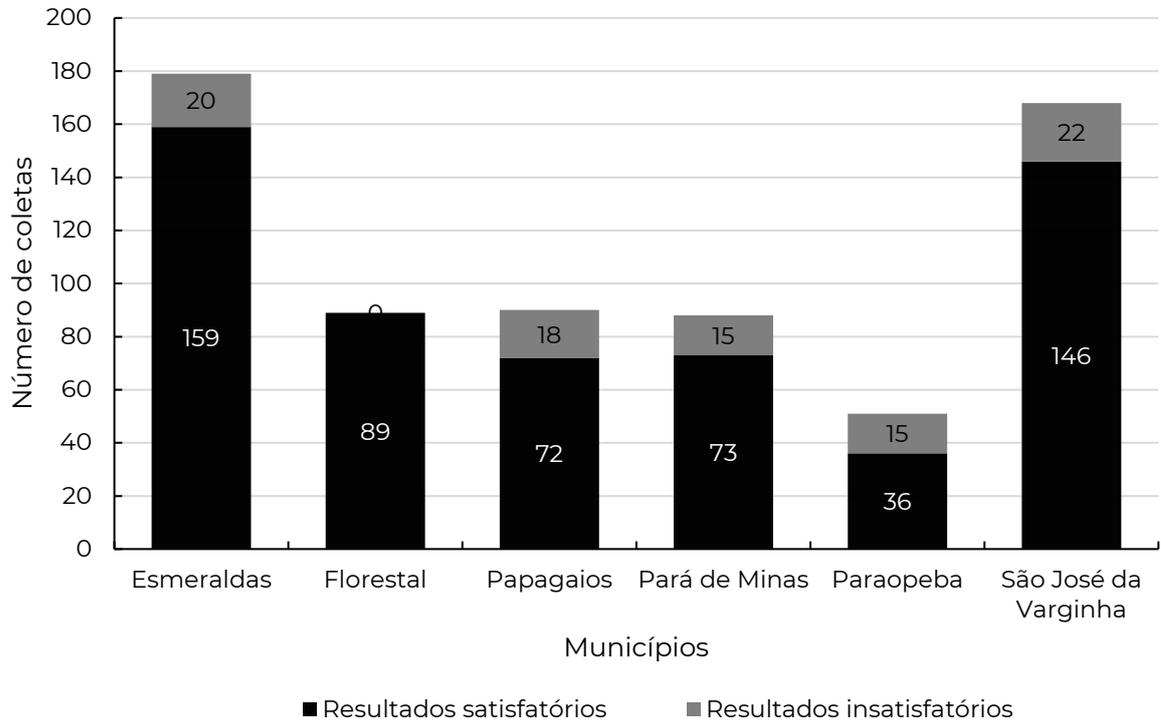
Figura 106: Distribuição de resultados de turbidez por município.



Fonte: SES (2019). Adaptado

A cor aparente é um parâmetro relacionado ao teor de matéria orgânica e/ou mineral (ferro e manganês) na água. Para fins de consumo deve ser inferior a 15 uC. A Figura 107 mostra os resultados obtidos de acordo com os municípios da Região 3, apenas Florestal apresentou todas as amostras com resultado satisfatório para esse parâmetro.

Figura 107: Distribuição de resultados de cor aparente por município



Fonte: Boletim Informativo (SES, 2019).

A Tabela 25 apresenta o total de amostras realizadas entre 29/01/2019 até 30/10/2019 e os resultados para alumínio, ferro e manganês de acordo com os municípios da Região 3. Observa-se que alumínio, ferro e manganês apresentaram percentuais de amostras com valores superiores aos limites do padrão organoléptico, iguais a 9,3%, 26,1% e 12,6%, respectivamente. Cabe pontuar que apesar de serem parâmetros, em primeira instância, organolépticos, do ponto de vista de risco à saúde, a Organização Mundial da Saúde (2010) indica que a concentração de alumínio em água não ultrapasse 0,9 mg/L e a Portaria de Consolidação N° 5 indica que as concentrações de ferro e manganês não devem exceder 2,4 e 0,4 mg/L, respectivamente (BRASIL, 2017)

Tabela 25: Resultado do monitoramento para os parâmetros alumínio, ferro e manganês.

MUNICÍPIO	TOTAL DE AMOSTRAS	ALUMÍNIO (VMP = 0,2 MG/L)			FERRO (VMP = 0,3 MG/L)			MANGANÊS (VMP = 0,1 MG/L)		
		N. AMOSTRAS ACIMA DO VMP	VALOR DA MEDIANA	VALOR MÁXIMO	N. AMOSTRAS ACIMA DO VMP	VALOR DA MEDIANA	VALOR MÁXIMO	N. AMOSTRAS ACIMA DO VMP	VALOR DA MEDIANA	VALOR MÁXIMO
Florestal	90	2	0,07	0,68	4	0,17	1,09	3	0,05	0,12
Pará de Minas	89	9	0,1	7,16	31	1,27	55,1	15	0,24	3,39
Esmeraldas	180	11	0,08	0,8	56	0,52	13,60	13	0,04	0,47
São José da Varginha	168	22	0,09	8,40	39	0,89	27,50	14	0,05	0,38
Papagaios	90	6	0,11	0,98	16	0,24	7,73	25	0,09	0,54
Paraopeba	51	12	0,16	1,65	28	0,72	9,58	14	0,09	1,41

Fonte: Boletim Informativo (SES, 2019).

A Tabela 26 indica a data de coleta de amostras que apresentaram suas concentrações com valores acima de seu respectivo Valor Máximo Permitido (VMP) para substâncias químicas que representam risco à saúde, de acordo com os municípios da Região 3 (SES, 2019). Dentre as 47 amostras coletadas para esta finalidade, 22 apresentaram suas concentrações acima dos respectivos VMP e estão indicadas na tabela abaixo. Diante do exposto, a Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (2019) reforça no referido boletim a orientação de não utilização da água nas fontes que que vinham sendo monitoradas (SES, 2019).

Tabela 26: Resultado do monitoramento para as substâncias químicas que apresentam riscos à saúde.

CÓDIGO	DATA DA COLETA	MUNICÍPIO	ANTIMÔNIO (VMP = 0,005 MG/L)	ARSÊNIO (VMP = 0,01 MG/L)	BÁRIO (VMP = 0,7 MG/L)	CHUMBO TOTAL (VMP = 0,01 MG/L)	CROMO TOTAL (VMP = 0,05 MG/L)
FLO007	24/05/2019	Florestal			0,810		
FLO007	09/05/2019	Florestal			0,760		
FLO007	06/06/2019	Florestal			1,000		
FLO007	18/06/2019	Florestal			1,390		
FLO007	04/07/2019	Florestal			1,230		
FLO007	18/07/2019	Florestal			0,820		
FLO007	01/08/2019	Florestal			0,840		
FLO007	13/08/2019	Florestal			1,160		
FLO007	26/09/2019	Florestal			0,880		
PAR002	23/10/2019	Paraopeba	0,006				
PMI015	23/05/2019	Pará de Minas				0,030	
PMI016	28/03/2019	Pará de Minas				0,020	
PMI016	11/04/2019	Pará de Minas		0,012			
PMI016	09/05/2019	Pará de Minas				0,040	
PMI016	23/05/2019	Pará de Minas		0,013		0,090	
SJV002	09/05/2019	São José da Varginha				0,020	
SJV004	09/05/2019	São José da Varginha				0,030	
SJV005	25/04/2019	São José da Varginha				0,020	0,100
SJV005	23/05/2019	São José da Varginha				0,040	
SJV005	18/06/2019	São José da Varginha					0,060
SJV005	18/07/2019	São José da Varginha				0,020	
SJV006	29/08/2019	São José da Varginha				0,020	

3.4 Sedimentos Fluviais

Para avaliar os parâmetros e respectivo padrão de qualidade de sedimentos após o rompimento da barragem B1, o IGAM (2020a) utilizou os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454 de 8 de novembro de 2012 (BRASIL, 2012), visto que ainda não existem padrões brasileiros para qualidade de sedimentos. Esta resolução define limites de contaminantes em sedimentos para fins de dragagem de leitos de cursos d'água, bem como outras orientações. Os parâmetros de sedimentos para a finalidade deste diagnóstico são mostrados na Tabela 27.

Tabela 27: Parâmetros de qualidade avaliados nos sedimentos de fundo.

PARÂMETROS SEDIMENTO DE FUNDO (MG/KG)	LIMITES DA RESOLUÇÃO CONAMA 454/2008 (NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL A SER DRAGADO - ÁGUA DOCE)	
	NÍVEL 1*	NÍVEL 2**
Arsênio total	5,9	17
Cádmio total	0,6	3,5
Chumbo total	35	91,3
Cobre total	35,7	197
Cromo total	37,3	90
Mercúrio total	0,17	0,486
Níquel total	18	35,9
Zinco total	123	315

*Nível 1: limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota.

** Nível 2: limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

Obs: os limites definidos nesta resolução para os metais estudados baseiam-se nas orientações emitidas pelo Conselho Canadense de Ministros de Meio Ambiente (*Canadian Council Of Ministers Of The Environment - CCME*), as Diretrizes de Qualidade para a Análise de Sedimentos (CCME, 2014).

A Resolução Conama nº 454/2012 não estabelece valores orientadores para os metais ferro, alumínio e manganês. Portanto, IGAM (2020a) optou por utilizar os valores orientadores de Costa (2015) e iguais a 28,10%, 4,52% e 0,33% (peso seco) para ferro, alumínio e manganês (respectivamente), segundo a técnica de análise fractal (IGAM, 2020a).

O IGAM avaliou resultados de análises de sedimentos ao longo do rio Paraopeba no período de janeiro a dezembro de 2019. Alguns dos municípios da Região 3 estão contemplados nessa avaliação e estão contidos no que essa instituição denominou por “Trecho 2” e “Trecho 3” de sua avaliação. A saber os municípios de Esmeraldas, Pará de Minas, São José da

Varginha, Papagaios e Paraopeba fazem parte desses dois trechos (IGAM, 2020a). Para maiores informações sobre as estações, ver Tabela 21.

A seguir são apresentadas as informações divulgadas pelo IGAM sobre a avaliação da qualidade dos sedimentos nos “Trecho 2” e “Trecho 3”, considerando as estações listadas na Tabela 21. As considerações feitas pelo instituto sobre a qualidade dos sedimentos foram baseadas na Resolução CONAMA n 454/2008. Ressalta-se que a frequência de amostragem sofreu alterações ao longo do ano de 2019, sendo definido para os primeiros 60 dias após o rompimento a frequência semanal para sedimentos. Porém, fatores como início do desenvolvimento dos trabalhos, redução de variações significativas nas concentrações dos parâmetros, períodos chuvosos e início das atividades de dragagem foram avaliados durante as alterações de frequência de amostragem realizadas.

Para a avaliação da qualidade dos sedimentos, o IGAM (2020a) selecionou os parâmetros com o intuito de avaliar possíveis alterações nas águas superficiais, dada as características do rejeito e da capacidade de arraste e revolvimento de material de fundo com o deslocamento da pluma no trecho logo após a confluência com o ribeirão Ferro-Carvão. Ademais, o material proveniente da Barragem 1, é originário da mineração de ferro, sendo portanto, o elemento de maior abundância no leito dos corpos d’água afetados diretamente pelo rompimento, o que também sugeriria a presença do rejeito no local. Diante do exposto, foram considerados os seguintes parâmetros para a avaliação da qualidade dos sedimentos pelo IGAM: ferro, manganês e alumínio, bem como os seguintes contaminantes: arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco (IGAM, 2020a).

Nos primeiros 50 dias após o rompimento foram detectados percentuais de teor de ferro que variaram entre 3 - 35% para o trecho 2. Enquanto no trecho 3, os maiores valores observados ocorreram entre fevereiro e abril. Sobre a avaliação do teor de ferro no Trecho 3, foi observado que durante os meses de janeiro-junho de 2019 seus valores estiveram muito acima daqueles encontrados a montante do rompimento. Porém, posteriormente esses valores estiveram bem próximos aos obtidos a montante. Assim, o IGAM inferiu que o impacto nesse trecho ocorreu, principalmente por partículas em suspensão, que puderam ser transportadas pela força das águas ao longo do tempo. Os maiores valores percentuais para o manganês, também foram observados nos 50 primeiros dias, trechos 2 (0,05 - 2,46%) e 3 (0,1 - 1,55%), sendo que a partir de março os valores foram reduzidos, com alguns destes em percentuais inferiores ao valor orientador. Diferentemente dos dois primeiros elementos citados, o alumínio apresentou

o mesmo comportamento ao longo de todos os trechos monitorados e a grande maioria de seus valores percentuais esteve abaixo da referência indicada por Costa (2015).

Para o chumbo e mercúrio foram observados valores acima do Nível 1 nos 50 primeiros dias do ocorrido, tanto para o trecho 2 quanto para o trecho 3. Porém, para o trecho 3, valores acima do Nível 1 foram recorrentes em 2019 (chumbo). De qualquer maneira, ressalta-se que no trecho a montante do rompimento, também foram observados alguns registros de chumbo acima do Nível 1, sendo um indício que esse elemento pode estar associado com outras atividades desenvolvidas na bacia. Adicionalmente, o IGAM (2020a) sugere que o material depositado nos leitos ao longo dos anos poderia ter sido arrastado e remobilizado durante a passagem da lama, proporcionando alterações nos níveis de chumbo da água e dos sedimentos. Para o mercúrio total foi possível verificar que entre janeiro e março de 2019 houve uma elevação dos valores de mercúrio nos trechos 2 e 3, quando comparados aos resultados de montante no mesmo período. Dessa maneira, o IGAM afirma que esses resultados corroboram com os resultados de ferro e manganês, sugerindo que a elevação dos teores de mercúrio nos sedimentos pode estar relacionada com o rompimento da barragem B1 (IGAM, 2020a).

Valores acima do Nível 1 também foram registrados para níquel e cobre nos trechos 2 e 3, mas foram quantificados também na região a montante do rompimento da barragem B1. Todavia, ressalta-se que logo após o rompimento, foi observado o aumento das concentrações desses dois elementos nos trechos 2 e 3 até o mês de abril e em relação ao níquel, o Nível 2 (limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota aquática), foi extrapolado nos trechos 2 e 3 em ao menos uma coleta (IGAM, 2020a).

Os meses de janeiro e fevereiro apresentaram a maior quantidade de registros com valores de arsênio acima do Nível 1 para o trecho 2, enquanto o trecho 3 não apresentou valores iguais ou superiores ao do Nível 1. Porém, como esse contaminante também excedeu o Nível 1 no ponto a montante da influência do córrego Ferro Carvão, foi sugerido que os resultados obtidos podem estar relacionados a fatores externos ao rompimento da barragem, assim como o chumbo.

Em relação ao cromo, apenas um valor no trecho 2 esteve acima do nível 2 enquanto a maioria dos demais valores se manteve acima do Nível 1 nos trechos 2 e 3. Ao mesmo tempo, foram observados valores acima do Nível 1 no ponto a montante da influência do córrego Ferro Carvão, como observado para o chumbo e arsênio. Em paralelo, foram observados valores acima do Nível 1 a jusante do rompimento, mas essas amostras foram coletadas em locais onde

não foram observadas interferências do material oriundo da barragem. Por fim, para o cádmio é importante informar que o seu limite de detecção em sedimentos está acima do determinado no Nível 1 (6 microg/g). Assim, valores acima desse nível foram identificados apenas de julho a outubro nos trechos 2 e 3, enquanto para o zinco não foram observados resultados com valores acima do Nível 1 em nenhum momento.

De maneira complementar ao documento referenciado acima, o IGAM publicou o informativo n. 5 do primeiro trimestre de 2020 (IGAM, 2020c) com o objetivo de apresentar, respectivamente, o monitoramento semanal/mensal realizado nas estações da calha do Paraopeba e no ribeirão dos Gomes no período de janeiro a abril de 2020, de maneira a acompanhar as influências do período chuvoso na qualidade dos sedimentos, até 12 de março de 2020.

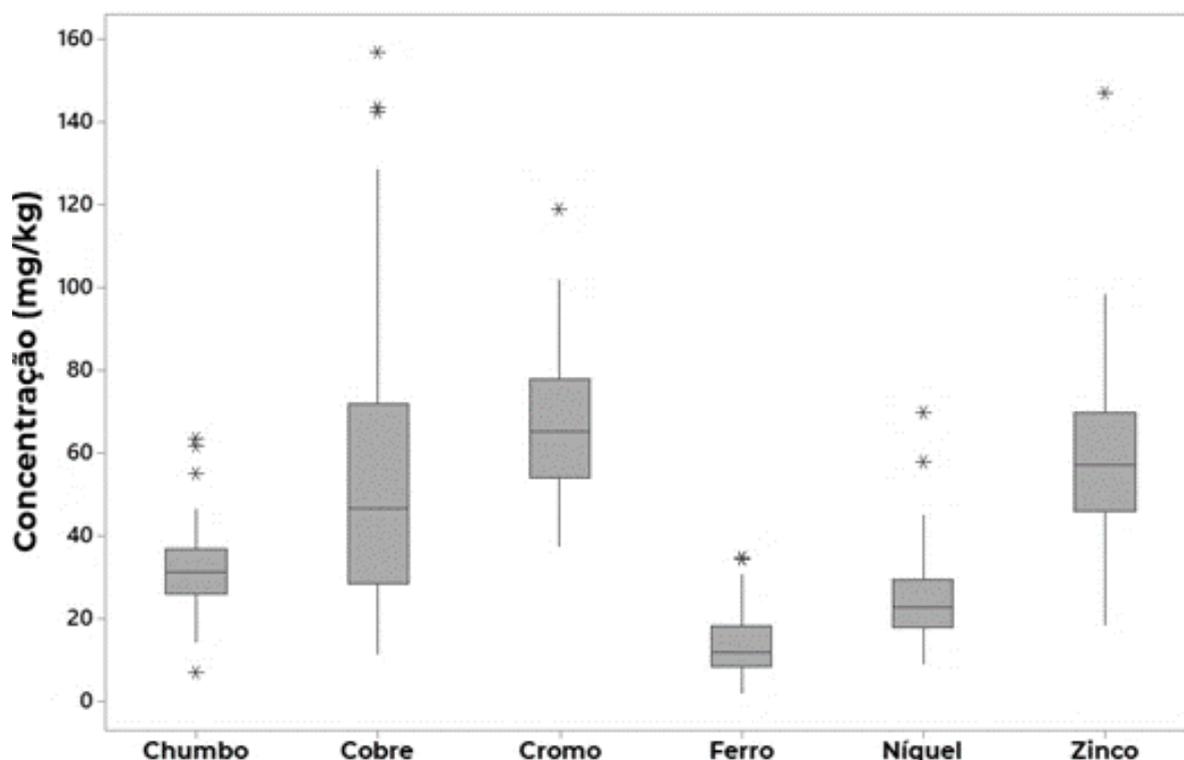
Neste informativo foram avaliados os seguintes parâmetros nos sedimentos de fundo: alumínio, ferro e manganês, além dos contaminantes: arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco, mas devido às fortes chuvas em janeiro de 2020, em alguns pontos pertencentes aos trechos 2 e 3 não houve a coleta de amostras. De qualquer maneira, os dados da medição realizada entre 28 de janeiro a 12 de março de 2020 mostraram que os maiores percentuais de ferro se estenderam do trecho a jusante da barragem B1 até estação em Esmeraldas (BP082), com valores entre 12 e 25%, enquanto no trecho localizado a partir da estação BP083 (em Paraopeba) até a estação BP087, o percentual do ferro retornou aos valores observados antes da passagem da pluma. Durante esse mesmo período, os dados de manganês apresentaram comportamento similar ao ferro e seus maiores percentuais (0,13 e 0,6%), também foram obtidos no mesmo trecho informado anteriormente. Por sua vez, os resultados de alumínio em sedimentos apresentaram comportamento oposto ao dos dois primeiros metais citados: observa-se que seus valores percentuais até Esmeralda são mais baixos, enquanto a partir da estação BP082 até a montante da BP087 esses valores se elevam. A estação BP077 (municípios de Papagaios e Paraopeba) registrou o maior valor percentual nesse trimestre inicial de 2020 (4,7%).

No que diz respeito aos municípios da região 3, no primeiro trimestre de 2020 foram identificados valores de chumbo em sedimentos acima do Nível 1 no rio Paraopeba na estação BP082 em Esmeraldas (55,2 µg/g em janeiro) e BP077 em Paraopeba (36,9 µg/g em fevereiro), mas que não atingiram valores de chumbo acima do Nível 2. Para as amostras de mercúrio total do trimestre considerado, todos os seus valores estiveram abaixo do Nível 1 (0,1µg/g). Salienta-se que para algumas medições, principalmente realizadas no mês de março, não foi identificado

a presença de mercúrio nos sedimentos (abaixo do LDM). O elemento níquel apresentou um único valor acima do Nível 2 na estação BP082 (Esmeraldas) e demais valores acima do Nível 1 para todas as estações pertinentes à Região 3. Adicionalmente, com exceção da estação BP083 (municípios de Papagaios e Paraopeba), pelo menos um resultado de cobre esteve acima do Nível 1 nas estações BPE3, BP082, BP083 e BP077. O arsênio não apresentou nenhum valor acima do Nível 1, nas estações referentes a Região 3, nesse primeiro trimestre de 2020. Os dados da medição realizada entre 28 de janeiro a 12 de março de 2020 mostram que foram registrados valores de cromo acima do Nível 2 na estação BP082 em Esmeraldas (em janeiro) e nas demais estações, os valores estiveram acima do Nível 1 (maioria). Por fim, para o zinco, foi registrado apenas um resultado acima do Nível 1 (147,1 µg/g em janeiro de 2020).

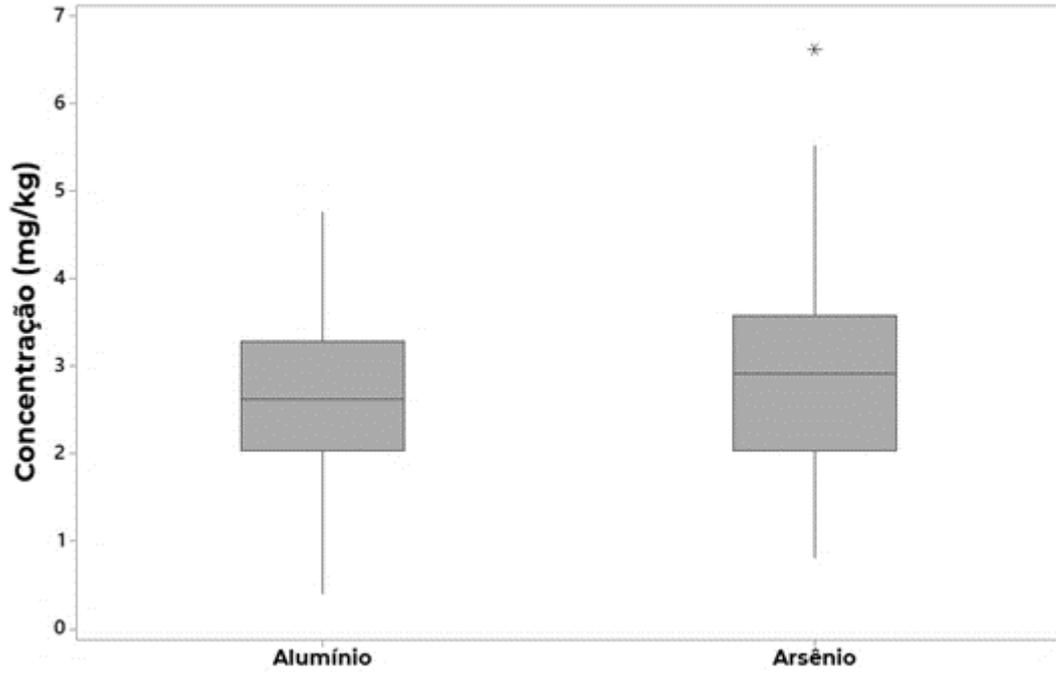
As Figuras 108, 109 e 110 mostram a maneira como as concentrações dos elementos estão distribuídas considerando todas as 5 estações presentes no território da Região 3 (BPE3, BPE4, BP077, BP082 e BP083), no período de monitoramento após o rompimento da barragem B-1.

Figura 108: Concentração de metais, em material seco, detectada em sedimentos na Região 3.



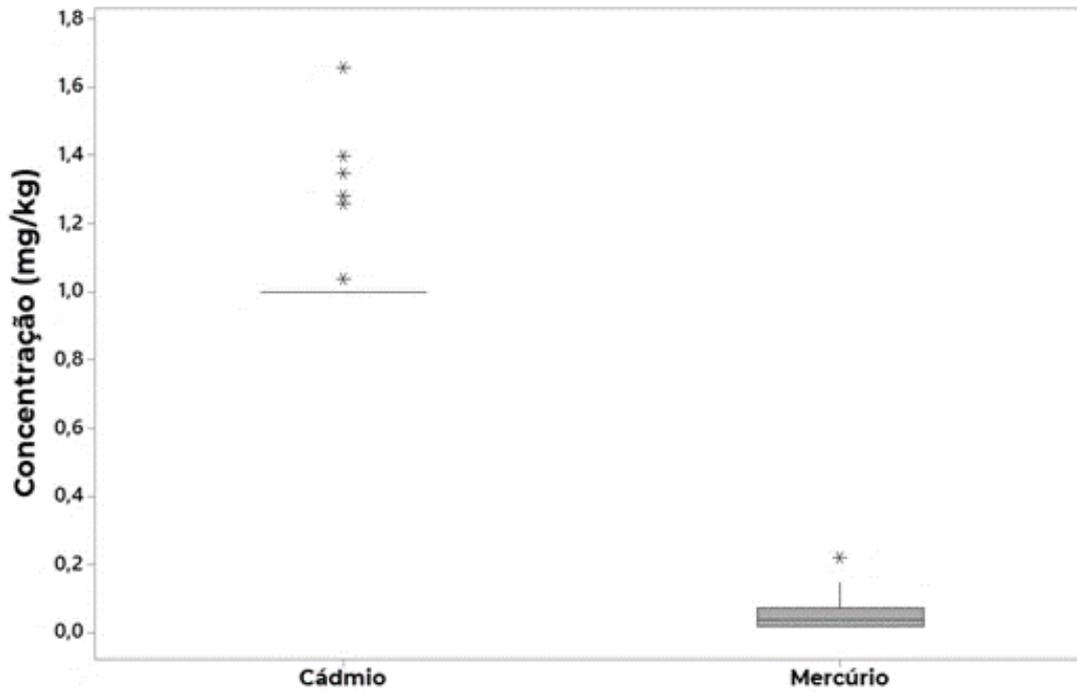
Fonte: IGAM (2020e)

Figura 109: Concentração de metais, em material seco, detectada em sedimentos na Região 3.



Fonte: IGAM (2020e)

Figura 110: Concentração de metais, em material seco, detectada em sedimentos na Região 3.



Fonte: IGAM (2020e)

Para os parâmetros cádmio, mercúrio, chumbo, cobre, cromo e níquel ocorreram valores acima de seus respectivos limites legais (Nível 1), considerando a Resolução CONAMA 454/2012. Dentre estes elementos, o cromo sempre apresentou valores mais altos que seu valor de referência (37,3 mg/kg), enquanto o cobre apresentou mais de 50% das amostras também com valor superior ao seu limite legal (35,7 mg/kg).

3.5 Solos

A grande maioria dos metais encontrados no solo desempenham funções importantes no equilíbrio dos ecossistemas, servindo, por exemplo, como macro e micronutrientes necessários ao estabelecimento e desenvolvimento dos vegetais na base da cadeia alimentar (SILVA et al, 2015). A concentração natural dos metais de cada tipo de solo tem relação direta com a composição geoquímica do material de origem (FERREIRA et al., 1994; FERNANDES et al., 2015). Essa relação está vinculada à herança mineral derivada do processo de formação dos solos, que se dá por meio da intemperização de rochas e/ou sedimentos diversos, sob influência de variáveis como clima, relevo, ação de organismos e processos pedogenéticos (EMBRAPA, 2013). Os diversos solos formam, portanto, unidades que se diferenciam em função dos seus atributos de formação de natureza química, física e biológica em meio à paisagem.

A baixa concentração e biodisponibilidade dos metais no solo pode configurar cenários de deficiência nutricional às plantas, bem como em altas concentrações podem se tornar prejudiciais e apresentar risco de toxicidade, como no caso dos metais pesados, caracterizados como elementos-traço (ETs). Os ETs, geralmente ocorrem em concentrações muito baixas (normalmente <1.000 mg kg⁻¹ ou <0,1%) em condições naturais, e o seu incremento pode causar impactos significativos na saúde humana e no meio ambiente (OLIVEIRA e HORN, 2006; RIBEIRO FILHO et al, 2001). Diferente dos compostos orgânicos, estes metais não são modificados nem degradados podendo persistir no solo por longos períodos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). A biodisponibilidade destes elementos é influenciada por uma série de atributos do solo dentre os quais se destacam o teor de matéria orgânica, textura do solo, pH, potencial redox, tipo e quantidade de argila, entre outros (RIEWERTS et al., 2006).

O rompimento da barragem B-I do Córrego do Feijão provocou o extravasamento de 13 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro que avançou com alta velocidade e energia, pela calha do Ribeirão Ferro-Carvão em direção ao Rio Paraopeba. A calha do Ribeirão foi amplamente impactada devido ao extravasamento do rejeito nas faixas marginais, que extrapolou a capacidade de drenagem do rio. Parte do rejeito extravasado foi depositado em uma área superior a 270 ha a montante do rompimento, provocando o enterramento do solo natural e o represamento de afluentes do Ribeirão, e o restante seguiu o fluxo hídrico do Paraopeba.

Ao ser carregado pelo fluxo de transporte de material aluvial do rio Paraopeba, o rejeito dissolvido foi se depositando no fundo do rio, junto aos sedimentos, bem como nas áreas marginais e planícies de inundação (nas áreas mais próximas ao rompimento), atuando como fonte de poluição local do solo e gerando inseguranças sobre a contaminação das áreas afetadas. Esta condição de insegurança aumentou ainda mais após o período chuvoso de 2019/2020 que aumentou consideravelmente o volume de água do rio provocando o revolvimento dos sedimentos mais rejeito, bem como inundações em diversas áreas de várzea à jusante do rompimento (NACAB, 2020).

Inúmeros casos de deposição deste material em áreas extensas de propriedades à margem do rio Paraopeba, foram registrados pela ATIR3 nos espaços de escuta dos atingidos(as), após o período chuvoso. Muitas áreas afetadas foram cercadas e isoladas pela empresa Vale, a fim de evitar o contato das pessoas e animais com o rejeito. A quase totalidade dessas áreas afetadas permanecem cobertas por essa camada de material depositado que constitui agora uma nova camada superficial do solo. A insegurança das populações atingidas com relação aos riscos de contato com o solo afetado pelo material, bem como a indignação pela perda de áreas produtivas e de pastagem, devido ao receio do uso ou mesmo do cercamento e proibição do acesso pela empresa, sem informações ou previsão de retirada, é uma realidade preocupante e que afeta muitas pessoas no território.

Visto que os dados primários a respeito dos teores de metais no solo das áreas afetadas no território da Região 3 e nas demais regiões ainda serão viabilizados pelas assessorias, torna-se fundamental o levantamento de dados secundários produzidos antes e após o rompimento, envolvendo análises físicas, químicas e biológicas, tanto no contexto da Bacia do Paraopeba, quanto em casos correlatos. Estes estudos poderão fornecer informações relevantes sobre os danos provocados ao solo e auxiliar na predição dos impactos ambientais, bem como dos

possíveis riscos à saúde das populações atingidas, a médio ou longo prazo, ajudando a orientar as melhores medidas a serem tomadas.

3.5.1 Estudos e dados sobre os solos da Região 3 antes e após o rompimento

i) Antes do rompimento

Para construção de uma linha de base a ser utilizada na comparação com os teores de metais avaliados nos estudos dos pós rompimento, foi feita uma pesquisa refinada a fim de identificar estudos envolvendo análises de teores de metais no solo da bacia do Paraopeba publicados antes de janeiro de 2019. Desta forma o estudo intitulado *Atlas Geoquímico da Bacia do São Francisco* para o estado de Minas Gerais, realizado pela equipe de especialistas do Serviço Geológico Brasileiro - CPRM em 2018, foi identificado como o que abrangeu maior amplitude de área dentro da bacia, fornecendo um panorama geoquímico local e atendendo, portanto, ao nosso objetivo de caracterização do solo da região. A adoção dos métodos de amostragem e análise preconizados pela Resolução CONAMA Nº 420 de 2009, que define critérios para qualidade do solo e estabelece diretrizes para a gestão ambiental de áreas contaminadas por substâncias resultantes de atividades antropogênicas (CONAMA, 2009), também foi levado em consideração para a escolha.

É importante ressaltar que apesar destes dados nos fornecerem os teores de metais do solo em pontos amostrados por toda a bacia, deixam a desejar na caracterização mais específica dos solos de várzea ou de planícies inundáveis, que são os de nosso interesse, uma vez que poucos pontos foram amostrados nestas áreas. Os solos de várzea, ou planícies inundáveis, apresentam particularidades que por vezes os diferenciam dos solos drenados. Nestes solos seu horizonte superficial e subsuperficial, com características do material litológico de origem, sofre influência constante do acúmulo de elementos químicos lixiviados dos solos de cotas mais altas do entorno, bem como do próprio ambiente oxirredutivo devido à presença de encharcamento constante, ou periódico.

Faz-se necessário ressaltar também que o objetivo do levantamento geoquímico não foi o de estabelecer valores de referência de qualidade dos solos da bacia, mas sim de delinear os padrões de distribuição dos elementos químicos. Havendo, portanto, a possibilidade de

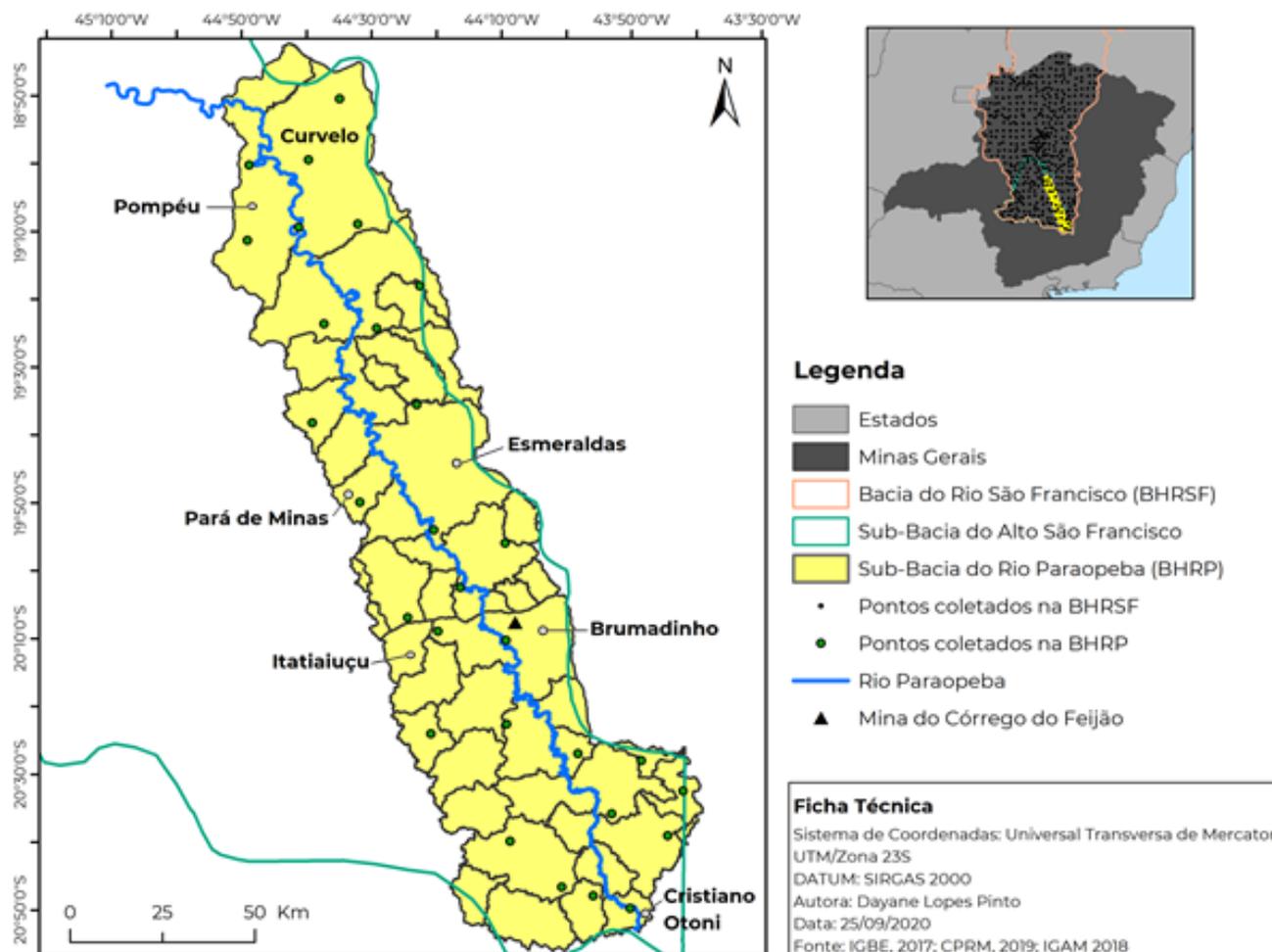
amostras de solo terem sido coletadas em áreas antropizadas, não refletindo a condição estritamente natural do solo. Portanto, estes valores servirão para nos dar um panorama da distribuição dos metais no solo da bacia e mais especificamente da Região 3, sendo os valores da Resolução CONAMA nº 420/2009, e da Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011, que estabelece valores de referência de qualidade do solo para o estado de Minas Gerais, utilizados para avaliar se essa distribuição está dentro dos padrões de qualidade previstos para o solo do estado.

A. Caracterização Geoquímica do solo da Bacia do rio Paraopeba: Atlas Geoquímico da Bacia do rio São Francisco (CPRM, 2018)

O Atlas Geoquímico da Bacia do rio São Francisco no estado de Minas Gerais é um estudo robusto e recente, envolvendo análises de água, sedimentos e solo. Este estudo fornece uma coleção de mapas geoquímicos de 53 elementos para os meios Solo e Sedimento de Fundo dos rios, 27 cátions, 07 ânions e 4 parâmetros físico-químicos para os meios Água de Superfície e Água de Abastecimento público. Ele é derivado do Projeto Levantamento Geoquímico de Baixa Densidade (Projeto Geoquímica Multiúso), realizado entre setembro de 2008 e dezembro de 2012. O mapeamento foi desenvolvido no intuito de subsidiar o planejamento territorial, bem como projetos e ações sustentáveis do meio físico, além de contribuir para gestão ambiental, social e/ou econômica.

No Atlas, a Sub-Bacia do rio Paraopeba está inserida na unidade amostral que constitui a Sub-Bacia do Alto São Francisco, na qual um total de 98 amostras de solo foram coletadas. Dentro da Sub-Bacia do rio Paraopeba (Figura 111) foram analisadas 29 amostras de solo e, mais especificamente na Região 3, 8 amostras. Na amostragem, os pontos coletados foram espacializados em uma malha de 25 x 25 km, aproximadamente no centro das folhas topográficas em escala 1:50.000. As amostras coletadas na BHRP datam do ano de 2008 e 2009.

Figura 111: Localização dos pontos na Sub-Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba, onde foram coletadas amostras de solos para elaboração do Atlas Geoquímico da Bacia do rio São Francisco (CPRM, 2018).



Entre os elementos químicos (53) quantificados no levantamento, selecionamos para caracterização geoquímica da Sub-bacia do rio Paraopeba e, conseqüentemente, da Região 3 os elementos Alumínio (Al), Antimônio (Sb), Arsênio (As), Bário (Ba), Cálcio (Ca), Cádmi (Cd), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Enxofre (S), Ferro (Fe), Fósforo (P), Mercúrio (Hg), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Potássio (K), Prata (Ag), Sódio (Na), Vanádio (V) e Zinco (Zn). Estes foram priorizados devido à sua importância nos atributos do solo e/ou por apresentar Valores Orientadores de Referência de Qualidade, de Prevenção e de Investigação estabelecidos, tanto pela Resolução CONAMA nº 420/2009, quanto pela Deliberação Normativa COPAM Nº 166/2011. Os demais elementos foram retirados da caracterização pelo fato de não terem valores de referência e/ou apresentarem

resultados extremamente baixos ou nulos, provavelmente pelos teores registrados serem abaixo dos limites detectáveis pelo método adotado.

Na Figura 112 e 113 estão apresentados, de forma separada, os gráficos contendo os teores dos metais registrados no levantamento geoquímico e recortados para a Sub-Bacia do rio Paraopeba. Na Figura 112 estão os metais que não possuem valores de referência preconizados na legislação, porém são importantes para a presente análise, uma vez que variam sua ocorrência natural de lugar para lugar e são elementos descritivos da qualidade do solo. Já na Figura 113 estão apresentados os gráficos, com os respectivos Valores de Referência de acordo com a legislação.

Para os elementos que não possuem valores orientadores na DN COPAM nº 166/2011 os autores utilizaram os valores de prevenção (Threshold Effects Level – TEL) do *Screening Quick Reference Tables* da NOAA de 2008 (BUCHMAN, 2008). Para interpretação dos elementos com valores orientadores foram levados em consideração o Valor de Referência de Qualidade (VRQ), que é a concentração da substância que define a qualidade natural do solo; o Valor de Prevenção (VP), que é a concentração limite do elemento no solo, no qual ele ainda é capaz de sustentar suas funções principais; e o Valor de Investigação (VI), que é a concentração limite de determinado elemento no solo no qual, acima deste, riscos potenciais, diretos ou indiretos à saúde humana podem ser gerados. Foi adotado o Valor de Investigação Agrícola (VIA).

É importante ressaltar que dentre os 29 pontos amostrados dentro dos limites da BHRP, apenas dois estão a uma distância de menos de 500m da margem do rio Paraopeba, e apenas quatro a uma distância de até 1000m. É evidente, portanto, que **o estudo reflete a condição do solo fora da área de influência do rio.**

Levando em consideração que o valor de prevenção para Ferro, da TEL-NOAA, é de 0,2%, e ao compararmos com os resultados das análises foi identificado que todas as amostras da BHRP apresentaram valores superiores a este. Para o elemento Manganês, 20,7% das amostras apresentaram valor superior ao de prevenção (220 mg/kg) e para Enxofre, apenas uma amostra excedeu o valor.

Figura 112: Teores de metais (% e mg/kg) registrados na Bacia do Rio Paraopeba, de acordo com o Atlas Geoquímico da Bacia do rio São Francisco (CPRM, 2018).

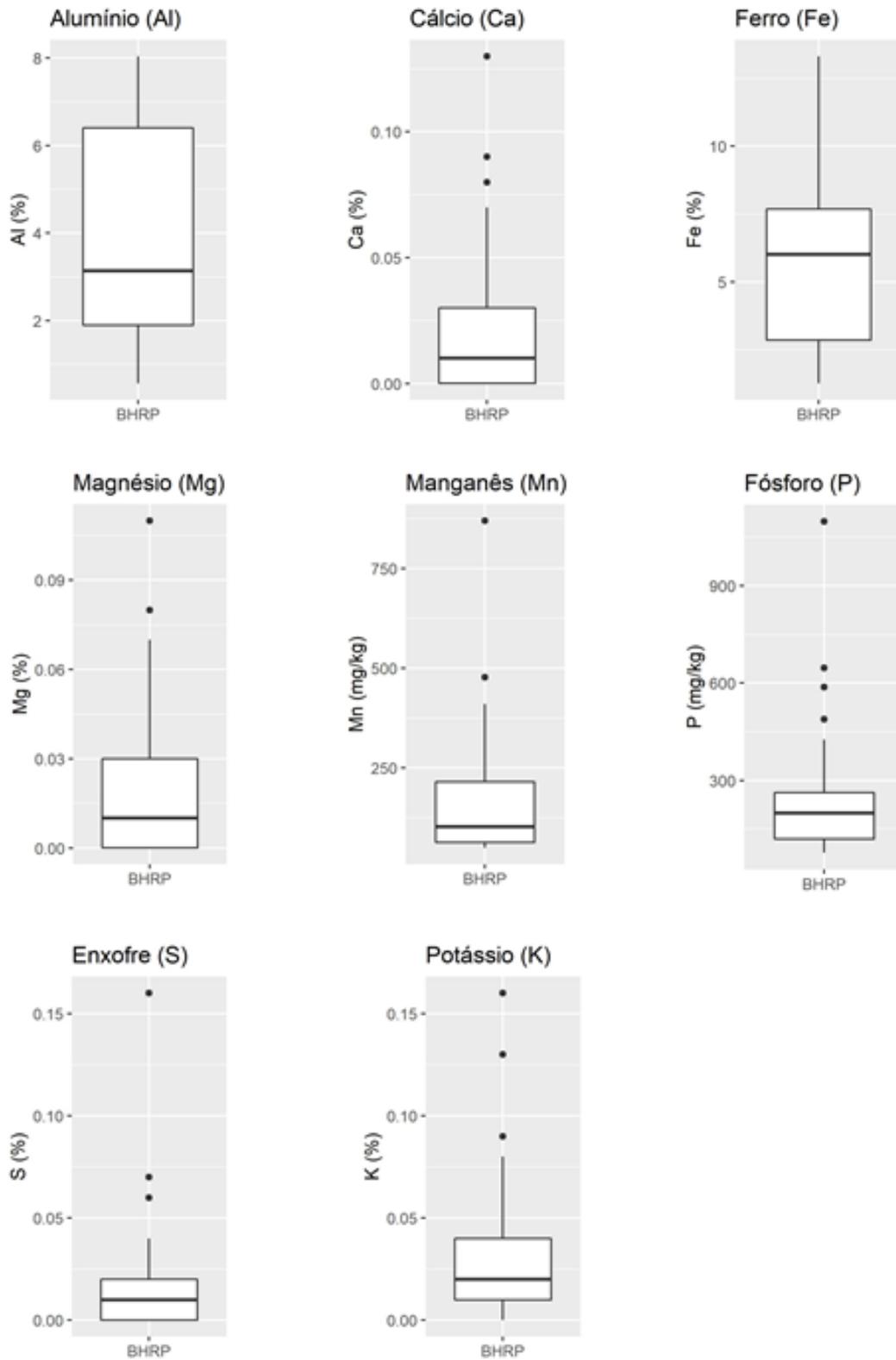
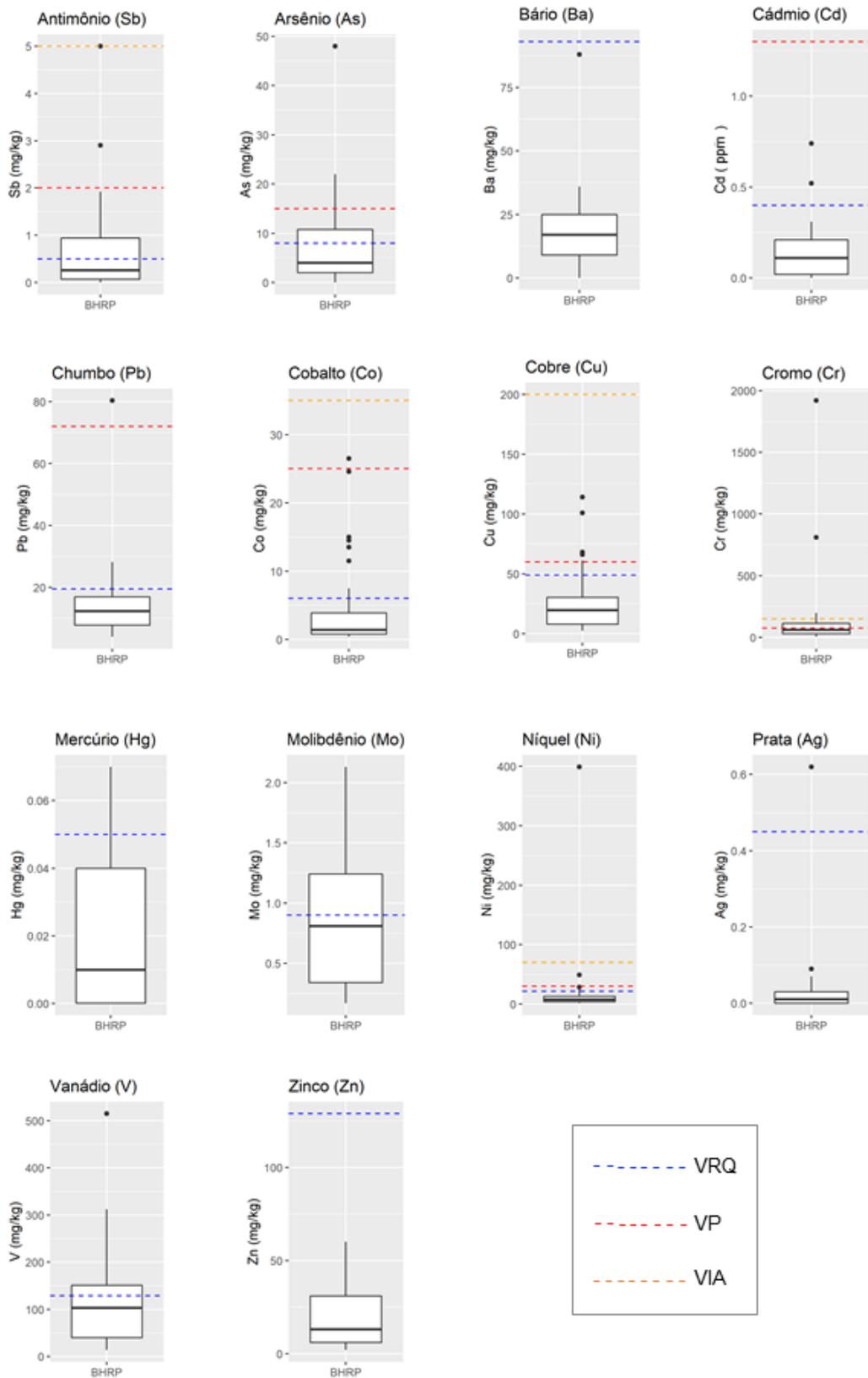


Figura 113: Teores de metais (mg/kg) registrados na Bacia do Rio Paraopeba, de acordo com o Atlas Geoquímico da Bacia do rio São Francisco (CPRM, 2018).



VRQ = Valores de Referência de Qualidade, VP = Valor de Prevenção e VIA = Valor de Investigação Agrícola.

Ao analisar o restante dos dados foi possível verificar que houveram amostras em que os elementos ultrapassaram os valores orientadores. Entre os elementos analisados, apenas o Bário e Zinco apresentaram teores abaixo do VRQ em todas as amostras. Os elementos Arsênio, Chumbo, Cobalto e Cobre apresentaram cerca de 13,8%; 3,44%; 3,44% e 17,24% dos resultados acima do VP. A amostra coletada no município de Brumadinho apresentou valores acima do VP para Cobre e Cobalto.

Algumas amostras também apresentaram elementos com valores que excederam o VP e VIA, como é o caso dos elementos Antimônio, Cromo e Níquel. Para o Antimônio, o valor máximo detectado foi de 5 mg/kg, no município de Pará de Minas, alcançando o VIA (5 mg/kg). Outros dois pontos em Brumadinho e Mateus Leme apresentaram valores acima do VP (2 mg/kg) para este elemento.

Já para o Cromo, o valor máximo detectado nos dados foi o de 1920 mg/kg, no município de Cristiano Ottoni, representando um *outlier*, ou valor anômalo, frente ao restante dos dados, uma vez que excede 25 vezes o VP (75 mg/kg) e 12,8 vezes o VI (150 mg/kg), o segundo valor mais alto foi registrado no município de Brumadinho (811 mg/kg). Os autores destacam que no estudo o elemento cromo ocorre de forma marcante na BHSF, com uma faixa extensa de áreas onde as concentrações excedem os valores máximos permitidos pela legislação. Os mesmos mencionam ainda que essa condição pode estar relacionada tanto a fatores geogênicos quanto antropogênicos.

Para o elemento Níquel, foram registrados quatro pontos que excederam o VRQ (21,5 mg/kg), três que excederam o VP (25,5 mg/kg) e dentre estes, um que excedeu o VIA (70 mg/kg), sendo este último localizado no município de Brumadinho, e os demais que excederam o VP em Paraopeba e Caetanópolis, ambos municípios localizados na Região 3.

Os autores evidenciaram que por se tratar de uma região impactada, com grandes áreas de mineração, plantações, pecuária, além de possuir grande influência de parte da região metropolitana de Belo Horizonte, esta apresenta diversas áreas com concentrações elevadas para determinados elementos. **Para eles, as causas do enriquecimento de alguns metais podem ser naturais, devido aos elevados teores de fundo (*background*) de elementos em rochas e solos, uma vez que se trata de região com importantes jazimentos de ferro e ouro, ou antrópicas, devido à poluição causada pela atividade humana.**

A partir dos resultados de interesse, foi possível evidenciar que o município de Brumadinho foi o que, dentro da BHRP, apresentou maior número de elementos, ultrapassando

os valores de referência de qualidade do solo. Este município é reconhecido pelo forte histórico de mineração de ferro e pelas extensas áreas de exploração do minério. Podendo estas alterações estarem diretamente relacionadas ao histórico de uso do solo no município.

É fato que o estado de Minas Gerais apresenta grande variação dos teores de metais nos solos conforme sua grande diversidade geológica, no qual determinadas litologias apresentam valores naturais muitas vezes maiores que os valores ditos de qualidade natural do estado e referenciados na D.N. COPAM nº 166/2011 (Souza et al, 2015). Sendo assim as alterações detectadas podem estar relacionadas a valores naturais maiores, bem como pelo histórico de uso e ocupação da região é possível inferir também que os locais onde os teores de alguns elementos excedem o VP e VIA precisam ser melhor investigados a fim de verificar se essas alterações são de origem antrópica, impedindo o aumento na acumulação destes metais, bem como assegurando medidas de proteção à saúde das populações que estão próximas a essas áreas.

ii) após o rompimento (Bacia do Paraopeba)

Ao realizar uma busca detalhada nos estudos produzidos pelos órgãos ambientais e instituições do setor público, que estiveram na linha de frente dos diagnósticos realizados na bacia do Paraopeba após o rompimento, não foi identificado nenhum estudo avaliando teores de metais no solo. Esta é uma situação preocupante, uma vez que diversas áreas de planície inundável alcançadas pelo rejeito, podem ter sido contaminadas, bem como pessoas e animais que vivem e acessam/acessaram essas áreas, submetidas ao risco de danos à saúde. Esta observação parece estar relacionada ao fato de que o volume de rejeito liberado no rio Paraopeba não provocou o soerguimento do rio e o alcance das planícies inundáveis e terraços fluviais, logo após o rompimento.

Dito isso, foi feita a busca por publicações científicas em revistas indexadas e revisadas por pares, na tentativa de obter dados de pesquisas que adotaram métodos consistentes e confiáveis em seu escopo, desenvolvidas até a presente data. Destes esforços, foi possível reunir apenas um estudo, publicado em periódico, envolvendo a coleta e análise de teores de metais em amostras de solo na bacia do Paraopeba pós rompimento. É de ciência da ATIR3 que estudos envolvendo análises de solo à margem do rio Paraopeba foram realizados pela Universidade Federal de Lavras, a mando da empresa Vale. Porém até o momento os dados ainda não foram

compartilhados com as Assessorias Técnicas atuantes em todas as regiões e IJs, e por isso não puderam ser utilizados para compor o presente trabalho.

A. Occurrence and abundance of clinically relevant antimicrobial resistance genes in environmental samples after the Brumadinho dam disaster, Brazil. Furlan et al., 2020.

Tradução: Ocorrência e abundância de genes de resistência antimicrobiana clinicamente relevantes em amostras ambientais após o desastre da barragem de Brumadinho, Brasil.

O objetivo principal deste trabalho foi detectar a ocorrência e abundância de genes de resistência antimicrobiana clinicamente relevantes em amostras ambientais de solo, água e sedimentos, após o rompimento da barragem de Brumadinho. Segundo os autores, o alto teor de metais pode fornecer um ambiente adequado para a transferência horizontal de genes, incluindo genes de resistência antimicrobiana (ARGs). A quantificação dos teores de metais no solo, sedimento e água foram necessários para avaliar a influência do rompimento da barragem nas comunidades microbianas.

A coleta foi realizada entre 13 a 17 de fevereiro, menos de 30 dias após o rompimento, em 10 pontos diferentes localizados nos municípios de São Gonçalo do Abaeté, Três Marias, Felixlândia, Fortuna de Minas, Pará de Minas, Juatuba e Brumadinho. As amostras de solo foram coletadas em locais onde dois rios (rio São Francisco e Paraopeba) e a barragem de Três Marias estão localizadas, sendo divididas em 4 pontos não afetados (S1, S2, S3 e S4) e 6 afetados (S5, S6, S7, S8, S9 e S10) pelo rompimento. As amostras de solo foram coletadas em locais próximos às margens dos rios. O método de extração para amostras foi realizado de acordo com Batista et al. (2009) com modificações, conforme relatado pelos autores. Em 0,1 g de cada amostra foram adicionados 1 mL de ácido nítrico a 50% (v/v) e, em seguida, as amostras foram incubadas a 90° C por 24 h. Posteriormente, cada amostra foi sonicada em uma sonda ultra-sônica (frequência de 20 KHz e 50 W de potência) por 2 min.

Os teores de cada metal analisado foram extraídos da Tabela 3 (pag. 4) da sessão Resultados do Trabalho e estão apresentados na Tabela 28, para melhor visualização.

Tabela 28: Concentração dos metais nas amostras de solo coletadas. Fe = Ferro, Al = Alumínio, Cu = Cobre, Mn = Manganês, Cd = Cádmio, Ni = Níquel, Zn = Zinco, As = Arsênio, Co = Cobalto, Pb = Chumbo e Cr = Cromo.

PONTOS	AMOSTRA	TIPO	CIDADE	METAIS										
				Fe	Al	Cu	Mn	Cd	Ni	Zn	As	Co	Pb	Cr
S1	SoSFR1-S1	Controle	São Gonçalo do Abaeté	36179,1	60447,3	17,8	602,2	1,1	16,7	308,7	3,5	10,6	22,9	152,2
S2	SoSFR2-S2	Controle	Três Marias	92678,1	42634	20,5	566,9	1,1	115,9	296,8	2,4	10,1	21,5	102,5
S3	SoTMD1-S3	Controle	Três Marias	48747,9	61606,1	15,5	182,3	0,1	9,6	46,3	2,6	33,8	16,1	98,9
S4	SoPR1-S4	Controle	Felixlândia	2237,2	43158,7	21	305	0,04	2,5	21,7	0,6	10,8	9,2	32,3
S5	SoPR3-S5	Impactada	Fortuna de Minas	38163,5	73397,4	12,5	804,4	0,04	12,05	40,2	3,4	8,7	10	54,9
S6	SoPR3-S6	Impactada	Pará de Minas	52940,4	76689,2	21	1786,8	0,1	20,9	108,8	6	14	13,1	76,7
S7	SoPR4-S7	Impactada	Juatuba	40769,9	60620,2	13,2	938,6	0,05	13,8	39,8	3,9	9,1	13	51
S8	SoPR5-S8	Impactada	Brumadinho	51725,6	73566,7	19,8	1560,9	0,06	21,2	37,7	5,1	13,9	10,4	79
S9	SoPR6-S9	Impactada	Brumadinho	67852,4	82504,1	30	3346,9	0,1	30,3	90	6,3	22,4	14,9	101,2
S10	SoPR7-S10	Impactada	Brumadinho	112025,6	43478	20,5	4128,7	0,1	13	28,6	0,9	10,4	8,5	10,6

Adaptado de Furlan et al. (2020).

Os valores para os metais registrados no solo foram variáveis, havendo alguns que excederam o VQ e VP tanto para áreas impactadas quanto para não impactadas. Há de se considerar que não foram utilizados critérios específicos para classificar os pontos nestas duas categorias. Os autores apenas mencionam que devido aos resultados mais alterados nos pontos S5 a S10 estes foram indicados como as áreas impactadas e as demais não impactadas. Como as amostras foram coletadas às margens do Paraopeba e São Francisco (Três Marias), não pode ser descartada a possibilidade de qualquer influência da deposição dos rejeitos nas margens do rio e conseqüentemente nos resultados.

Ao analisar os resultados, é possível identificar que os **teores de Fe foram consideravelmente maiores nas amostras de solo das áreas impactadas**. Mesmo não possuindo valores orientadores para este elemento, é notável a diferença expressiva, principalmente no Ponto S10 que apresentou o maior teor (112.025,6 mg/kg). Este ponto está localizado no município de Brumadinho, local mais próximo ao ponto do rompimento da barragem. **Os teores de Al e Mn também foram muito maiores nas áreas impactadas**. O

valor médio de Mn encontrado nestas áreas foi cerca de 4 vezes maior do que nas não impactadas. O maior teor registrado para Al (82.504,1mg/kg) e Mn (3.346,09 mg/kg) também foi no município de Brumadinho, ambos no ponto S8. Para estes mesmos elementos, **valores considerados altos também foram verificados em locais afetados nos municípios de Pará de Minas e Fortuna de Minas, que distam mais de 50 km do ponto do rompimento. Este fato chama a atenção para o provável carreamento dos metais em função do fluxo hídrico do rio Paraopeba e a consequente alteração na qualidade do solo ao longo da calha.**

Ao comparar os resultados dos metais que possuem valores orientadores preconizados na DN COPAM 166/2011, é possível identificar que apenas Cu e As não apresentaram valores acima dos Valores de Referência de Qualidade. Entre os demais elementos Ni, Zn, Co, Pb e Cr apresentaram valores superiores aos Valores de Prevenção (VP), o que aciona um sinal de alerta para a qualidade do solo, uma vez que as suas funções principais podem estar sendo comprometidas devido ao teor elevado destes elementos. O elemento Cr foi o que apresentou mais registros de teores excedendo o VP, tanto em áreas não impactadas quanto impactadas.

A partir dos resultados foi possível evidenciar que os teores de metais registrados nas áreas afetadas, principalmente os relacionados à composição do rejeito (Fe, Al, Mn), foram notoriamente maiores nas áreas afetadas. Os autores verificaram ainda que **nas áreas impactadas foi registrada maior diversidade e abundância de ARGs clinicamente relevantes**, o que para eles reforça a conclusão de que a **ocorrência de altos teores de metais no ambiente exerce uma pressão seletiva para ARGs**. Para as áreas não impactadas que apresentaram valores ligeiramente acima do VP e Valor de Investigação (VI) na bacia, os autores relacionaram ao histórico de poluição na região, já verificado por outros autores como Savassi et al (2016).

3.5.2 Estudos relacionados e possível cenário de danos

O rompimento da barragem de Fundão no distrito de Bento Rodrigues, município de Mariana, é considerado o maior desastre ambiental já ocorrido no Brasil em função da quantidade de rejeito despejada no Rio Doce (cerca de 50 milhões de m³) e da dimensão das áreas afetadas. Desde então uma série de estudos vêm sendo desenvolvidos para avaliar as alterações no meio físico, biótico e abiótico. Dentre estes, os voltados ao diagnóstico e

monitoramento dos efeitos do rompimento na qualidade do solo das áreas afetadas. Uma vez que a quantidade e complexidade dos danos ambientais gerados tanto na bacia do Rio Doce quanto na Bacia do Paraopeba se assemelham em muitos aspectos decidiu-se por usar estes estudos como possível cenário de danos para a bacia do Paraopeba e conseqüentemente para a Região 3.

É fato que o volume de rejeitos liberados no acidente/crime de Mariana é expressivamente maior do que no rompimento da barragem de Brumadinho. O que implica que a dimensão dos impactos nos solos da região do rio Doce também foi muito mais intensa, em vista do processo de soerguimento do volume de água, sedimento e rejeito, bem como da erosão e deposição imediata do rejeito no solo das margens e planícies de inundação. Sendo assim, informações derivadas dos estudos pós rompimento na bacia do rio Doce, serão utilizadas neste diagnóstico como referência para compreensão das possíveis alterações no solo afetado na Bacia do rio Paraopeba, uma vez que mesmo não tendo sido afetadas de forma imediata após o rompimento, estas áreas foram alcançadas pelas inundações provocadas no período chuvoso provocando o carreamento e deposição do sedimento+rejeito nas margens e planícies inundáveis da bacia. A formação desta nova camada de solo se assemelha nas duas situações, bem como a composição do rejeito derivado da exploração do minério de Ferro. Sendo assim, alguns estudos envolvendo a análise de teores de metais e o estudo das alterações físico-químicas nos solos da Bacia, pós rompimento, foram utilizados para compor um cenário de referência, uma vez que os estudos dos danos ao solo na Bacia do rio Paraopeba ainda são escassos.

a) IBAMA (2015). *Laudo Técnico Preliminar. Contexto do Rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana.*

Emitido logo após o rompimento, em novembro de 2015, este estudo avaliou os impactos ambientais decorrentes do desastre/crime envolvendo o rompimento da barragem de Fundão. Não foram coletadas e analisadas amostras de solo, devido seu caráter preliminar, porém as visitas *in loco* nas regiões afetadas orientaram a formulação de uma nota técnica no qual o órgão aponta o risco potencial do rejeito para os solos, ao longo do tempo. Segundo os profissionais, o rejeito composto de material inerte, sem matéria orgânica, poderia vir a causar **alterações nas características físico-químicas no solo, provocar alterações no pH e**

consequentemente afetar o restabelecimento e desenvolvimento de espécies locais. Os autores alertaram ainda para os efeitos dessas alterações, a médio e longo prazo, na modificação dos habitats e na composição das populações remanescentes.

b) Embrapa (2016), “Avaliação dos Impactos Causados ao Solo pelo Rompimento de Barragem de Rejeito de Mineração em Mariana, MG: Apoio ao Plano de Recuperação Agropecuária”

Elaborado também em novembro de 2015, logo após o rompimento, este estudo envolveu uma série de atividades de campo e coletas de amostras do material depositado, bem como do solo natural, a fim de identificar as variações na constituição do material. Participaram do estudo a Embrapa e outros órgãos do estado como EPAMIG, Emater-MG e representantes de órgãos municipais. Os técnicos descreveram minuciosamente as **alterações provocadas inicialmente pela degradação e erosão da superfície das áreas alcançadas pelo rejeito, seguida pela deposição do material carregado ao longo do percurso.** A deposição do rejeito nas margens foi apontada pelos técnicos como uma fonte de manutenção do material em suspensão no rio, a longo prazo, uma vez que seria carregado constantemente na estação chuvosa.

Foram coletadas amostras de solo em 10 pontos de amostragem, ao longo das áreas afetadas nos municípios de Mariana, Barra Longa e Rio Doce. Para fins comparativos, algumas amostras foram coletadas em áreas naturais, todas em uma profundidade de 0 a 20 cm. Os resultados evidenciaram que o material depositado era homogêneo, tanto na granulometria, com classe textural francoarenosa contendo elevados teores de areia fina e silte, quanto nos elementos quantificados em condições de campo e laboratório (P, K, Ti, Mn, Fe, Zn, Rb, Sr, Zn e Pb). Em relação às características físicas influenciadas pela composição granulométrica do material, os técnicos alertaram para a provável **ocorrência de um arranjo compacto das partículas com expressivo adensamento após a secagem vindo a evoluir para uma estrutura compactada e com baixa densidade.** Os metais analisados não apresentaram alteração acima dos valores de prevenção, sendo avaliada conforme o que preconiza a Resolução CONAMA/2009. Para fertilidade foram detectados altos valores de pH e quase ausência de Al trocável apontando para uma condição de deficiência. O diagnóstico final dos técnicos foi de que estas áreas impunham fortes limitações ao reaproveitamento agrícola e ainda para recuperação ambiental.

c) Schaefer et al. (2016), *Paisagens de lama: os tecnossolos para recuperação ambiental de áreas afetadas pelo desastre da barragem do Fundão*

Neste estudo, os autores avaliaram as alterações nas características físicas e químicas do solo das zonas ribeirinhas afetadas. O alerta feito no relatório da Embrapa foi confirmado, uma vez que o estudo detectou que, além do **enterramento dos solos naturais** e do **assoreamento** pelos sedimentos ditos tecnogênicos de origem minerária, **alterações significativas nas características do solo como densidade, pH, CTC (Capacidade de Troca Catiônica) e teor de matéria orgânica** foram provocadas pelas transformações pedogenéticas derivadas do contato com o material que se tornou a nova camada de solo superficial. Os autores chamaram a atenção para **os problemas físicos no solo, que por vezes, podem ser até maiores que os químicos no processo de recuperação ambiental**. Valores extremos de densidade do solo foram registrados ao longo do trecho do rio (0,94 a 2,38 g/cm³), no qual **o assentamento e selamento superficial do solo**, após o período de chuva na região, contribuiu para a **formação de uma crosta superficial de areia fina/silte muito dura à penetração** (Figura 114). Além disso, a erosão do material fino, mais facilmente dispersável, deixa para trás o material residual rico em areia e silte, altamente compactado (*hard-settings*). Essas alterações físicas estão diretamente relacionadas à composição e granulometria do rejeito depositado nestas áreas.

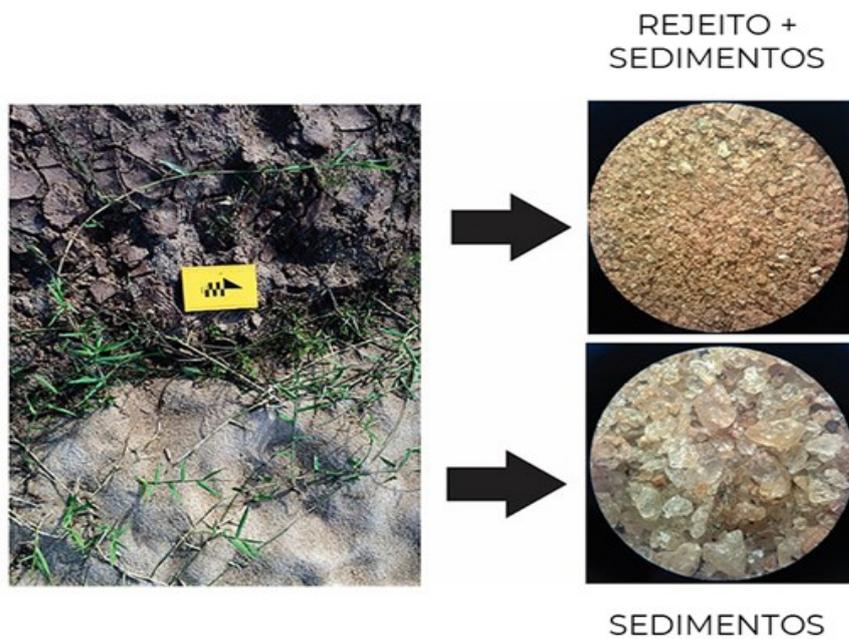
Em trabalhos que avaliaram a composição do sedimento superficial deixado na porção extra da calha do rio Doce após as inundações, como os de Duarte et al. (2020) e Quaresma et al. (2020), por exemplo, estes identificaram uma granulometria muito mais fina do que comumente era deixado após uma enchente (Figura 115).

Figura 114: Registro da deposição acentuada de rejeito em um terraço fluvial adjacente à barragem de Candonga (à esquerda), e o detalhamento de um perfil de solo evidenciando a compactação da lama alcançando camadas mais profundas do solo (à direita).



Fonte: Schaefer et al (2016).

Figura 115: Imagem ampliada das diferenças granulométricas encontradas antes e após o rompimento da Barragem de Fundão nas zonas de deposição do rejeito.



Adaptada de Duarte, et al. (2020).

d) *Segura et al. (2016), Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil) - Riscos potenciais do resíduo do rompimento da barragem da mina da Samarco (Bento Rodrigues, Brasil)*

Neste estudo os autores avaliaram as características químicas e de citotoxicidade dos rejeitos da barragem. Foram coletadas amostras de solo, água do rio e rejeito no entorno de Bento Rodrigues, local mais próximo ao ponto do rompimento da barragem, seis dias após o rompimento. Os resultados mais preocupantes abordados pelo estudo estão relacionados ao **potencial de citotoxicidade e danos ao DNA exibidos na lama e no solo, e a alta fração mobilizável de Al, As, Ba, Fe, Mn, Pb e Sr** nas amostras do rejeito, que denota que **estes elementos podem migrar facilmente para os sedimentos e água do mar.**

e) *Guerra et al. (2017), Post-catastrophe analysis of the Fundão tailings dam failure in the Doce River system, Southeast Brazil: potentially toxic elements in affected soils. - Análise pós-catástrofe do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão no sistema do rio Doce, Sudeste do Brasil: elementos potencialmente tóxicos em solos afetados.*

Os autores avaliaram as frações de elementos potencialmente tóxicos no solo afetado pela deposição dos resíduos do rejeito poucos dias após o rompimento em Fundão. Foram coletadas uma série de amostras de solo em áreas controle (12), afetadas (23) e de rejeitos da mina (25) e quantificados os níveis pseudototais dos elementos As, Ba, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V e Zn. Os autores observaram o **enriquecimento notório dos valores de As** (média = 17,6 mg/kg e 12,5 mg/kg) e **Mn** (média = 904 mg/kg e 824 mg/kg) **nas amostras de solo das áreas afetadas e dos rejeitos**, respectivamente, quando comparados com os das áreas controle (média = 5,2 mg/kg de As; média = 579 mg/kg de Mn). **Amostras do rejeito da mina mostraram, ainda, níveis pseudototais de As mais de 10 vezes maiores que o valor de prevenção (15 mg/kg) previsto na legislação (CONAMA, 2009).** Houveram também registros de níveis acima do valor de prevenção para os elementos Arsênio e Bário, em amostras controle. Os autores finalizaram o estudo afirmando que os altos níveis dos elementos As e Mn, mais expressivos nas áreas afetadas e no rejeito mas que também ocorrem nas áreas controle, são elementos com fundo natural alto na região em função do contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero. Ainda sim estes alertaram para o fato de várias amostras ultrapassarem

substancialmente o valor de prevenção, indicando a avaliação dos efeitos destas alterações a longo prazo.

f) *Relatório AMBIOS 2019 - Estudo de avaliação de riscos à saúde humana*

Para realização do estudo, inicialmente, a equipe da Ambios levantou, analisou e avaliou as informações e dados dos estudos ambientais já realizados após o rompimento, sob contratação da empresa Vale e disponibilizados pela Fundação Renova. A segunda etapa consistiu em realizar as análises ambientais próprias, uma vez que houve discordância de análises e diagnósticos realizados, seja pelo fato de utilizarem metodologias que não atendiam aos requisitos dos estudos de ARSH, seja por não apresentarem foco na exposição e riscos à saúde humana.

Entre os estudos avaliados pela Ambios, envolvendo análises de solos, julgou-se importante trazer neste diagnóstico o da empresa Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda intitulado Rompimento da barragem de rejeitos de fundão: Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos (Outubro, 2017) e apresentaram pontos delicados em seu diagnóstico, no qual a AMBIOS fez questão de registrar discordância. A empresa Golder verificou que as amostras de solo não afetado continham elevadas concentrações de vários metais, ultrapassando o VRQ (As, Ba, Sb, Cr, Co, Ni, e Cu), e o VIA (As, Co, Ba e Cr) do COPAM (2011). As amostras de solo afetado também excederam os padrões reguladores para solo para vários metais, sendo similares às de solo não afetado. A empresa também obteve resultados que demonstraram baixa mobilidade dos metais, apontando que todos materiais analisados possuem, em geral, um baixo potencial de mobilização destes metais e que o potencial de mobilização é regido pelos sedimentos e solos naturais presentes nas misturas de **rejeitos/solo/sedimento**. A empresa afirmou nas conclusões do estudo que, com base em todos os dados alcançados, a mobilização de ferro e manganês a partir dos rejeitos presentes no sistema fluvial não é considerada como uma preocupação do ponto de vista biogeoquímico.

Para a equipe da Ambios ao fazer essa afirmação a empresa desconsidera as concentrações traço de metais pesados na lama de rejeito que, diferente da dinâmica dos contaminantes orgânicos, “não desaparecem” uma vez emitidos para os compartimentos ambientais. Continuam ainda, ressaltando que a dinâmica ambiental de mecanismos de

transporte dos contaminantes é diversificada ao longo da Bacia do Rio Doce, e que **a ocorrência de fenômenos naturais sazonais com capacidade de remobilização dos componentes da lama do rejeito podem gerar novas fontes de enriquecimento e biodisponibilização de metais pesados**. Além disso, relembram o fato **da quantidade de rejeito depositado nas margens, terraços fluviais e ambientes estuarinos, atuar quase que como uma fonte perene de emissão dos metais pesados constituintes**. A equipe destacou ainda que a participação da atividade microbiana do solo e sedimento não foi considerada na análise, o que pode comprometer tais conclusões, principalmente nos ambientes estuarinos.

Seguindo para as análises específicas das AMBIOS (aqui destacadas as referentes ao solo), foram coletadas pela empresa amostras de solo superficial (camada < 10cm) nas áreas onde o rejeito depositado formou o que a empresa caracteriza de “novo solo” das áreas de várzea. Foram priorizadas as áreas onde foram observados cultivos de alimentos (principalmente frutas e tubérculos) ou onde havia indícios de cultivos de pastagens. Foram coletadas amostras em diferentes localidades dos municípios de Mariana e Barra Longa.

De forma geral o estudo verificou que **as amostras de solo superficial** para o município de Mariana (vide Tabela 7 no documento), **apresentaram concentrações muito altas de Cádmio (15,87 mg/Kg), excedendo em mais de 15 vezes o VP (1,3 mg/Kg)** além do VI Agrícola e Residencial (3 e 8 mg/kg, respectivamente). Para o município de **Barra Longa o cádmio apresentou concentrações ainda mais altas, de até 22,47 mg/Kg, sendo superior em mais de 17 vezes a referência utilizada**. As maiores concentrações de cádmio foram correlacionadas com as maiores concentrações de ferro e manganês no “novo solo” formado pela deposição da lama de rejeitos, e por isso o elemento foi escolhido como contaminante de interesse no estudo.

Os autores destacam que os fatores importantes que afetam a mobilidade de cádmio são: pH, reações de redução de oxidação e formação de complexos. A adsorção neste caso aumenta com o pH, à medida que ele vai formando compostos, o que pode até ser irreversível. A matéria orgânica foi identificada, na consulta de outros trabalhos, como mais eficaz que os componentes inorgânicos na manutenção do elemento indisponível. Os mesmos verificaram que a maior parte do Cádmio (90%) dos solos permanecem na parte mais superficial, até 15cm e destacaram, que segundo outros autores, a mobilidade e disponibilidade deste metal para as plantas é menor em zonas alagadas do que em áreas de solos de terras altas. Para os demais metais que apresentaram teores alterados (Zn, Cu, Ni, Pb), os fatores pH e teor de matéria orgânica do solo também são determinantes na capacidade de adsorção dos metais.

Em relação aos **riscos à saúde das populações**, o solo contaminado pode ser um foco de exposição aos moradores da área afetada (Figura 116). Esta exposição pode acontecer no interior das residências pelo transporte do local até as casas, seja por suspensão, deposição e pisoteio. **As principais vias de exposição são pelo contato e absorção dérmica dos componentes químicos do solo**, bem como **ingestão**, sendo as crianças neste caso o grupo de maior risco. A equipe da Ambios reconhece que pelos resultados encontrados, a condição atual dos contaminantes é da forma não disponível, porém reconhece também que esta condição pode se alterar ao decorrer do tempo, visto a ocorrência de eventos naturais e mecanismos de transformação e transporte que podem mudar essa condição. A equipe assume que não é possível afirmar que uma maior disponibilidade dos metais e absorção pelos vegetais relacionados, não possam ocorrer e gerar rotas de exposição humana no futuro. Seguem destacando que o **solo tende a atuar como uma fonte constante de emissão de metais**, com uma rota que se iniciou **desde o passado**, com o rompimento, e **no presente**, com o contato direto, inalação e ingestão involuntária de poeira ou material particulado arrastado pelos ventos, bem como com a ajuda das chuvas que arrastam o material para os sedimentos das drenagens, sendo estas possíveis **rotas de exposição potencial futura** (Figura 117). Assim sendo, os autores recomendam que tanto nas áreas de deposição do rejeito quanto nos solos superficiais que, em decorrência dos ventos dominantes, possam ser contaminados pela poeira, devem ser monitorados e evitar a produção de alimentos nessas áreas.

Figura 116: Rotas de exposição potencial completa por meio do solo superficial. Fonte: Ambios (2019).

ELEMENTOS DA ROTA DE EXPOSIÇÃO						
ROTA NOME	FONTE	MEIO AMBIENTE	PONTO DE EXPOSIÇÃO	VIA DE EXPOSIÇÃO	POPULAÇÃO RECEPTORA	TEMPO
Solo superficial	Solo superficial contaminado	- Solo Contaminado ; - Poeira	- Nas residências - Outros locais de contato	- Ingestão - Inalação - contato dérmico	- Residentes - Pessoas c/ atividades nessas áreas	- Passado, - Presente

Figura 117: Rotas de exposição potencial futura por meio do solo superficial. Fonte: Ambios (2019)

ELEMENTOS DA ROTA DE EXPOSIÇÃO						
ROTA NOME	FONTE	MEIO AMBIENTE	PONTO DE EXPOSIÇÃO	VIA DE EXPOSIÇÃO	POPULAÇÃO RECEPTORA	TEMPO
Solo superficial	Solo superficial contaminado	- Solo Contaminado; - Poeira	- áreas c/ deposição da poeira na direção dos ventos predominantes	- Ingestão - Inalação - contato dérmico	- Residentes - Pessoas c/ atividades nessas áreas	-Futuro

g) Davila et al (2020), Heavy metals in iron ore tailings and floodplain soils affected by the Samarco dam collapse in Brazil - Metais pesados em rejeitos de minério de ferro e solos de várzea afetados pela rompimento da barragem da Samarco no Brasil

Este estudo foi realizado na área entre o rio Gualaxo do Norte (cerca de 5 km a montante do distrito de Bento Rodrigues) e a barragem de Candonga, ambas áreas próximas ao ponto do rompimento. Amostras de solos aluviais (0-20cm), sedimentos de rio e rejeito foram coletadas em agosto de 2017. Amostras de rejeito dentro da barragem de Fundão também foram coletadas antes de serem liberadas no rompimento, porém não foram incluídas em nenhum grupo para comparação. Os autores quantificaram os teores de As, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, V, Zn, Fe e Mn. Uma avaliação de risco à saúde humana associada à ingestão de As, para adultos e crianças, de forma separada, também foi feita. Os autores apresentam os resultados dos níveis de metais obtidos agrupando rejeitos depositados em várzeas, retirados do meio ambiente e armazenados em aterro em um grupo (G1) e sedimentos e solos controle juntos (G2) em outro.

Os resultados apresentados evidenciaram que os metais com maior teor no rejeito da barragem de Fundão foram Fe, Mn e Cr, sendo que os elementos As e Co tiveram valores abaixo do limite detectável do método. A ordem decrescente dos teores de metais pesados obtidos para as amostras de rejeitos foi: Mn > Ba > Zn > Cr > V > As > Cu > Ni > Co e para os metais das amostras de solo e sedimento não afetado foi Mn > Ba > As > Cr > V > Zn > Ni > Cu > Co. **A maioria dos teores de metais pesados foram menores no rejeito depositado nas várzeas do que nas amostras de solo e sedimento não afetado**, exceto para Fe, que foi relativamente maior que o de solos e sedimentos, e até do rejeito da barragem. Amostras não afetadas pelo rompimento apresentaram mais metais excedendo os VRQs do que as do rejeito

depositado, a exemplo dos metais As, Ba, Co e Ni. **Os autores relacionaram os altos teores de As detectados nos solos não afetados ao histórico de mineração de Ouro, presente na região desde o século XVII**, uma vez que este elemento está associado à composição natural do Au do Quadrilátero Ferrífero. Eles chamaram a atenção ainda para o fato de que embora os teores de metais registrados no rejeito da barragem tenham sido mais baixos que nos solos não afetados **o rompimento cumpriu um papel de remover e disseminar solos e sedimentos previamente contaminados, provocando o enriquecimento de metais ao longo da caminho da lama na calha do Rio Doce**. A análise dos riscos de exposição humana ao As evidenciou que a maioria das amostras de solos e sedimentos não afetados apresentam risco carcinogênico superior ao valor aceitável, sendo que as amostras dos rejeitos também apresentaram, porém em menor quantidade.

Um ponto crítico notado no escopo deste trabalho, se refere à junção dos resultados de solo e sedimento. Ao fazer a escolha os autores acabam por não proporcionar a caracterização separada dos teores de metais para cada tipo de material. Solos e sedimentos possuem características peculiares que os diferenciam, principalmente para os aspectos químicos, tanto que os valores orientadores para solos, preconizados na Resolução CONAMA 420/2009, são diferentes dos específicos para sedimento, preconizados na Resolução CONAMA Nº454/2012. Os valores orientadores adotados para comparação no estudo são os da DN COPAM nº166/2011, que, baseada na Resolução CONAMA 420/2009, estabelece os valores orientadores para os solos do estado de Minas Gerais. Sendo assim, há de se ter um certo cuidado na interpretação e consideração das conclusões do artigo.

3.5.3 Análise integrada dos resultados e implicações para a região em estudo

Os estudos realizados, até o presente momento, com o objetivo de avaliar as alterações na qualidade do solo da Bacia do Paraopeba à jusante do rompimento, como é o caso da Região 3, ainda são escassos. O fato da calha do rio, nos pontos mais distantes do rompimento, não ter transbordado e depositado de forma imediata o rejeito nos solos de várzea e planícies inundáveis fez com que muitos estudos realizados não considerassem esse compartimento ambiental como afetado.

No entanto, as cheias provocadas no período chuvoso de 2020 provocaram uma série de inundações na região, revolvendo o rejeito depositado junto aos sedimentos fluviais e

depositando este material poluente sob o solo, destruindo áreas de plantio e pastagens, e deixando uma série de áreas inutilizadas em função da incerteza de contaminação do material. Mais um dano grave foi imposto às populações atingidas e mais uma fonte de emissão dos elementos químicos do rejeito na natureza foi gerado. Com base nos poucos dados obtidos para a BHRP, e a partir da análise dos estudos relacionados no contexto da Bacia do rio Doce, é possível dissertar sobre as seguintes consequências geradas ao solo da Região 3:

1. A deposição dos rejeitos no solo das planícies gerou uma fonte de modificação das condições naturais dos solos da Região. O enterramento dos solos naturais com o estabelecimento de uma nova camada superficial, sob forte influência das características químicas do rejeito, é de início a primeira grande alteração. No aspecto químico, por exemplo, verificou-se que os metais que fazem parte da composição básica do rejeito, como Fe, Al e Mn, foram registrados com teores elevados em amostras de solo afetado. Metais como Cr e Ni também apresentaram enriquecimento nestas áreas, excedendo por vezes os valores de prevenção preconizados na legislação.
2. Alterações físicas no solo, provocadas pelo encrostamento e entupimento dos poros, devido ao arranjo das partículas de areia/silte do rejeito, também são uma grande problemática. O selamento superficial do solo contribui para a formação de uma crosta dura à penetração de raízes, prejudicando a recomposição natural da vegetação, por meio da brotação do banco de sementes do solo (neste caso, soterrado). Este fato modifica o estabelecimento de espécies naturais da região, e a longo prazo pode provocar a modificação dos habitats ribeirinhos. O manejo dessas áreas para recuperação ambiental também é um atenuante, já que a alta densidade dificulta o manejo, tornando necessário a intervenção de maquinário especializado, que também pode encontrar dificuldade em função da alta compactação.
3. O potencial de mobilização dos metais pesados pelo solo precisa ser analisado e monitorado a longo prazo, uma vez que mesmo estando adsorvidos e não disponíveis, eventos naturais sazonais como novas enchentes, dispersão do material particulado para outras áreas, entre outros, podem gerar novas fontes de contaminação e enriquecimento, bem como tornar estes metais pesados biodisponíveis para absorção pelos vegetais e carreamento para os canais de drenagem, pela água da chuva. A contaminação do solo

acaba por gerar rotas de exposição atuais e futuras, logo, necessita ser investigada e monitorada.

4. Mais estudos quantificando os teores de metais e compostos orgânicos, bem como as alterações nas características físicas e microbiológicas do solo precisam ser realizados. Além destes, estudos de risco à saúde, envolvendo a quantificação dos metais da camada mais superficial do solo, precisam ser realizados imediatamente a fim de diagnosticar os potenciais riscos a que as populações podem estar submetidas.

3.6 Material particulado e poeira domiciliar

Com o rompimento da Barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão, rejeitos e outros materiais sólidos, provenientes do próprio dique de contenção, foram carreados pela vertente da escosta e depositados ao longo das margens de rios e áreas adjacentes afetadas (PORSANI ET AL., 2019). Apesar das margens do rio Paraopeba na Região 3 não terem sido impactadas imediatamente após o rompimento, como aconteceu na sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão, uma série de enchentes e inundações ocorridas no início de 2020, ressuspendeu diferentes materiais sólidos provenientes do rompimento, que depois ficaram depositados às margens do rio Paraopeba na Região 3 (AECOM, 2020a; AECOM, 2020b; NACAB, 2020).

Os rejeitos e a maior parte do material carreado são compostos por um material granular muito fino (Vide Seção 3.2) que são susceptíveis a emissões fugitivas. Essas emissões fugitivas são causadas pela ação dos ventos em um fenômeno denominado erosão eólica. Fatores que contribuem para essas emissões incluem, fatores climáticos (velocidade, turbulência, temperatura, pressão, umidade e viscosidade), fatores ambientais que podem ser divididos em fatores relacionados a superfície (rugosidade, cobertura, obstrução, temperatura e topografia) e ao solo (grau de material orgânico, textura, densidade e umidade), sendo considerado nesse contexto, um processo complexo (KOK ET AL., 2012). Além disso, outra potencial fonte de poluição associada ao rompimento da barragem da mina do Córrego do Feijão está relacionada a emissões atmosféricas resultantes das medidas de reparação adotadas pela empresa Vale S.A, como a mobilização da poeira por veículos e o próprio manejo do material por máquinas pesadas.

A fim de contextualização, o material particulado é uma mistura complexa de diversos componentes atmosféricos com diferentes características físico-químicas. Sua composição varia conforme as fontes existentes e as características climáticas da região. Devido ao seu diâmetro aerodinâmico ser muito pequeno, esse material fica em suspensão na atmosfera, favorecendo o seu transporte ao sistema respiratório e possíveis danos à saúde humana (WHO, 2006; BRAGA, 2007).

São denominadas como MP10 as partículas inaláveis com diâmetro menor ou igual a 10 μm (também chamado de particulado fino). Já o MP2,5 são as partículas inaláveis ultrafinas, menores ou igual a 2,5 μm que podem penetrar no sistema respiratório até os alvéolos. Ambos os tipos de material particulado podem causar danos à saúde, a depender do nível de exposição e composição do material particulado (LADEN, 2006; ARBEX, 2004). As fontes do MP2,5, são, na maioria dos casos, fontes oriundas de processos secundários devido a emissão de produtos de combustão, como queima de combustíveis e fontes industriais. Já o MP10 tem como fonte principal os processos mecânicos, como a ação do vento sobre solo, atrito do pneu dos veículos em regiões não pavimentadas e emissões pela vegetação.

De maneira simplificada, o tipo de transporte das partículas podem ser classificados em quatro categorias, a depender do tamanho do grão: suspensão a longo prazo ($<20 \mu\text{m}$), suspensão em curto prazo (entre 20 e 63 μm), saltação (entre 63 e 500 μm) e arrasto ($>500\mu\text{m}$). Nos casos específicos relacionados às características do material depositado extra calha, conforme identificado por Duarte et al. 2020 e Quaresma et al., 2020, acredita-se que o principal tipo de transporte e movimento das partículas fugitivas seja por suspensão a longo e curto prazo. Nesses casos, as partículas são carregadas de acordo com a direção do vento e por distância que podem chegar a milhares de quilômetros (NICKLING; NEUMAN, 2009), sendo depositadas em locais com baixa incidência de ventos, se encontrar alguma barreira física ou se começar a chover. De todo modo, esse tipo de transporte é de difícil investigação devido às complexidades de identificação do local de sua deposição.

Desta forma, sistematizar e analisar dados secundários que apontem potenciais danos às famílias atingidas provenientes de emissões fugitivas de materiais particulados provenientes do material depositado extra calha podem fornecer informações importantes para compreender a real magnitude dos danos às famílias atingidas e compreender melhor os riscos a sua saúde.

3.6.1 Estudos e dados para material particulado e poeira domiciliar para Região 3 antes e após o rompimento da barragem.

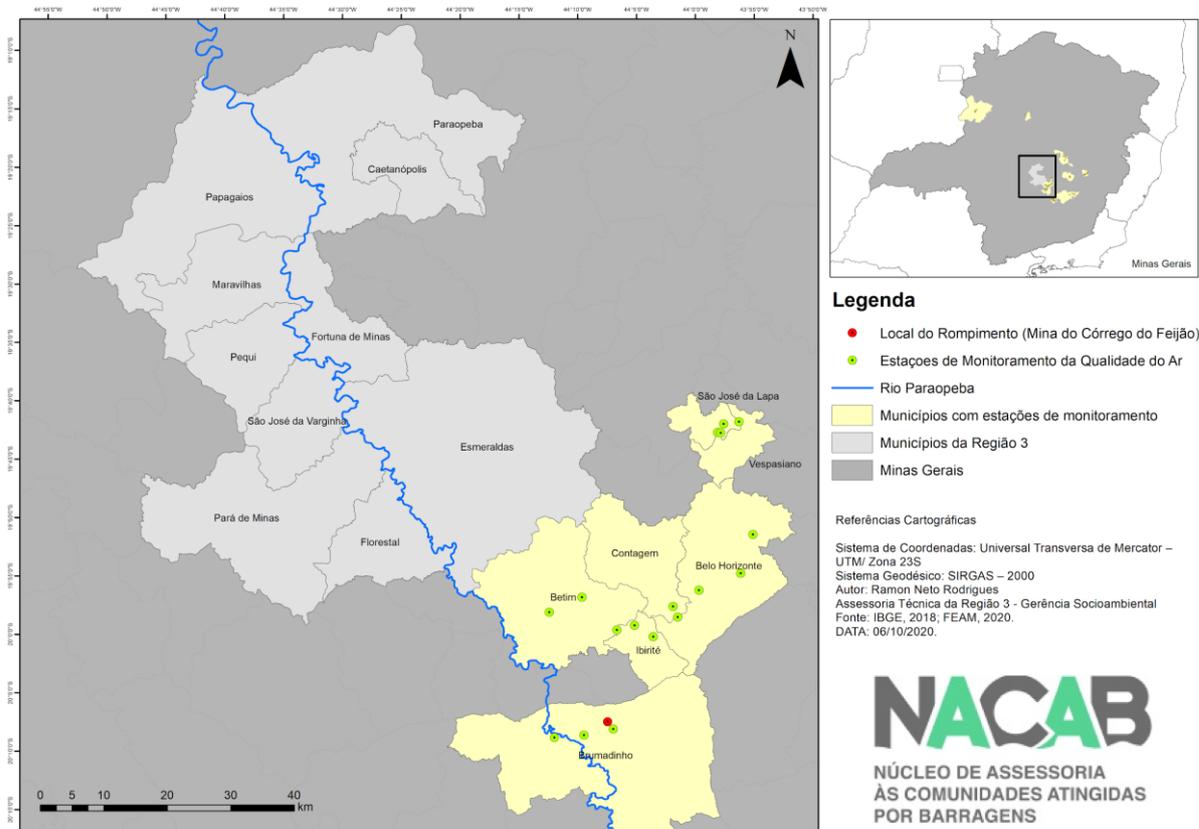
Apesar de uma longa busca nos bancos de dados disponibilizados pelos órgãos públicos e nos principais periódicos de publicações científicas, não foram encontrados nenhum tipo de publicação recente que tenha feito a análise físico-química de material particulado dentro ou próximo às zonas afetadas pela deposição de material extra calha do rio Paraopeba na Região 3.

Estudos relacionados a análise da concentração de material particulado, seja Partículas Totais em Suspensão - PTS, PM10, PM2,5, e poeira domiciliar são complexos e onerosos do ponto de vista financeiro, e assim como outros tipos de análises podem levar mais tempo até serem concluídos e publicados. No caso do rompimento da Barragem da Mina do Fundão em Mariana, MG, o início do monitoramento foi no ano de 2016 e contou com quatro estações automáticas de monitoramento com zona de abrangência restrita aos municípios, Barra Longa - MG e Mariana - MG. No caso da poeira domiciliar, dados referentes a composição química desse componente só foram disponibilizados nos relatórios de avaliação do risco à saúde concluídos após dois anos do rompimento.

Na maioria dos casos isso ocorre, pois estações automáticas de monitoramento de qualidade do ar são equipamentos de alto custo de aquisição, operação e manutenção, e portanto, são instaladas pelos órgãos públicos apenas em locais com comprovada poluição crônica, como é o caso das grandes cidades, zonas metropolitanas, cidades mineradoras e metalúrgicas cujas cavas e centro industrial se encontrem próximas às zonas residenciais. Esse custo alto de aquisição, operação e manutenção também dificulta a execução de pesquisas científicas em uma área com alta representatividade do território.

Atualmente a Rede de Monitoramento de Qualidade do Ar de Minas Gerais, administrada pela Gerência de Monitoramento da Qualidade do Ar e Emissões (GESAR) da Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, possui 58 estações automáticas de monitoramento de qualidade do ar distribuídas em 18 municípios do estado. Desse total, 8 estações estão dentro da bacia do Rio Paraopeba, 3 estações em Ibitaré, 3 estações em Brumadinho e 2 estações em Betim. Não há estações de monitoramento de qualidade do ar, públicas, dentro dos municípios que fazem parte da Região 3 (Figura 118).

Figura 118: Localização das estações de monitoramento automático da Rede de Monitoramento de Qualidade do Ar de Minas Gerais, dentro do contexto da Região 3.



3.6.2 Estudos relacionados e possível cenário de danos

Diante dessa falta de informações sobre a qualidade do ar e poeira domiciliar e pensando na possibilidade de se construir possíveis cenários de danos para a Região 3, optou-se por apresentar os dados disponíveis para as estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar de Brumadinho (2015 - 2019), de Barra Longa e Mariana (2016 - 2019). Além disso, será apresentado um resumo dos principais resultados e conclusões do “Estudo de Avaliação de Risco à Saúde Humana em Localidades Atingidas pelo Rompimento da Barragem do Fundão – MG” produzido pela empresa Ambios (AMBIOS, 2019; Tabela 29). Esse tipo de extrapolação só é possível, visto que as características do rejeito depositado na calha extra do rio Paraopeba e rio Doce, são similares (vide 3.1).

Ainda devido a essa insuficiência de dados, não será possível construir uma linha de base (*background*) referente a qualidade do ar preexistente ao rompimento na Região 3, uma vez que todos os dados das estações de monitoramento públicas estão dentro do contexto de centros urbanos e cidades com atividade minerárias, o que não é a característica da região afetada pelo extravasamento da calha do rio Paraopeba na Região 3.

Tabela 29: Fonte dos dados utilizados para composição de um possível cenário de danos associados à concentração de material particulado e poeira domiciliar.

Nº	MUNICÍPIO	NOME DA ESTAÇÃO NO SITE (S.I.A)	EMPRESA RESPONSÁVEL	ANO DE INSTALAÇÃO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		POLUENTES QUALIDADE DO AR AVALIADOS				DISTÂNCIA DO PONTO DE ROMPIMENTO (KM)*
					SUL	OESTE	PM ₁₀	PM _{2,5}	PTS	POEIRA DOMICILIAR	
1	Barra Longa	Estação Centro	Fundação Renova	19/02/2016	-20°16'57.25"	43° 2'25.23"	SIM	SIM	SIM	NÃO	70,1
2	Barra Longa	Estação Gesteira	Fundação Renova	18/05/2018	-20°15'26"	43° 7'27.83"	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	56,4
3	Barra Longa	Estação Volta da Capela	Fundação Renova	10/08/2017	-20°17'15.95"	43° 3'17.68"	SIM	NÃO	SIM	NÃO	68,6
4	Mariana	Estação Paracatu de Baixo	Fundação Renova	01/01/2018	20°18'23"	43°13'47.31"	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	34,6
5	Brumadinho	Estação E.M. Pe. Vicente Assunção	Vale S.A	22/07/2019	-20°8'52.43"	44°11'59.62"	SIM	SIM	SIM	NÃO	13,8
6	Brumadinho	Estação Comunidade do Feijão	Vale S.A	01/01/2015	-20°8'9.13"	44°6'32.19"	SIM	SIM	SIM	NÃO	1,6
7	Brumadinho	Estação Parque da Cachoeira	Vale S.A	30/07/2019	-20° 8'40.02"	44° 9'28.40"	SIM	SIM	SIM	NÃO	6,3
8	Mariana e Barra longa	-	Ambios	2019	-	-	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	N/A

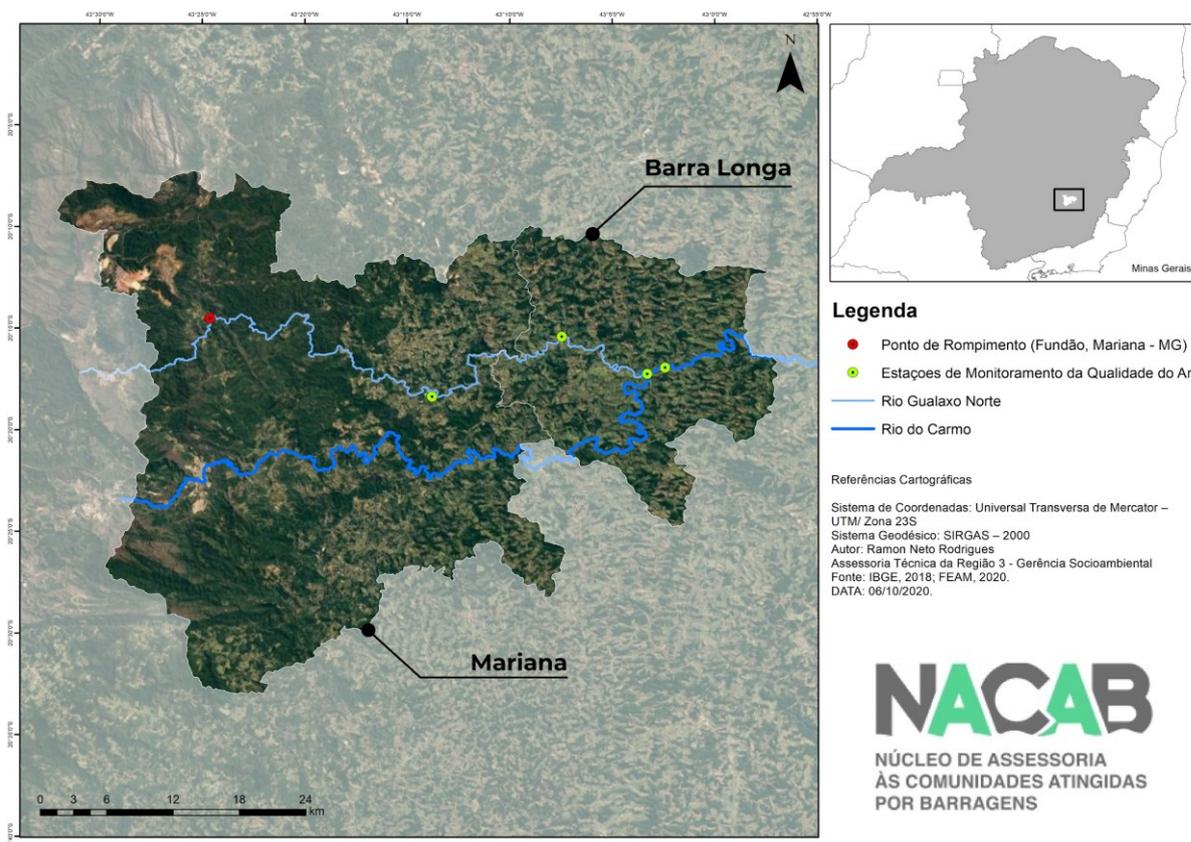
i. Barra Longa e Mariana, Minas Gerais

Após o rompimento da barragem de rejeito de minério de ferro da mina de Fundão, no município de Mariana, MG, uma das ações instituída pela Fundação Renova, foi a instalação de estações automáticas de monitoramento de material particulado nos municípios de Barra Longa e Mariana. No total foram instaladas 4 estações de monitoramento (vide Tabela 30). A primeira estação foi instalada no início de 2016 no centro do município de Barra Longa, Minas Gerais.

Este município foi o único cujo o perímetro urbano foi afetado diretamente pela deposição de rejeito e material carreado pelo rompimento da Barragem de Fundão. Ele está situado no ponto de confluência entre o rio Gualaxo Norte e o rio do Carmo (Figura 119), a aproximadamente 70,1 km de calha do rio Gualaxo Norte ao ponto exato de rompimento. O principal objetivo dessa estação é monitorar as possíveis alterações na qualidade do ar do perímetro urbano, devido a emissões fugitivas oriundas do material seco depositado extra calha

do rio após a inundação. Essa situação é muito parecida ao que foi identificado na Região 3 (AECOM, 2020a; AECOM, 2020b; NACAB, 2020).

Figura 119: Localização das Estações Automáticas de Monitoramento de Qualidade do Ar, dentro dos municípios de Mariana e Barra Longa, Minas Gerais.



Em 2017, mais uma estação foi colocada no distrito de Volta da Capela, pertencente ao município de Barra Longa, MG. Esse distrito está localizado a, aproximadamente, 68,6 km de calha do rio Gualaxo norte ao ponto de rompimento. Já em 2018 foram instaladas mais duas estações de monitoramento de qualidade do ar, uma no distrito de Gesteira, também em Barra Longa e uma no distrito de Paracatu de Baixo, no município de Mariana. O distrito de Gesteira está localizado a 56,4 km de calha do rio do ponto de rompimento e Paracatu de Baixo a 34,6 km. O objetivo dessas instalações, segundo a empresa responsável, era obter melhor representatividade do território e desta forma compreender a real extensão dos danos ao longo da bacia do rio Gualaxo Norte.

Todas as estações de monitoramento citadas ainda estão em funcionamento, porém o período de repasse e atualização dos dados é anual. Sendo assim, os dados disponíveis e analisados para construção desse diagnóstico são referentes a coletas realizadas até o final de 2019. Deve-se ressaltar que apenas a estação de monitoramento do centro de Barra Longa é equipada com os monitores capazes de coletar amostras de PM10, PM2,5 e PTS. As Estações de Gesteira e Paracatu de Baixo monitoram apenas o PM10 e a Estação de Volta da Capela monitora o PM2,5 e o PM10.

Até o final de 2019, foram analisadas 28.414 amostras de PM 2,5, 77.546 amostras de PM10 e 49.860 amostras de PTS. Esse alto número de amostras pode ser obtido graças a alta frequência de amostragem e o processo automatizado instalado pela empresa responsável. É importante ressaltar que não foi possível construir uma linha de base de concentração de materiais particulados antes do rompimento, devido a falta de estações de monitoramento antes da tragédia. Portanto, a comparação deverá ser feita com os valores de referência previstos em legislação e não o cenário existente antes do rompimento.

Os principais resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 30, que traz os dados referentes às quatro estações instaladas no contexto do rompimento de Fundão. Os pontos de atenção em vinho apontam que as médias aritméticas anuais são inferiores aos valores do Padrão Intermediário PI-1, porém superiores ao limite projetado (Padrão Final/PF) definido pela Resolução Conama nº491/2018 e aos limites máximos recomendados pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006).

Os pontos de atenção em vermelho apontam o número de dias em que a média diária foi superior ao limite vigente (Padrão Intermediário/PI-1) definido pela Resolução Conama nº491/2018.

Os pontos de atenção em laranja, apontam o número de dias em que a média diária foi inferior ao limite vigente, mas superior ao limite projetado (Padrão Final/PF) definido pela Resolução Conama nº491/2018 e aos limites máximos recomendados pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006).

Tabela 30: Resumo estatístico dos resultados das estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar em Barra Longa e Mariana, MG.

RESUMO ESTATÍSTICO ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS DE MONITORAMENTO QUALIDADE DO AR		2016			2017			2018			2019			
		PM10	PTS	PM 2,5	PM10	PTS	PM 2,5	PM10	PTS	PM 2,5	PM10	PTS	PM 2,5	
BARRA LONGA	ESTAÇÃO CENTRO	Contagem de amostras	7249	7165	4799	8186	7855	7885	7808	7714	7871	7677	8169	7859
		Média aritmética anual	33,79	88,46	7,95	26,47	54,39	8,72	26,85	53,79	7,47	26,04	48,70	8,78
		Média geométrica anual	n/a	74,35	n/a	n/a	51,97	n/a	n/a	49,40	n/a	n/a	37,43	n/a
		Desvio padrão	28,33	91,98	5,41	17,14	31,82	6,07	14,24	39,43	4,04	17,32	35,26	5,88
		Mínimo registrado	1	3	1	1	1	1	2	6	1	2	8	1
		Máximo registrado	331	939	82	148	149	49	142	568	63	373	922	109
		Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (PI-1; CONAMA 491/18)	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (OMS, 2006/ PF; CONAMA 491/18)	38	n/a	0	3	n/a	2	1	n/a	0	14	n/a	3	
	ESTAÇÃO GESTEIRA	Contagem de amostras						4720				7330		
		Média aritmética anual						18,48				19,68		
		Média geométrica anual						n/a				n/a		
		Desvio padrão						13,72				12,66		
		Mínimo registrado						1				1		
		Máximo registrado						196				126		
		Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (PI-1; CONAMA 491/18)						0				0		
	Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (OMS, 2006/ PF; CONAMA 491/18)						2				1			
	ESTAÇÃO VOLTA CAPELA	Contagem de amostras				3330	3302		8198	7755		8058	7900	
		Média aritmética anual				26,60	50,39		18,01	33,43		34,47	20,07	
		Média geométrica anual				n/a	45,68		n/a	31,35		n/a	32,42	
		Desvio padrão				18,30	36,33		11,72	23,70		26,27	14,05	
		Mínimo registrado				1	1		1	2		2	1	
Máximo registrado					149	364		169	577		903	402		
Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (PI-1; CONAMA 491/18)					0	0		0	0		0	0		
Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (OMS, 2006/ PF; CONAMA 491/18)				4	n/a		0	n/a		37	n/a			
MARIANA	ESTAÇÃO PARACATU DE BAIXO	Contagem de amostras						7518			7472			
		Média aritmética anual						19,66			22,99			
		Média geométrica anual						n/a			n/a			
		Desvio padrão						16,25			14,92			
		Mínimo registrado						1			1			
		Máximo registrado						179			172			
		Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (PI-1; CONAMA 491/18)						0				0		
		Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (OMS, 2006/ PF; CONAMA 491/18)						4				7		

Os dados completos das médias diárias podem ser visualizados no material complementar anexado a este diagnóstico. **Deve-se ressaltar que todos os resultados apresentados abaixo, são fruto de análises estatísticas realizadas em cima dos dados brutos disponibilizados pela Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEAM¹², porém de produção técnica vinculada à Fundação Renova e Vale S.A.**

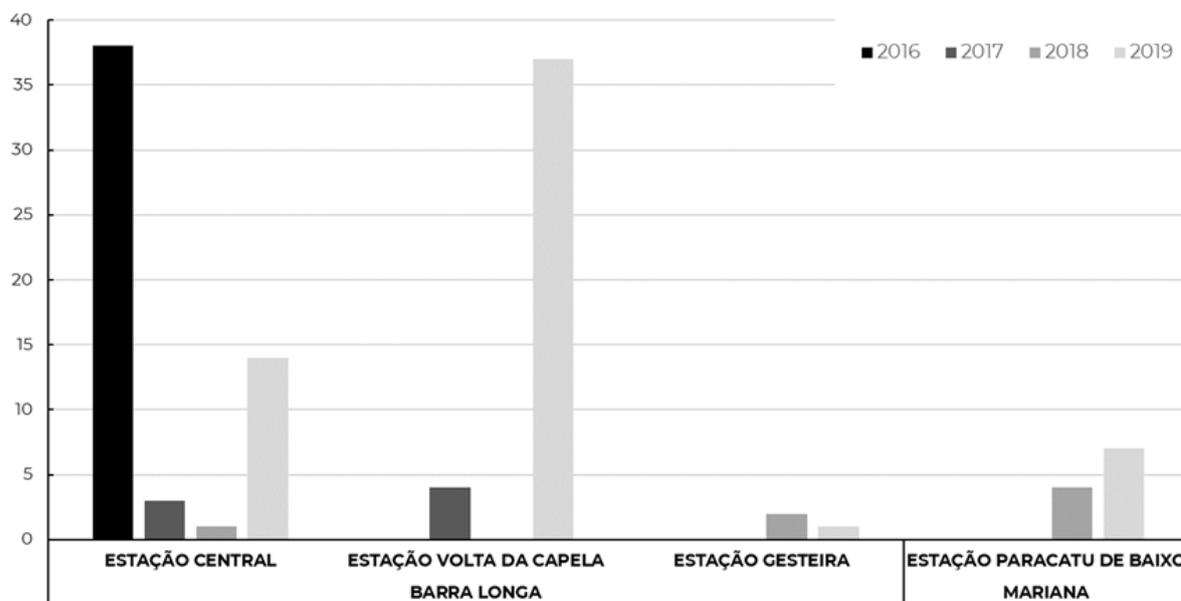
Não foram encontrados valores para PM_{2,5} e PM₁₀ superiores aos limites médios diários previstos pelo Padrão Intermediário PI-1 da Resolução Conama N°491/2018. Esse padrão está em vigência desde a criação da resolução e sua alteração depende dos Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente, que deverão ser elaborados até 2021.

Porém, quando comparamos as médias diárias entre 2016 e 2019, aos limites projetados previsto pelo Padrão Final (PF) da Resolução Conama N°491/2018 e os limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde - OMS (WHO, 2006), verificamos que em 116 oportunidades, 111 dias para PM₁₀ (Figura x) e 5 dias para PM_{2,5}, os valores encontrados foram acima do recomendado.

As duas estações mais próximas ao perímetro urbano de Barra Longa, a Estação Centro e a Estação Volta Capela foram as estações com maior frequência de valores acima do recomendado pela OMS, 61 e 41, respectivamente (Figura 120). No total, essas duas estações representam 87,9% dos valores acima do recomendado. Esse resultado pode estar relacionado à soma entre as emissões fugitivas de material particulado do material depositado após as inundações e ao trânsito de maquinário para retirada desse rejeito.

¹² Localização dos dados: <http://www.feam.br/qualidade-do-ar/dados>.

Figura 120: Número de dias com valores da média diária para MP10 acima do recomendado pela Organização Mundial de Saúde, segundo seu Guideline (WHO, 2006), por estação de monitoramento e ano.



* Em 2016, só a estação central estava em funcionamento.

Além disso, a média aritmética anual para a Estação Central foi superior ao recomendado pela Organização Mundial de Saúde e aos limites projetados (Padrão Final PF) pela Resolução Conama nº491/2018, em todos os anos de análise. As médias aritméticas anuais de 2017 e 2019, para Estação Volta Capela e de 2019, para Estação Paracatu de Baixo, também foram acima do recomendado pela OMS. Esses dados indicam que a população desses distritos têm sofrido com uma poluição crônica por materiais particulados que podem acarretar em uma série de problemas de saúde e/ou potencializar outras doenças como infecções virais, principalmente em subgrupos populacionais mais vulneráveis, incluindo crianças, principalmente nos primeiros anos de vida, idosos e os portadores de doenças pré-existentes (ARBEX, et al., 2012; DOCKERY, et al., 1993; SALDIVA, ET AL., 1995). Além disso, esses dados reforçam que desde o rompimento, não houve melhoras significativas na qualidade do ar de Barra Longa e Mariana, mesmo após as intervenções realizadas e descritas no Plano de Manejo de Rejeito da Fundação Renova (RAMBOLL, 2019)

Para o quantitativo de Partículas Totais em Suspensão (PTS), constatou-se médias diárias superiores aos limites previstos pela legislação (PI-I, RC 491/2018) em sete dias no ano de 2016. Todas as médias diárias com valores de particulados acima do limite legislativo foram registradas no mês de outubro, mês cuja média mensal de velocidade do vento é superior à média anual para mesma estação, o que poderia explicar tal variação.

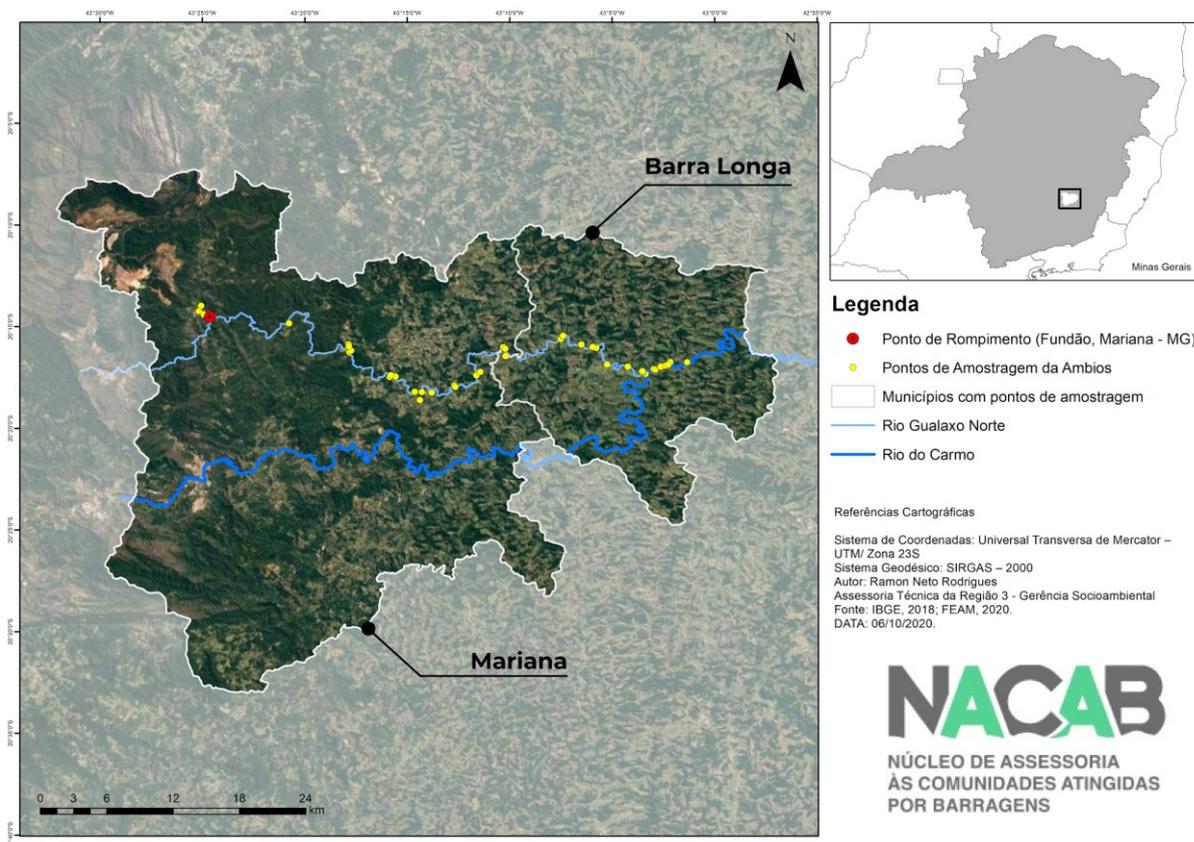
Apesar de terem sido identificados valores pontuais muito mais altos que a legislação (939 ug/m^3 ; 922 ug/m^3)¹³, ao calcular a média geométrica anual para todas as estações e anos, conforme indicado pela resolução, o maior valor obtido foi de $74,35 \text{ ug/m}^3$, que é inferior ao limite estabelecido pela resolução vigente (80 ug/m^3). A OMS não apresenta valores recomendados para PTS, em seu *guidelines* (WHO, 2006).

Em relação à poeira domiciliar, o estudo utilizado como base para construção de um possível cenário de danos associados ao tema para Região 3 é o relatório intitulado “Estudo de Avaliação de Risco à Saúde Humana em Localidades Atingidas pelo Rompimento da Barragem do Fundão – MG”, produzido pela empresa Ambios e disponibilizado 17 de abril de 2019.

No total, a empresa responsável pelo estudo investigou 50 pontos de amostragem distribuídos ao longo do rio Gualaxo Norte, entre o distrito de Bento Rodrigues, em Mariana, e o centro do município de Barra Longa. No total foram coletadas amostras em 18 localidades diferentes. A distância entre o ponto amostrado e o ponto do rompimento pode ser visualizada pela Figura 121, que traz um mapa dos pontos de investigação em relação ao local do rompimento.

¹³Vide máximo para PTS na Estação do Centro, Barra Longa, 2016 e 2019. Registros realizados no dia 18/10/2016 às 13:30 e 19/10/2019 às 19:30.

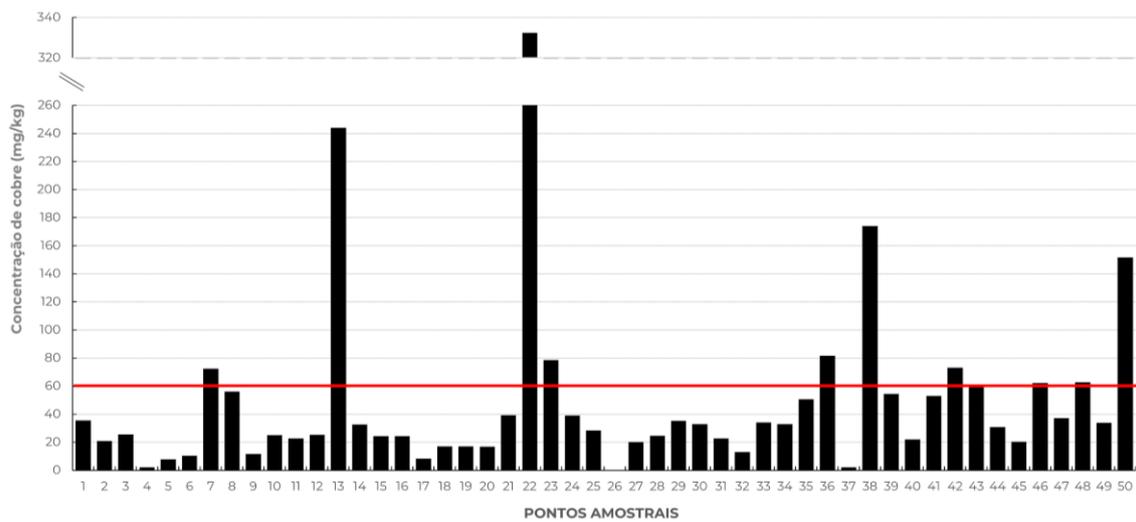
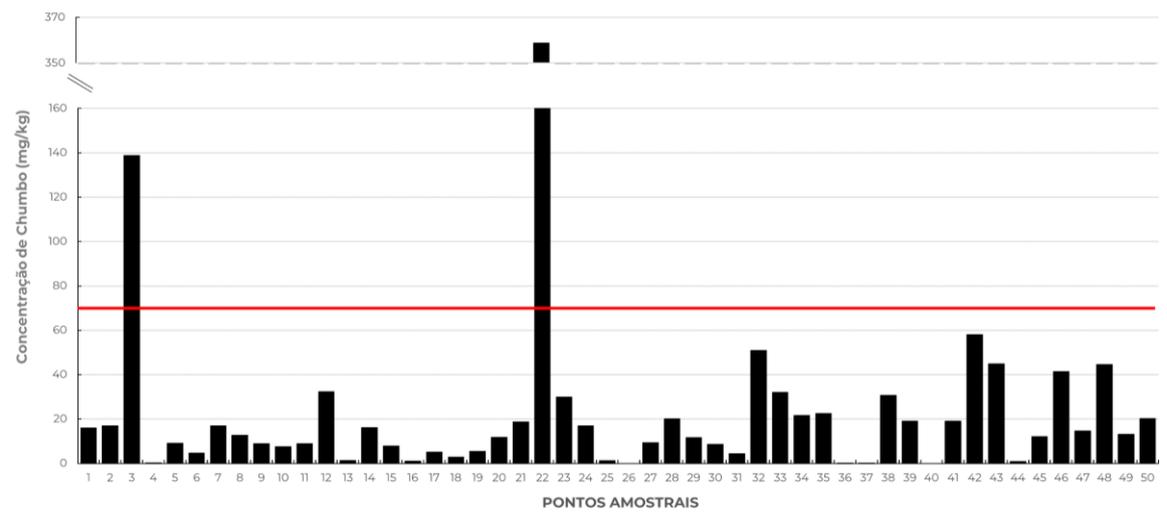
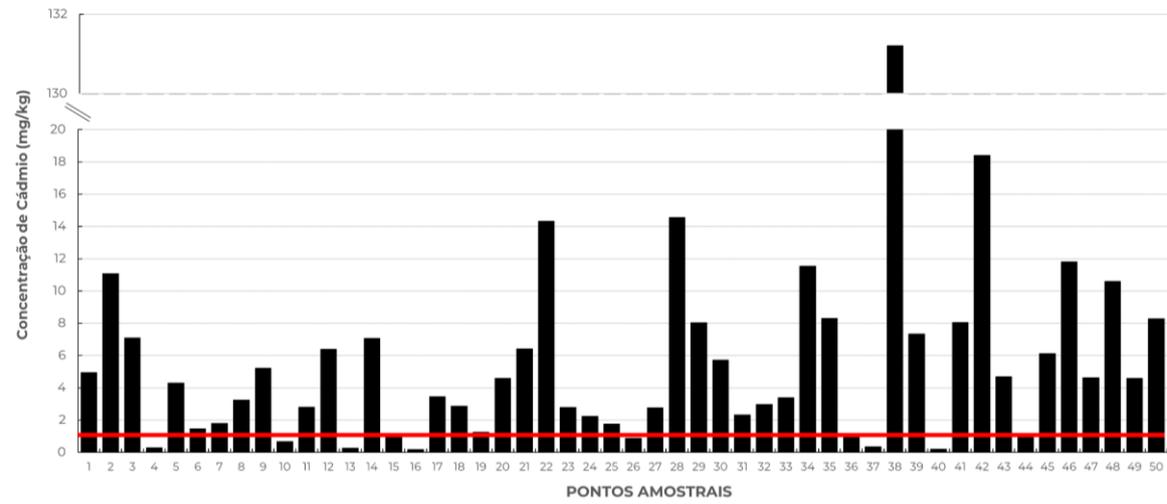
Figura 121: Mapa de localização dos pontos de amostragem de poeira domiciliar utilizados pela Ambios para construção do parecer sobre poeira domiciliar para o contexto de Mariana e Barra Longa.

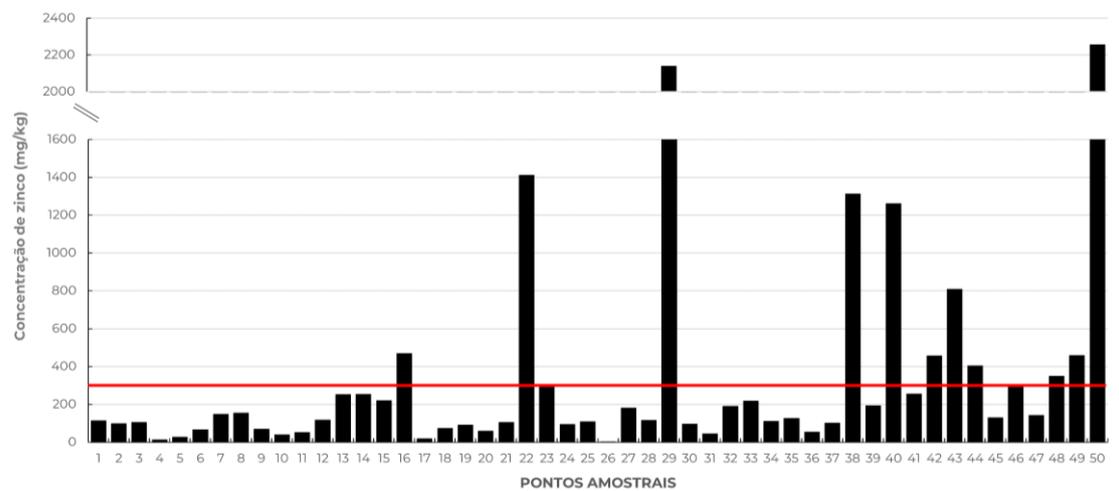
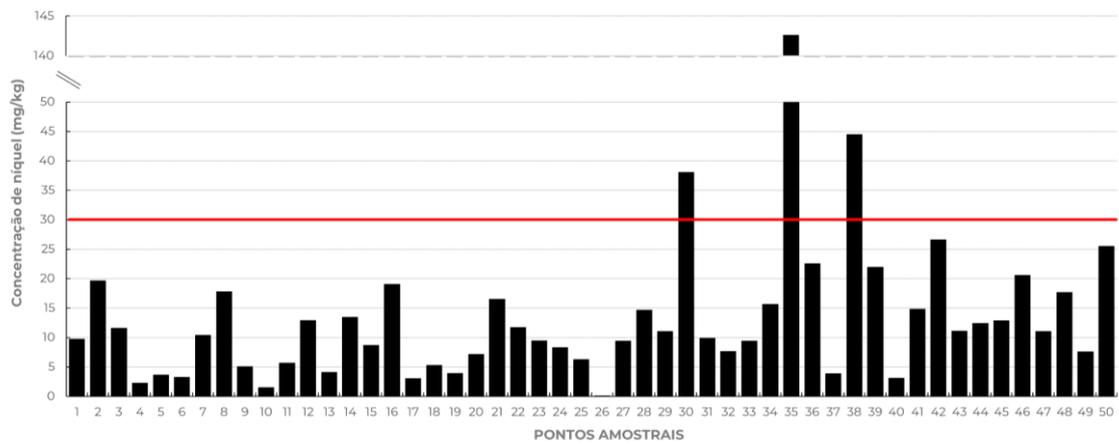


Nas localidades pertencentes ao município de Mariana, MG, e principalmente nas residências próximas às zonas de deposição de rejeitos nas margens e várzeas do rio Gualaxo Norte, foram constatadas a presença de cádmio na maioria das amostras de poeira domiciliar (20 de 25 amostras). O valor máximo encontrado para as localidades deste município foi 14,32 mg/kg, muito acima dos valores de referência definidos pela Resolução Conama nº420/2009. Ainda foram constatados valores de zinco, cobre e chumbo em concentrações superiores aos de referência, 2 amostras, 3 amostras e 2 amostras, de 25, respectivamente.

Já nas localidades pertencentes ao município de Barra Longa, MG, principalmente no centro municipal, a situação constatada foi ainda pior. O metal cádmio foi detectado em 20 das 25 amostras coletadas. O valor máximo de cádmio, 131 mg/kg, foi encontrado no centro do perímetro urbano de Barra Longa. Esse valor é 100 vezes maior que o valor de referência utilizado (1,3 mg/kg; Resolução Conama Nº 420/2009; Figura 122). Além disso, nessa localidade foram encontrados altos valores de Níquel e Zinco. Neste último caso foram encontradas valores acima do limite de referência em mais de 30% das amostras realizadas (Figura 122).

Figura 122: Concentração de metais pesados identificadas nas amostras de poeira domiciliar coletadas pela equipe da Ambios próximo às zonas de deposição de rejeito na sub bacia do rio Gualaxo Norte.





De cima para baixo temos as concentrações encontradas para Cádmio, Chumbo, Cobre, Níquel e Zinco. Em vermelho têm-se os limites legislativos (Valor de Prevenção) definidos pela Resolução Conama nº 420/2009. A tabela com os dados completos está disponível no Anexo I. Fonte: AMBIOS, 2019.

Segundo o corpo técnico responsável pelo estudo, esses valores estão associados à soma das emissões fugitivas de material particulado menores que 10 µm do material seco depositado e a suspensão atmosférica da poeira causada pelos trabalhos de remoção dos rejeitos com intenso tráfego de caminhões de transporte da lama.

Por fim, os autores afirmam que existe um perigo à saúde das populações expostas aos contaminantes por meio da ingestão, inalação e absorção dérmica das partículas de solo superficial e/ou poeira domiciliar. Mesmo não sendo possível calcular a dose de exposição a partir da inalação das partículas, a dose de exposição via ingestão para o cádmio está acima dos limites de risco mínimo à saúde para todas as faixas etárias em Barra Longa e para crianças de até 11 anos em Mariana. Além disso, os autores apontam, que a dose de exposição para cobre,

chumbo em Mariana e Níquel, em Barra Longa, estão acima do nível de risco mínimo, e portanto, devem ser objeto de recomendações de saúde específicas.

Para os autores, os relatos constantes de preocupações da comunidade relativos à ardência e irritação ocular, irritação cutânea com vermelhidão, coceira e sintomas respiratórios, estão associados a inalação e/ou contato com poeiras contendo níquel. Esse tipo de relato também é comum na Região 3, principalmente nas comunidades que foram afetadas pelas inundações e, portanto, sofrem com a deposição do material granular em seus terrenos (NACAB, 2020).

ii. Brumadinho, Minas Gerais

Em Brumadinho, Minas Gerais, atualmente existem dados disponíveis para 3 estações de monitoramento (Figuras 123 e 124). Cronologicamente, a primeira foi instalada na Comunidade do Feijão em 2015, como parte das ações de monitoramento de particulados produzidos pela operação da Mina do Córrego do Feijão. Essa estação de monitoramento ainda está em funcionamento e graças a ela é possível construir uma linha de base para comparação das concentrações de material particulado antes e após o rompimento. Além disso, sua localização é estratégica. Como pode ser visto na Figura x, que apresenta as localizações exatas das estações com dados disponibilizados pela Fundação Estadual do Meio Ambiental, essa estação está no limite da zona atingida diretamente pela lama de rejeito oriunda da barragem.

Após o rompimento, mais duas estações de monitoramento foram instaladas, ambas em julho de 2019. A mais próxima ao rompimento é a estação instalada dentro do perímetro do Parque da Cachoeira, em Brumadinho. O Parque da Cachoeira é um loteamento situado dentro da sub-bacia do Ribeirão do Ferro-Carvão, parte deste loteamento foi atingido diretamente pelo espalhamento e deposição do rejeito. A estação do Parque da Cachoeira está localizada a uma distância linear de 1294 metros do limite de espalhamento do rejeito nas margens do Ribeirão Ferro-Carvão.

Figura 123: Localização das Estações Automáticas de Monitoramento de Qualidade do Ar, dentro do município de Brumadinho, Minas Gerais.

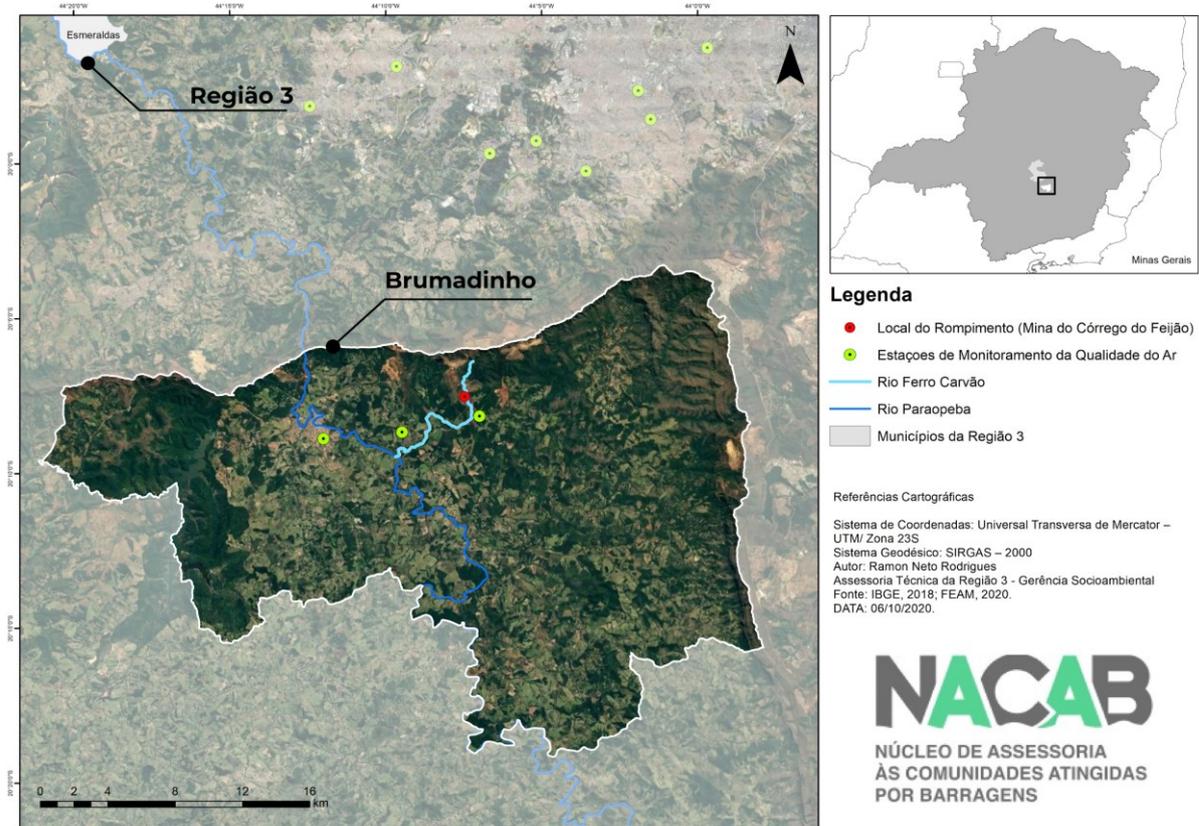
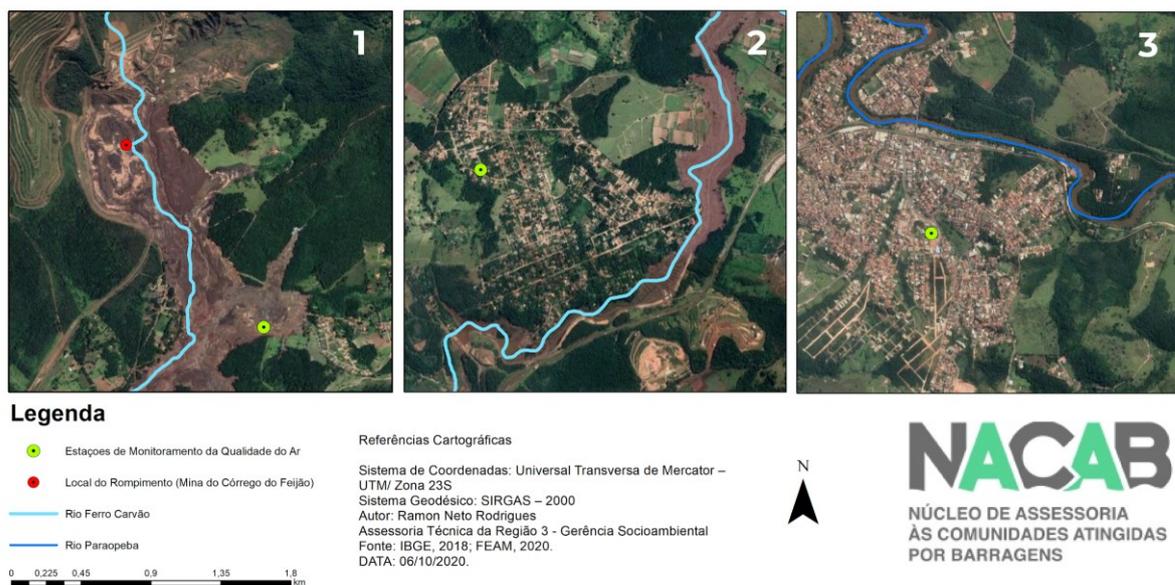


Figura 124: Localização das estações de monitoramento usadas como base de análise em relação às infraestruturas urbanas, zonas de deposição de rejeito, ao ribeirão Ferro-Carvão e ao rio Paraopeba.



O número das imagens refere-se às estações utilizadas - 1. Estação da Comunidade do Feijão; 2 - Estação Parque da Cachoeira; 3 - Estação Escola Municipal Pe. Vicente.

Por fim, há a estação instalada na Escola Municipal Pe. Vicente - EMPV localizada a aproximadamente 14 km do local do rompimento. A EMPV está localizada no centro do município de Brumadinho e apesar de ajudar a compreender o contexto geral dos impactos, suas medições, por estar inserida em perímetro urbano, não permitem a distinção entre o material particulado proveniente da zona de espalhamento e das próprias emissões urbanas (Figura 125). Esta estação está localizada a uma distância linear de 726 metros do rio Paraopeba e nessa região do rio Paraopeba, não houve a deposição de rejeito nas margens.

Todas as estações de monitoramento citadas ainda estão em funcionamento, porém o período de repasse e atualização dos dados é anual. Sendo assim, os dados disponíveis e analisados para construção desse diagnóstico são referentes a coletas realizadas até o final de 2019. Deve-se ressaltar que todas as três estações, atualmente, estão equipadas com monitores capazes de coletar amostras de PM10, PM2,5 e PTS. Porém, o equipamento para monitorar particulados até 2,5 um, só foi instalado na Estação da Comunidade do Feijão em Julho de 2019.

Até o final de 2019, a Estação da Comunidade do Feijão havia coletado e analisado 32.905 amostras de PM10, 35.998 amostras de PTS e 3.093 amostras de PM2,5. Esse baixo valor de amostras de PM2,5 se deu devido a instalação do monitor ter sido instalado em julho de 2019. A Estação do Parque da Cachoeiro, havia coletado até final de 2019, 2.865 amostras de PM10, 2.233 amostras de PTS e 3.060 amostras de PM2,5. Por fim, a Estação da Escola Municipal Pe. Vicente, coletou e analisou, um total de 3.196 amostras de PM10, 3.030 amostras de PTS e 1.752 amostras de PM2,5. As médias diárias de todas as estações por ano de coleta podem ser visualizadas no material suplementar anexado a este documento. Os principais resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 31, que traz os dados referentes às três estações instaladas no contexto do rompimento da Barragem B-I da Mina do Córrego do Feijão.

Os pontos de atenção em vermelho apontam o número de dias em que a média diária ou a média aritmética anual foi superior ao limite vigente (Padrão Intermediário/PI-1) definido pela Resolução Conama nº491/2018 e por definição também maiores que os limite projetados pela mesma resolução e os limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde - OMS (WHO, 2006).

Os pontos de atenção em vinho apontam que as médias aritméticas anuais são inferiores aos valores do Padrão Intermediário PI-1, mas são superiores ao limite projetado (Padrão Final/PF) definido pela Resolução Conama nº491/2018 e aos limites máximos recomendados pela OMS (WHO, 2006).

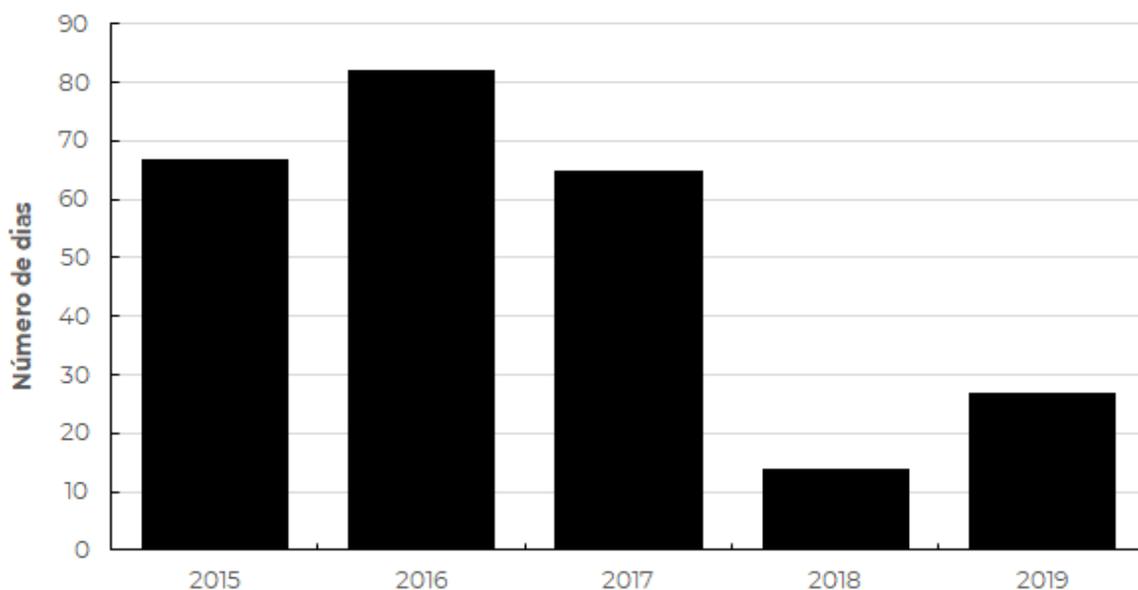
Os pontos de atenção em laranja, apontam o número de dias em que a média diária foi inferior ao limite vigente, mas superior ao limite projetado (Padrão Final/PF) definido pela Resolução Conama nº491/2018 e aos limites máximos recomendados pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006).

Para Estação da Comunidade do Feijão, a mais próxima ao local do rompimento, entre 2015 e 2019, apesar de terem sido registrados concentrações pontuais de material particulado muito acima da normalidade (896 ug/m³ para PM10 e 883 ug/m³ para PTS), apenas em 14 dias a média aritmética diária ultrapassou os limites médios diários previstos pelo Padrão Intermediário PI-1 da Resolução Conama N°491/2018, que é o padrão vigente e menos exigente. Porém, se considerarmos que Padrão Final PF da mesma resolução e os valores recomendados pela OMS (WHO, 2006), pode-se observar que, para essa mesma estação, os valores médios diários superaram os limites estabelecidos 255 vezes para PM10, 2 vezes para PTS e 11 vezes para PM2,5 (Figura 125).

Tabela 31: Resumo estatístico dos dados disponíveis para as estações de monitoramento de qualidade do ar de Brumadinho.

RESUMO ESTATÍSTICO ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS DE MONITORAMENTO QUALIDADE DO AR		2015			2016			2017			2018			2019		
		PM10	PTS	PM 2,5	PM10	PTS	PM 2,5	PM10	PTS	PM 2,5	PM10	PTS	PM 2,5	PM10	PTS	PM 2,5
BRUMADINHO	ESTAÇÃO COMUNIDADE DO FEIJÃO	Contagem de amostras	7822	8019	6485	7207	6428	7484	5794	6541	6376	6747	3093			
		Média aritmética anual	37,43	57,28	41,72	65,22	38,62	58,63	27,42	43,32	28,51	72,47	9,57			
		Média geométrica anual	n/a	49,97	n/a	53,15	n/a	49,93	n/a	37,60	n/a	62,17	n/a			
		Desvio padrão	42,85	65,77	62,43	89,56	52,82	73,43	34,70	53,11	27,73	72,06	9,63			
		Mínimo registrado	1	1	1	1	1	1	1	1	0,36	2	0,1			
		Máximo registrado	536	886	896	877	827	852	837	818	480	883	199,69			
		Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (PI-1 CONAMA 491/18)	1	0	6	2	5	0	0	0	0	0	0			
		Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (OMS, 2006; PF - CONAMA 491/18)	67	0	82	2	65	0	14	0	27	0	11			
	ESTAÇÃO PARQUE DA CACHOEIRA	Contagem de amostras									2865	2233	3060			
		Média aritmética anual									42,16	58,24	13,32			
		Média geométrica anual									n/a	n/c	n/a			
		Desvio padrão									36,06	48,59	13,98			
		Mínimo registrado									0,4	1	0,1			
		Máximo registrado									505,1	723	205,4			
		Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (PI-1; CONAMA 491/18)									0	0	0			
		Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (OMS, 2006; PF - CONAMA 491/18)									42	0	2			
	ESTAÇÃO E.M. Pe VICENTE	Contagem de amostras									3196	3303	1752			
		Média aritmética anual									38,70	52,81	9,57			
		Média geométrica anual									n/a	n/c	n/a			
		Desvio padrão									34,31	48,31	8,12			
		Mínimo registrado									0,1	0,1	0,7			
		Máximo registrado									252,8	408,6	64,6			
		Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (PI-1; CONAMA 491/18)									0	0	0			
		Nº de vezes que ultrapassou o limite diário (OMS, 2006; PF - CONAMA 491/18)									45	0	18			

Figura 125: Número de vezes em que o limite médio diário para concentração de PM10 recomendado pela OMS foi ultrapassado na Estação da Comunidade do Feijão, por ano.



Já na estação localizada no Parque da Cachoeira, loteamento atingido diretamente pela lama de rejeito, não foram registradas concentrações de material particulado acima do limite diário previsto pelo padrão vigente. Porém, assim como aconteceu com a Estação da Comunidade do Feijão, se considerarmos o Padrão Final e os limites recomendados pela OMS, pode se observar que os valores médios diários superaram os limites estabelecidos 42 vezes para PM10 e 2 vezes para PM2,5. Isso significa que em 27% dos dias em que a estação esteve em funcionamento, o limite recomendado pela OMS foi superado. Deve-se considerar ainda, que como essa estação foi instalada em julho, a maior parte dos dados coletados e analisados foram feitos no período chuvoso, e, portanto, com maior umidade relativa do ar, o que pode ter influenciado negativamente nas concentrações de material particulado. Desta forma, esta análise preliminar é um indicativo dos potenciais impactos que a deposição desse material extra calha pode aportar aos moradores da região.

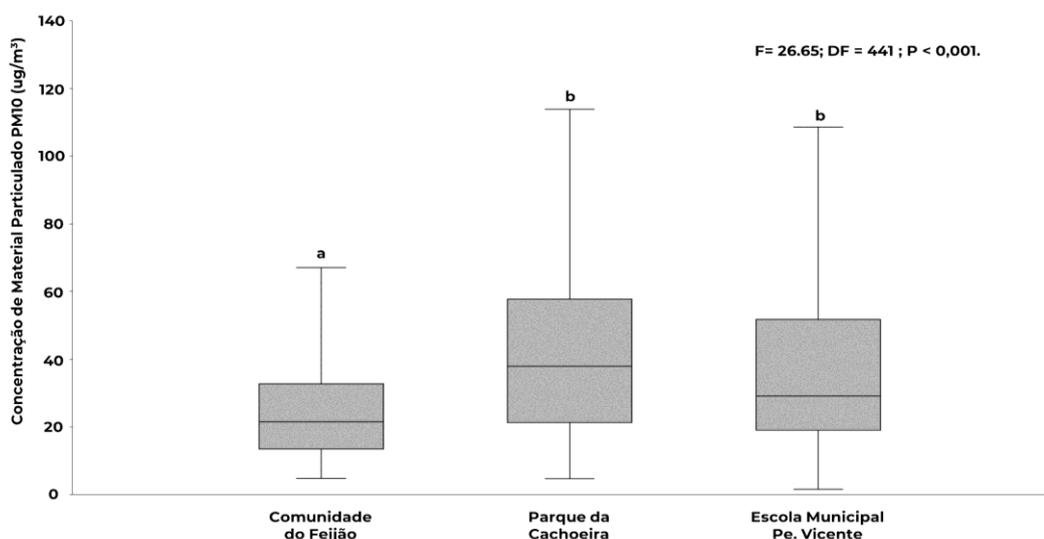
Considerando a estação localizada na Escola Municipal Pe. Vicente, localizada no centro de Brumadinho, apesar de não terem sido registradas concentrações de material particulado acima do padrão vigente, se considerarmos os limites recomendados pela OMS, foram registrados 45 eventos de ultrapassagem para PM10 e 18 eventos para PM2,5. Esse total

indica que em 29,8% dos dias de operação da estação o limite recomendado pela OMS foi superado.

Além disso, em todos os anos de análise e para todas as estações apresentadas, a média aritmética anual para PM10 superou o preconizado pelo Padrão Final PF da Resolução Conama N°491/2018 e as recomendações da OMS (WHO, 2006). Detalhe para o ano de 2016, em que a concentração média anual superou até mesmo os limites estabelecidos pelo Padrão Intermediário PI-1 da Resolução Conama N°491/2018, que é o padrão de menor rigor vigente atualmente.

Ao compararmos os valores registrados de PM10 (Figura 126) para as três estações no mesmo período de 2019, podemos observar que houve uma diferença significativa entre os valores médios observados entre a estação da Comunidade do Feijão (CFB) e as outras duas estações (PCB e EMPVB). Além disso, é possível observar que os maiores valores registrados foram na estação do parque da cachoeira e da escola municipal. Como dito anteriormente, a proposta de localização dessas estações é distinta, e, portanto, é comum que apresentem valores distintos. Desta forma, a dinâmica veicular das duas estações localizadas próximas ao perímetro urbano, que comumente eleva os índices de material particulado, pode ser a principal fonte das diferenças observadas nos dados.

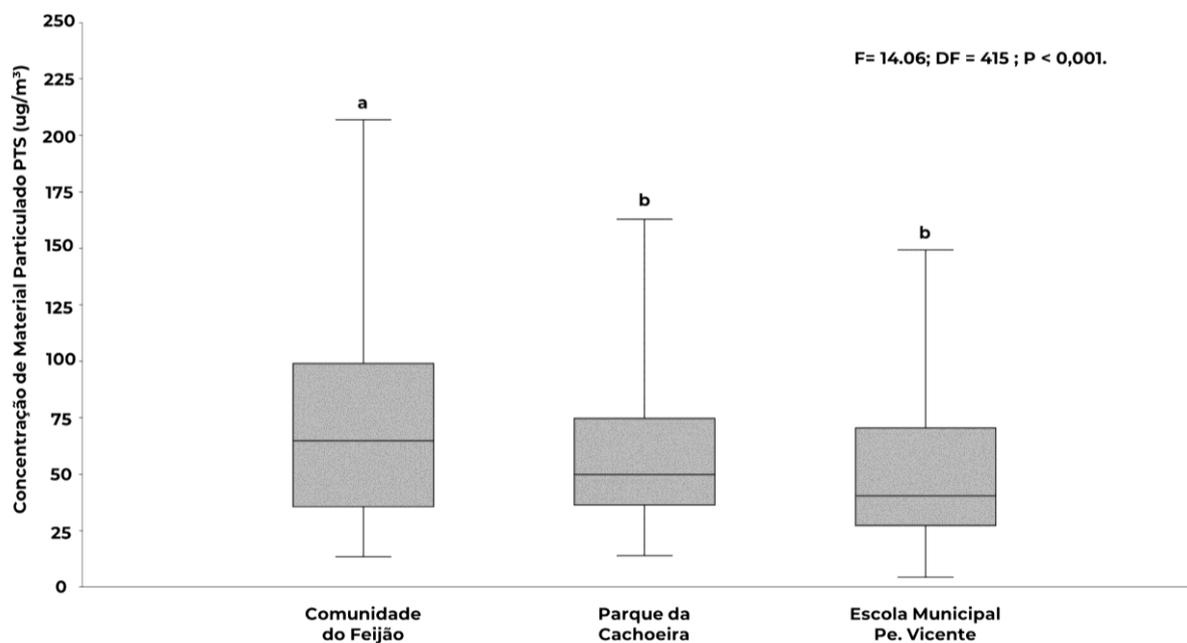
Figura 126: Comparação das concentrações de material particulado (PM10) para as três estações localizadas dentro do município de Brumadinho, MG.



Obs. A linha horizontal superior indica o valor máximo observado para PM10 (ug/m³). A linha horizontal inferior indica o valor mínimo observado. A linha horizontal no meio da caixa em cinza, indica a mediana dos valores e os limites das caixas indicam onde a maior parte dos registros ficaram concentrados. As letras diferentes indicam que existe uma diferença significativa entre as estações.

Já compararmos os valores registrados de PTS (Figura 127) para as três estações no mesmo período de 2019, também podemos observar que houve uma diferença significativa entre os valores médios observados entre a estação da Comunidade do Feijão (CFB) e as outras duas estações (PCB e EMPVB). Essa estação foi a com maior volume de particulados total, mesmo considerando a localização das outras estações. Observa-se também, que o maior valor registrado para concentração de Partículas Totais em Suspensão foi registrado na estação da Comunidade do Feijão. Um dos fatores que pode explicar essa distinção entre as estações é o trânsito de veículos pesados na Comunidade do Feijão, devido a dinâmica de retirada de rejeitos, o que pode ter suspenso um material de granulometria mais grossa, típico de estradas rurais e portanto elevado esse valor (SRAK, et al., 2012; KIM et al., 2014).

Figura 127: Comparação das concentrações de material particulado (PTS) para as três estações localizadas dentro do município de Brumadinho, MG.

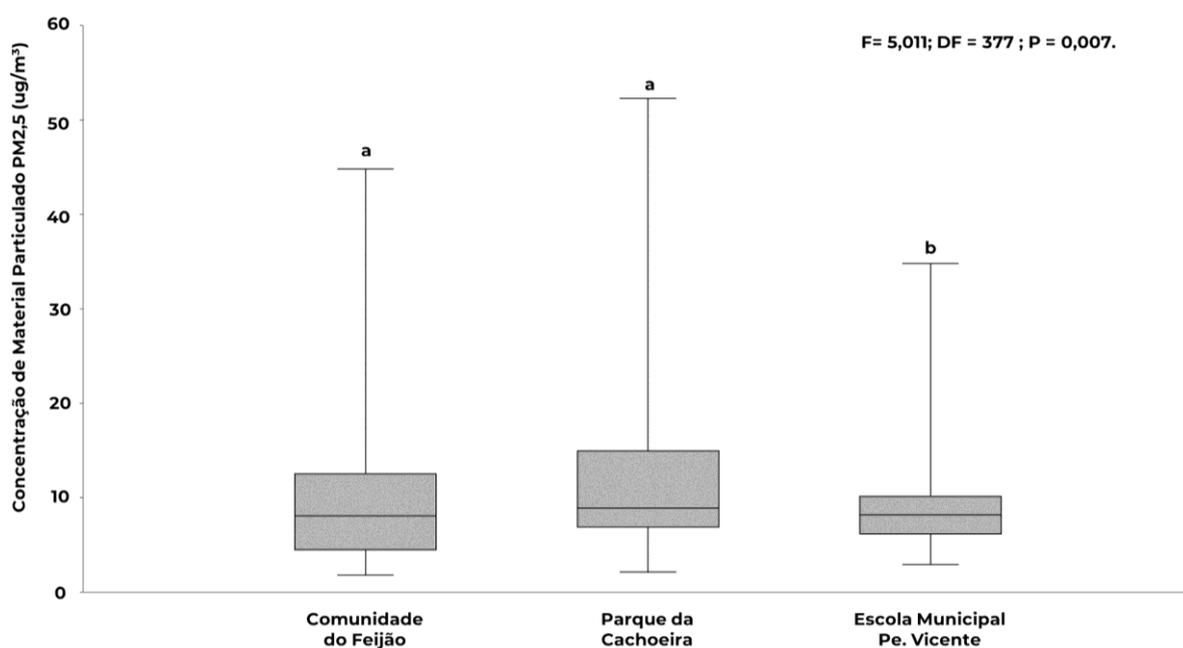


Obs. A linha horizontal superior indica o valor máximo observado para PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). A linha horizontal inferior indica o valor mínimo observado. A linha horizontal no meio da caixa em cinza, indica a mediana dos valores e os limites das caixas indicam onde a maior parte dos registros ficaram concentrados. As letras diferentes indicam que existe uma diferença significativa entre as estações.

Por fim, no que se refere ao material particulado mais fino, $\text{PM}_{2,5}$, também se observou diferenças significativas entre as estações (Figura 128). Neste caso, observou-se que para o período analisado, as estações da Comunidade do Feijão e Parque da Cachoeira registraram em média maiores concentrações de material particulado fino do que a Estação da Escola Municipal Pe. Vicente, localizada no centro de Brumadinho. Inclui-se nessa constatação que os valores

máximos diários também foram registrados nessas duas estações. Esse valor é condizente ao esperado, visto que o material particulado mais fino é de granulometria comumente encontrada no material que extravasou a calha do Ribeirão Ferro-Carvão e permaneceu depositado próximo às duas estações (vide 3.1). Deve-se ressaltar que o material particulado mais fino, até PM_{2,5}, é o mais prejudicial à saúde visto que pode afetar partes mais sensíveis do sistema respiratório (KIM et al., 2014; HARRISON; YIN, 2000). Além disso, essas partículas podem estar associadas e constituídas por uma série de contaminantes, incluindo nitratos, sulfetos, carbono elementar e orgânico, hidrocarbonetos e metais, como ferro, cobre, níquel e zinco, que também são deletérios à saúde humana (WHO,2013).

Figura 128: Comparação das concentrações de material particulado (PM_{2,5}) para as três estações localizadas dentro do município de Brumadinho, MG.



Obs. A linha horizontal superior indica o valor máximo observado para PM_{2,5} (µg/m³). A linha horizontal inferior indica o valor mínimo observado. A linha horizontal no meio da caixa em cinza, indica a mediana dos valores e os limites das caixas indicam onde a maior parte dos registros ficaram concentrados. As letras diferentes indicam que existe uma diferença significativa entre as estações.

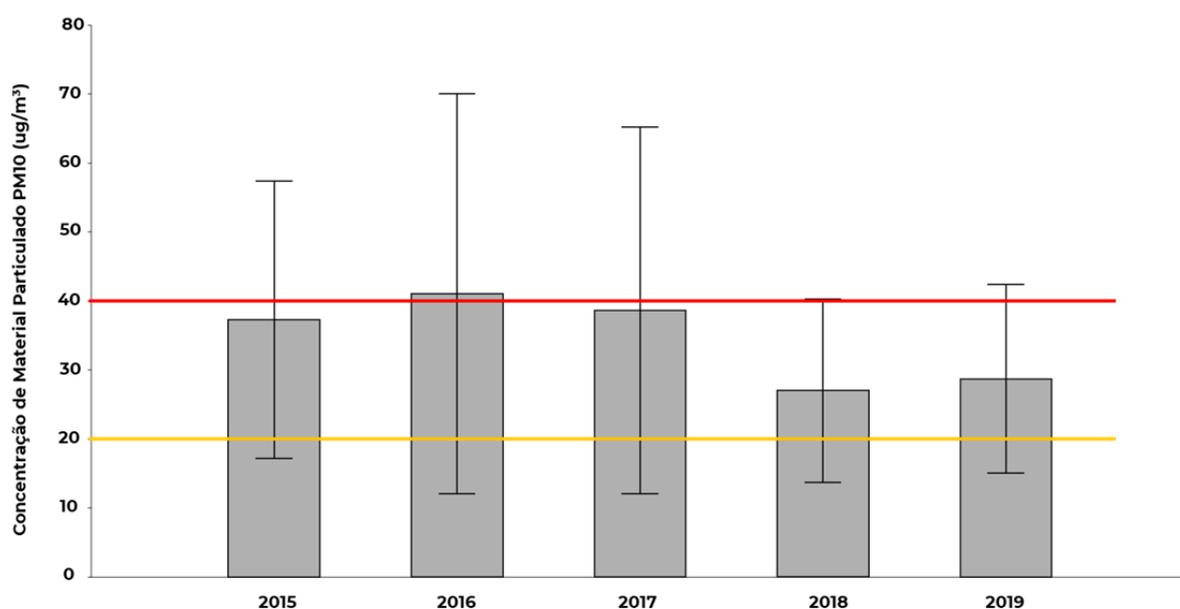
Além disso, os dados utilizados como base para essa comparação foram retirados das análises realizadas entre julho e dezembro de 2019, quando a umidade do solo na zona de deposição de rejeito ainda era relativamente alta, o que pode ter diminuído o nível de emissões fugitivas de particulados provenientes dessa região. Recomenda-se, portanto, que o monitoramento desses dados constante e a longo prazo, com a atualização das comparações

conforme a disponibilidade dos dados de 2020, para identificação dos efeitos da sazonalidade anual climática nas estações e verificar se houveram diferenças significativas com as de manejo do rejeito previstos para a região afetada, permitindo assim um parecer mais robusto sobre a situação. Apenas a Estação da Comunidade do Feijão, instalada em Brumadinho, possui dados antes e após o rompimento.

Comparando os valores médios diários de PM10, para essa estação entre os anos com dados disponíveis (2015 a 2019), podemos observar que houve uma diferença entre o intervalo de 2015 a 2017 e 2018 a 2019. Sendo que os anos de 2018 e 2019 tiveram concentrações médias diárias menores que o período anterior, indicando uma diminuição dos valores encontrados nesses dois períodos.

De qualquer forma é possível observar por meio da Figura 129, que todos os anos de avaliação superaram o limite para média aritmética anual estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde (PF da Resolução Conama 491/2018), sendo que no ano de 2016 houve a superação do limite estabelecido pelo Padrão Intermediário I da Resolução Conama N°491/2018.

Figura 129: Média aritmética anual da concentração de Material Particulado PM10 entre 2015 e 2019 e limites pertinentes.



A linha vermelha representa o limite para média aritmética anual estabelecido pelo Padrão Intermediário I da Resolução Conama N°491/2018. A linha amarela representa o limite para média aritmética anual estabelecidos pela OMS e pelo Padrão PF da Resolução Conama N°491/2018.

3.6.3 Análise integrada dos resultados e implicações para a região em estudo

Apesar de ainda não existir dados consistentes sobre as concentrações de materiais particulados na Região 3, e principalmente próximo às regiões onde houve o extravasamento de material particulado do rio Paraopeba, com base na análise de contextos semelhantes nós podemos concluir que a preocupação sobre o nível de material particulado e contaminantes associados a esse material é válida e deve ser monitorada a longo prazo. Esse possível cenário de contaminação na Região 3 se baseia em cinco pontos centrais discutidos ao longo deste tópico.

1. Houve a deposição do material oriundo do rompimento da barragem nas várzeas e margens do rio Paraopeba em diversas alturas da bacia hidrográfica ao longo da Região 3 devido às cheias do início de 2020.
2. Com base nos estudos de Caracterização do Rejeito da Barragem B-I (vide tópico 3.2), realizados antes e após o rompimento, constatações realizadas em campo pela equipe técnica do NACAB e análise de outros estudos de contexto semelhantes (vide Duarte et al., 2020 e Quaresma et al., 2020), esse material possui granulometria muito fina o que facilita sua suspensão e transporte a longa distâncias. Além disso, segundo os dados apresentados pela Perícia realizada pela Polícia Federal (Laudo 3695/2019), o rejeito oriundo da Barragem B-I tinha em sua composição metais pesados, que podem causar risco à saúde.
3. As médias diárias das concentrações material particulado (PM10, PTS e PM2,5) provenientes das estações localizadas em Mariana e Barra longa, municípios atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão, indicam riscos a saúde da população residente próximos a zona de deposição de rejeitos, visto que os limites recomendados pela OMS foram ultrapassados em diversas oportunidades ao longo dos últimos quatro anos de análise. Esses picos de material particulados representam uma exposição crônica ainda não sanada mesmo após as ações de manejo desse material, principalmente para as regiões do Centro de Barra Longa.
4. Foi constatado no estudo intitulado “Avaliação de risco à saúde humana em localidades atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão - MG” valores de metais pesados na poeira domiciliar muito superiores aos limites estabelecidos pela legislação vigente. Os casos não foram isolados, o que implica em um risco crônico a toda população residente nas regiões estudadas.

5. As médias diárias das concentrações de material particulados provenientes das estações localizadas em Brumadinho - MG, assim como em Mariana, também apresentaram valores acima do recomendado pela OMS. Ainda em uma avaliação preliminar, visto que existem dados disponíveis até o ano de 2019, observou-se que as estações localizadas próximas à zona de deposição do rejeito registraram uma concentração de material particulado mais fino (PM_{2,5}) maior que a estação localizada no centro de Brumadinho. Sabendo que esse tipo de material fino pode ser um reflexo direto das emissões fugitivas da zona de impacto, esse dado é visto com preocupação pela equipe técnica do NACAB/ATIR3.

Assim, é possível afirmar que a Região 3 possui um cenário de danos prováveis relacionados à concentração de material particulado e poeira domiciliar. Logo, pelo princípio da precaução a situação deverá ser monitorada, principalmente nas regiões onde houve a deposição direta desse material após as enchentes de janeiro de 2020.

3.7 Produtos vegetais

A mineração pode impactar diferentes ecossistemas e gerar graves danos ambientais (CARVALHO, 2017; RUYTERS, 2011). Particularmente, o rompimento de barragens de rejeitos de mineração, representa uma ameaça à saúde humana e possui um potencial risco ambiental conforme a descarga atinge cursos de água e ecossistemas ribeirinhos (KOSSOFF, ET AL. 2014; SUN ET AL., 2018). Incluindo, nesse caso, áreas propensas a enchentes originadas do extravasamento do curso d'água impactado (SEGURA ET AL., 2016).

Para as plantas e produtos derivados, o acúmulo de metais pesados pode limitar o crescimento e desenvolvimento das espécies e afetar os processos de revegetação, programas de reflorestamento e utilização econômica da área (PRADO ET AL., 2019; CRUZ ET AL., 2020; GIMENES ET AL., 2020). Há casos, ainda, onde a presença de produtos derivados do beneficiamento de minério de ferro, como a éter amina e o hidróxido de sódio no sedimento superficial (ARAÚJO ET AL., 2006; SANTOS ET AL., 2019; SCOTTI, ET AL. 2020), tem sido associada diretamente a diminuição do crescimento das plantas, clorose foliar e ondulação que levam à mortalidade de plantas (HALLIWELL ET AL., 2001; BRITTO & KRONZUCKER, 2002).

Além disso, em casos onde se detecta uma possível contaminação do solo por metais pesados, existe o risco de biomagnificação dos metais dentro da cadeia alimentar, podendo promover o acúmulo de contaminantes em humanos e animais, o que pode ocasionar problemas clínicos significativos a longo prazo (WANG, ET AL. 2018).

Desta forma, sistematizar e analisar dados secundários sobre os potenciais efeitos tóxicos dos rejeitos de mineração sobre as plantas e produtos derivados, podem fornecer informações importantes para compreender a real magnitude dos danos às famílias atingidas, visto que algumas áreas inundadas na temporada de cheia do rio Paraopeba eram amplamente utilizadas como áreas de cultivos e pastagens (MPMG, 2019; NACAB, 2020). Logo, a potencial contaminação dessa área aportará em riscos econômicos, pelo seu abandono produtivo e riscos à saúde devido à possível biomagnificação de elementos tóxicos na cadeia.

3.7.1 Estudos realizados dentro da Região 3 antes e após o rompimento da barragem.

Apesar de uma longa busca nos bancos de dados disponibilizados pelos órgãos públicos e nos principais periódicos de publicações científicas, não foi encontrado nenhum tipo de publicação recente que tenha feito a análise de contaminantes em plantas e produtos derivados dentro da região de estudo ou dentro da Bacia Paraopeba.

Estudos relacionados a análise de contaminantes em plantas e animais são complexos e onerosos financeiramente, e portanto, levam mais tempo até serem publicados e posteriormente terem seus dados disponibilizados para consulta. Tomando como base o caso do rompimento da barragem do Fundão, em Mariana - MG, o primeiro estudo relacionado a essa temática só foi publicado no ano de 2017 (BOTTINO, et al. 2017), dois anos após o rompimento. Desta forma, a atual inexistência de dados disponíveis sobre plantas e produtos vegetais não deve indicar a ausência desta informação, somente a falta de tempo hábil para coleta, análise e publicidade desses dados. Essa ausência de estudos também foi constatada por Coelho et al. (2020) para o caso do rompimento da barragem de Fundão.

3.7.2 Estudos relacionados e possível cenário de danos

Diante dessa falta de informações disponíveis para a região de estudo e visando produzir um cenário potencial de danos associados à produção vegetal, foi utilizado o estudo realizado por Veado et al. (2006), que analisou contaminantes em diversas matrizes ambientais em Minas Gerais, para composição de uma linha de base e nove estudos já realizados dentro do contexto do rompimento da barragem de Fundão, na bacia hidrográfica do rio Doce (Tabela 32). Esse tipo de extrapolação só é possível devido às similaridades características do rejeito de minério em ambos os casos (vide tópico 3.1), uma vez que os efeitos sinérgicos da disponibilização de contaminantes tendem a ser parecidos nesses casos (KOSSOFF, et al. 2014). Deve-se ressaltar ainda, que a maioria dos estudos avalia os efeitos do rejeito sobre plantas e produtos vegetais em condições reproduzidas em laboratórios, com base nos dados coletados em campo. Esse tipo de abordagem isola possíveis efeitos externos, que podem potencializar os contaminantes, criando um cenário mais fiel de comparação entre os casos.

Tabela 32:Resumo das características dos estudos analisados para composição de um cenário provável de danos socioambientais na Região 3.

ESTUDO	MATRIZ BIOLÓGICA ANALISADA	ESPÉCIES VEGETAIS	CONTEXTO/OBJETIVO
Veado et al., 2006	FORAGEIRAS	<i>Brachiaria sp.</i>	Análise de metais em amostras de <i>Brachiaria sp.</i> , ao longo do rio das Velhas, afluente do rio São Francisco.
Bottino, et al., 2017	MACRÓFITAS	<i>Egeria densa</i> e <i>Chara sp.</i>	Avaliar os efeitos da água e sedimento coletados em zona impactadas por rejeito de minério de ferro nas taxas de crescimento e germinação de plantas aquáticas.
Gimenes et al., 2020	MACRÓFITAS	<i>Ricciocarpos natans</i>	Avaliar os efeitos do alumínio e manganês em concentrações próximas ao encontradas em rejeito de minérios em uma espécie de planta aquática.
Cruz et al., 2019	ESPÉCIES ARBÓREAS	<i>A. polycephala</i> , <i>P. dubium</i> , <i>C. antisiphilitica</i> , <i>H. heptaphyllus</i> e <i>H. impetiginosus</i>	Avaliar os efeitos que solos soterrados por rejeitos de minério de ferro, do reservatório de Fundão, na germinação e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica
Matos et al., 2019	ESPÉCIES ARBÓREAS	<i>Cassia Grandis</i>	Avaliar as respostas fisiológicas de uma espécie arbórea nativa cultivadas em rejeitos de mineração de ferro.
Andrade et al., 2018	ESPÉCIES AGRÍCOLAS	<i>Oryza sativa L.</i>	Avaliar o efeito de diferentes misturas de solo e rejeitos de minério no cultivo de arroz.
Esteves et al., 2020a	ESPÉCIES AGRÍCOLAS	<i>Zea mays L.</i> <i>Sorghum bicolor</i> <i>Pennisetum glaucum</i>	Avaliar os efeitos dos rejeitos oriundos da mineração no desenvolvimento inicial de milhete, milho e sorgo.
Esteves et al., 2020b	ESPÉCIES AGRÍCOLAS	<i>Zea mays L.</i> <i>Sorghum bicolor</i> <i>Pennisetum glaucum</i>	Avaliar os efeitos do incremento de vermicompostos aos rejeitos oriundos da mineração no desenvolvimento inicial de milhete, milho e sorgo
Zago et al., 2019	FORAGEIRAS	<i>Chrysopogon zizanioides</i> <i>Cymbopogon citratus</i> <i>Cymbopogon winterianus</i>	Avaliar o desenvolvimento, a produção de biomassa e a absorção de elementos minerais tóxicos de três forrageiras aromáticas cultivadas sob rejeito de minério de ferro e solo coletado em área afetada pelo rompimento da barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais.
Coelho et al., 2020	FORAGEIRAS	<i>Brachiaria decumbens</i> <i>Stylosanthes guianensis</i> <i>Saccharum officinarum</i>	Analisar o nível de contaminantes em três espécies vegetais atingidas pela mistura de rejeito de minério de ferro e sedimentos devido o rompimento da barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais.

3.7.2 a) Construção de uma potencial linha de base.

O primeiro grande estudo realizado na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco com objetivo de identificar a presença de elementos tóxicos na bacia e suas possíveis correlações com as atividades antrópicas, foi realizado por Veado e colaboradores em 2006 (VEADO et al., 2006). Para cumprir com esse objetivo foram coletadas e analisadas amostras de água, sedimento, uma espécie de forrageira (*brachiaria sp.*) e três espécies de peixes nativos. Todas as coletas foram realizadas ao longo da bacia do rio das Velhas, afluente do rio São Francisco. As amostras foram coletadas em três zonas diferentes. A primeira, próximo a nascente do rio Das Velhas, considerada zona preservada, a segunda, entre Outro Preto e Belo Horizonte, considerada zona de intensa mineração, e a terceira, entre Santana do Pirapama e Curvelo, considerada zona de atividade agropecuária, afetadas pelas cheias do rio Das Velhas nesta região.

Como resultado para plantas e produtos vegetais, esses autores encontraram altos teores de ferro nas amostras de *brachiaria sp.*, 28400 ug/g nas raízes e 9735 ug/g nos ramos mais folhas. Valores médios de ferro nesta forrageira deveriam estar próximos a 263 ug/g (Sousa et al., 1981; Tabela 33). Esse resultado indica que houve uma adsorção desse elemento durante as cheias periódicas do curso d'água. Os resultados médios obtidos para os elementos As, Co, Cr, Fe, Mn e Sc são superiores aos indicados por Chappuis (1981) e Gomes et al. (2011), e em alguns casos acima do máximo tolerável para o Co e para o Cr para essa espécie vegetal (FAGERIA, et al. 2001; GUERRA, et al., 2012; ARROYAVE et al., 2013).

Para esses autores, esses resultados indicam que os rios que transpassam o Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, apresentam uma poluição crônica creditada às toneladas de resíduos despejados nos rios pelos processos minerários e outras atividades humanas clandestinas, incluindo garimpos (VEADO et al., 2006). Para eles, durante o período de cheia parte da contaminação acumulada na água e sedimentos fluviais se espalham e possuem potencial de contaminar áreas agrícolas a quilômetros de distância, incluindo produtos vegetais. Essa linha de base pode ter sido potencializada pelo rompimento, acarretando em uma potencialização da poluição crônicas que essas bacias possuíam antes do rompimento, esse resultado também foi discutido e identificado por outros autores (vide tópico 3.5).

Tabela 33: Níveis de metais pesados em raízes e folhas e ramos de *Brachiaria sp.* coletadas em zona pecuária atingida por enchentes regulares na parte alta da Bacia do rio das Velhas, Minas Gerais, Brasil.

METAIS PESADOS	MATRIZ BIOLÓGICA	VALORES DE REFERÊNCIA	VALORES ENCONTRADOS PELO AUTOR (MG/KG).
Alumínio	Raízes	-	6000
	Folhas e Ramos	200	4200
Arsênio	Raízes	-	7
	Folhas e Ramos	0,2	4,4
Cálcio	Raízes	-	7070
	Folhas e Ramos	5000 - 24000	13750
Cobalto	Raízes	-	10,6
	Folhas e Ramos	0,5	2,2
Cromo	Raízes	-	43
	Folhas e Ramos	0,2	20
Cobre	Raízes	-	n.d
	Folhas e Ramos	5	n.d
Ferro	Raízes	-	28400
	Folhas e Ramos	100 - 700	9735
Potássio	Raízes	-	10000
	Folhas e Ramos	14000	28000
Sódio	Raízes	-	280
	Folhas e Ramos	1200	320
Manganês	Raízes	-	620
	Folhas e Ramos	630	153
Zinco	Raízes	-	186
	Folhas e Ramos	17 - 60	59

Valores de Referência: Bowen, 1979; Siegel, 1974; Chappuis, 1981; Jones et al., 1970; McDowell, 1992.

Fonte: Veado et al., 2006.

3.8.1.b) Estudos já realizados no contexto do rompimento da Barragem de Fundão.

1. Macrófitas

Cronologicamente, o primeiro estudo que analisou os efeitos de metais pesados em plantas devido ao rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana, MG, foi o estudo promovido por Bottino e outros autores em 2017 (BOTTINO, et al., 2017). O objetivo desse estudo foi avaliar em laboratório os efeitos da água e de sedimentos coletados no Rio Gualaxo

Norte, afetado diretamente pelo rompimento da barragem (20° 18' 24.7'' S ; 43° 13' 35.1'' W), sobre o crescimento de duas espécies de plantas aquáticas (*Egeria densa* e *Chara sp.*), se comparados ao crescimento em ambiente preservado. O local de coleta deste estudo está a aproximadamente 36 km do local do rompimento e a coleta foi realizada em julho de 2016, um ano e meio após o rompimento. Considerando que o município de Esmeraldas, na Região 3, está a aproximadamente 45 km do local do rompimento, cenários parecidos ao estudo podem ser encontrados na bacia do rio Paraopeba, principalmente se considerarmos os registros de cheias nesta região.

Esse estudo encontrou maiores taxas de crescimento, na primeira espécie, em condições contaminadas se comparadas à condição de referência. Segundo os autores, essa alteração está relacionada à baixa disponibilidade de radiação subaquática que induz a planta a adotar um crescimento alongado para evitar o sombreamento causado pela lama, ao invés de aumentar o número de ramificações e se alongar lateralmente (SOUSA et al., 2010). Além disso, estudos recentes apontam que o ferro diminui a concentração de fósforo na coluna d'água e aumenta a absorção de arsênio que pode ter afetado a biomassa global. (PISTORI et al., 2004).

Para a segunda espécie, apesar das plantas terem tido uma alta taxa de crescimento nos primeiros dias de experimento, devido a presença de micronutrientes no rejeito e sedimento, a longo prazo esses elementos se tornaram tóxicos levando a diminuição drástica no investimento em biomassa (BOTTINO, et al. 2017). Essa diminuição já foi observada por outros autores e está ligada a diminuição das atividades enzimáticas e perturbação da síntese de clorofila quando expostas a altas concentrações de metais (SCHOLER et al., 2014; IMMERS et al., 2013).

Outro estudo, com resultados similares, foi conduzido por Gimenes e colaboradores (2020). Assim como o anterior, Gimenes et al.(2020) avaliaram os efeitos do Alumínio e Manganês, em concentrações próximas às encontradas no Rio Gualaxo Norte após o rompimento da Barragem de Fundão (20°18'23.2" S ; 43°13'34.3" W) em uma espécie de planta aquática, *Ricciocarpos natans*, se comparadas ao ambiente preservado.

Assim como no estudo anterior, Gimenes et al. (2020) identificaram mudanças drásticas no metabolismo da planta, que para eles, pode estar relacionado a toxicidade do alumínio. Em geral, os metais inibiram cerca de 50% na produção de biomassa, fazendo com que o conteúdo de amido da planta diminua e resultando no mau funcionamento fotossintético e inibição dos ciclos energéticos da planta (SPARLING, 2018).

Esses resultados, corroboram outros estudos que apontam que a toxicidade por metais como Ferro, Alumínio, Manganês, Zinco e Níquel, presentes em altas concentrações no rejeito de minério (ARAÚJO, et al. 2006; KOSSOFF et al., 2014), podem impactar diretamente o crescimento de plantas aquáticas e indiretamente toda comunidade, incluindo os integrantes da cadeia alimentar dessas espécies e os seres humanos.

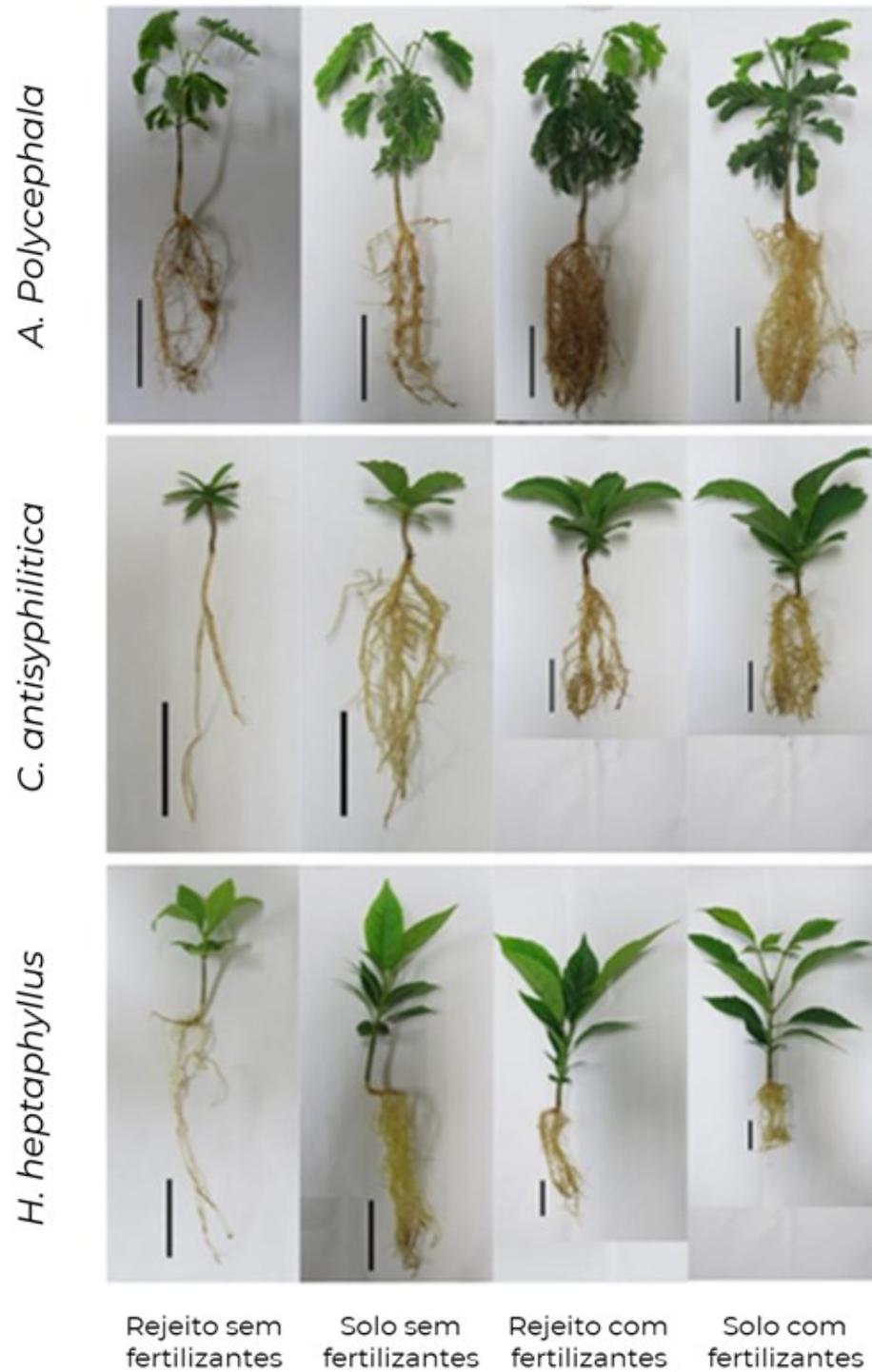
2. Espécies arbóreas

Ainda considerando os potenciais efeitos adversos da contaminação por metais em espécies nativas, outros dois estudos fizeram experimentos nessa linha. O primeiro estudo foi realizado por Cruz e colaboradores (2019). Essa pesquisa, teve como objetivo avaliar os efeitos que solos soterrados por rejeitos de minério de ferro, do reservatório de Fundão, na germinação e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, se comparados a solos não impactos da região.

Para realização do experimento foram coletadas 60 amostras de sedimento superficial/solo em dez pontos do rio Carmo (S 20° 21' 26.45'', O 43° 7' 4,69'') dentro do município de Barra Longa, Minas Gerais. As coletas foram realizadas a aproximadamente 60 quilômetros de calha de rio do local do rompimento. Essas coletas foram realizadas em abril de 2017, 18 meses após o rompimento. Considerando que a Região 3 se encontra a aproximadamente a 45 km do local do rompimento na Mina do Córrego do Feijão, acredita-se que os resultados encontrados podem ser bons preditores dos danos a serem identificados dentro dessa região.

Após o experimento os autores observaram que o nível de metais no sedimento superficial/solo não afetou diretamente a germinação das sementes das espécies estudadas, sendo inclusive, maior para algumas espécies em zonas impactadas. Embora a germinação não tenha sido afetada, o crescimento das mudas foi menor quando as espécies foram cultivadas em solo com rejeitos de minério (CRUZ et al., 2019; Figura 130).

Figura 130: Fotos registradas por Cruz et al. (2019) indicando a menor produção de massa seca, tamanho de raízes e tamanho de ramificações para três espécies vegetais arbóreas. A barra de escala nas fotos é de 5 cm.



Fonte: Cruz et al. (2019).

Para esses autores, a causa do baixo crescimento das mudas está ligada a dois pontos centrais. O primeiro refere-se a baixa fertilidade desse substrato, particularmente ligada à baixa disponibilidade de nutrientes, baixo teor de matéria orgânica e argila o que resulta em uma baixa Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo, o que também foi encontrado por outros autores (SEGURA et al., 2016; ANDRADE, et al., 2018). O segundo refere-se aos altos teores de silte e areia muito fina que favorecem a compactação do substrato. Para eles, como as condições físicas do substrato interfere diretamente na resistência ao crescimento radicular (MENGEL et al., 2001) a compactação pode ter sido um fator limite ao crescimento das plantas (redução entre 2 e 10% do crescimento), o que também é apresentado por Duarte, et al. 2020 e Quaresma et al., 2020, que analisando a granulometria do sedimento antes do rompimento e após o rompimento encontrou características de argila e silte, que favoreceram a compactação do solo (vide Figura 115 do Tópico 3.5.2).

Esses dois pontos são corroborados quando se compara a alocação de biomassa entre os órgãos das plantas. Isso acontece, pois, em solos com baixa fertilidade a planta tende a alocar mais recursos nas raízes ao invés das folhas (POORTER et al, 2012). No experimento realizado por Cruz et al. (2020) encontrou-se diferenças significativas entre a biomassa das raízes das mudas que cresceram em solos impactados e a biomassa das raízes que cresceram em solo preservado (Figura 130).

No que se refere a possíveis contaminações nos tecidos das plantas, Cruz et al. (2019) identificaram uma maior concentração de Fe nas plantas cultivadas no rejeito. Para esses autores, a alta compactação do solo e as menores concentrações de potássio e oxigênio disponível no substrato, limitam a oxidação do ferro, o que acontece naturalmente, e leva a uma maior adsorção de metais pelas plantas (TROLLDENIER, 1973). Outro ponto discutido pelos autores, foram as altas concentrações de Cálcio nos tecidos das plantas cultivadas sobre o solo impactado.

Para eles, essa concentração evidencia a função do cálcio na defesa sob estresse imposta pelo excesso de metais. Sob estresse por metal, o Cálcio dificulta a acumulação de metais ao controlar a permeabilidade da membrana e os movimentos dos cátions. Um estudo realizado por Gai e colaboradores (2017) observaram concentrações aumentadas de Ca em folhas de plantas submetidas a concentrações tóxicas de Zinco, por exemplo. Da mesma forma, a suplementação de Ca diminuiu a toxicidade do Cd (AHMAD et al., 2015), níquel (MOZAFARI, 2013) e As (RAHMAN et al., 2015) em plantas.

Por fim, ao avaliar os efeitos da fertilização das áreas impactadas sobre a biodisponibilidade de metais, esses autores identificaram que apesar das concentrações de ferro e cálcio terem se aproximado aos níveis normais, a fertilização aumentou a capacidade das plantas em absorver e acumular Manganês. Em quatro das cinco espécies avaliadas em solo com rejeito fertilizado foram constatados níveis tóxicos (> 700 mg/kg) desse elemento (CRUZ et al., 2020).

Ainda nessa linha de estudo, Matos e colaboradores (2020) realizaram um estudo similar. Esses pesquisadores avaliaram as respostas fisiológicas de uma espécie arbórea nativa (*Cassia Grandis*) cultivadas em rejeitos de mineração de ferro, se comparadas aos indivíduos cultivados em solo de referência. O sedimento superficial com rejeito de minério foi coletado no distrito de Paracatu de Baixo, às margens do rio Gualaxo Norte em Mariana, Minas Gerais ($20^{\circ}18'16.1''$ S ; $43^{\circ}13'50.1''$ W). O ponto de coleta está a aproximadamente 36 km do local do rompimento.

As folhas analisadas pelo grupo apresentaram incrementos de 932, 125, 63 e 220% para os teores de Cromo, Manganês, Ferro e Magnésio, respectivamente (Tabela 34). Por outro lado, para Cobre, Zinco e Potássio foram encontrados valores menores nos indivíduos cultivados sob o sedimento com o rejeito de minério (54%, 68% e 74%, respectivamente). Já para as raízes, apenas os valores de Cromo e Ferro foram maiores nas plantas cultivadas no solo com rejeito. Esse acúmulo de metais nas folhas e raízes é condizente aos valores observados de enzimas antioxidantes nas plantas, comum em plantas estressadas pelo excesso de metais (SYTAR et al., 2013). De qualquer forma, os efeitos tóxicos do acúmulo de metais e a ausência nutricional de outros podem levar a interrupção nas funções celulares da planta, e conseqüentemente, a sua morte.

Em relação aos teores de clorofila, os autores observaram uma diminuição das clorofilas a e b (49% em ambos os casos) em folhas de plantas cultivadas em solo com rejeitos de mineração. A diminuição dos níveis de clorofila afeta a fotossíntese da planta e diminui o crescimento. Aspectos fisiológicos como fotossíntese, transpiração e eficiência no uso de água foram, respectivamente, 500, 560, 190 por centos menores em plantas cultivadas em solos com rejeitos de minérios. Esses resultados podem estar relacionados a alta compactação do solo que reduz a quantidade de água e disponibilidade de nutrientes levando ao fechamento estomático precoce, e portanto, menor fixação de gás carbônico (LAHIVE et al., 2018). Tais resultados são coincidentes à má formação de raízes, comprometendo o desenvolvimento da planta.

Tabela 34: Níveis de metais em folhas e raízes de *C. grandis* encontrados por Matos et al. (2020) para dois tratamentos distintos. Letras diferentes, indicam diferenças significativas entre os dois tratamentos (5%).

ELEMENTO	FOLHAS				RAÍZES			
	Controle		Solo com rejeito		Controle		Solo com rejeito	
(µg/g DW)								
Cr	1.78	b	24.05	a	11.95	b	29.33	a
Cu	44.03	a	21.46	b	97.75	a	69.37	a
Mn	76.74	b	157.37	a	38.16	a	26.36	b
Zn	34.18	a	28.52	b	10.80	b	12.67	a
Pb	nd		nd		nd		nd	
Cd	nd		nd		nd		nd	
As	nd		nd		nd		nd	
(mg/g DW)								
Ca	10.98	a	12.21	a	9.02	a	5.93	a
K	21.08	a	13.08	b	19.51	a	1.76	b
Fe	1.08	b	1.62	a	1.48	b	5.39	a
Pi	2.19	a	0.56	b	2.98	a	0.15	b
Mg	4.10		21.53	a	13.23	a	1.77	b

Fonte: Matos et al. (2020).

Desta forma, observando o exposto nesses dois estudos, conclui-se que o desenvolvimento de plantas nativas arbóreas é prejudicado quando essas plantas são cultivadas em solos contaminados por rejeitos de minério. Apesar dos estudos não revelarem riscos diretos à saúde, por não quantificarem metais nas frutas, percebe-se que houve o acúmulo de metais no tecido, nos casos de maior biodisponibilidade dos metais, podendo levar a contaminação de toda a comunidade e indiretamente ao homem.

3. *FORAGEIRAS E ESPÉCIES COM POTENCIAL AGRÍCOLA*

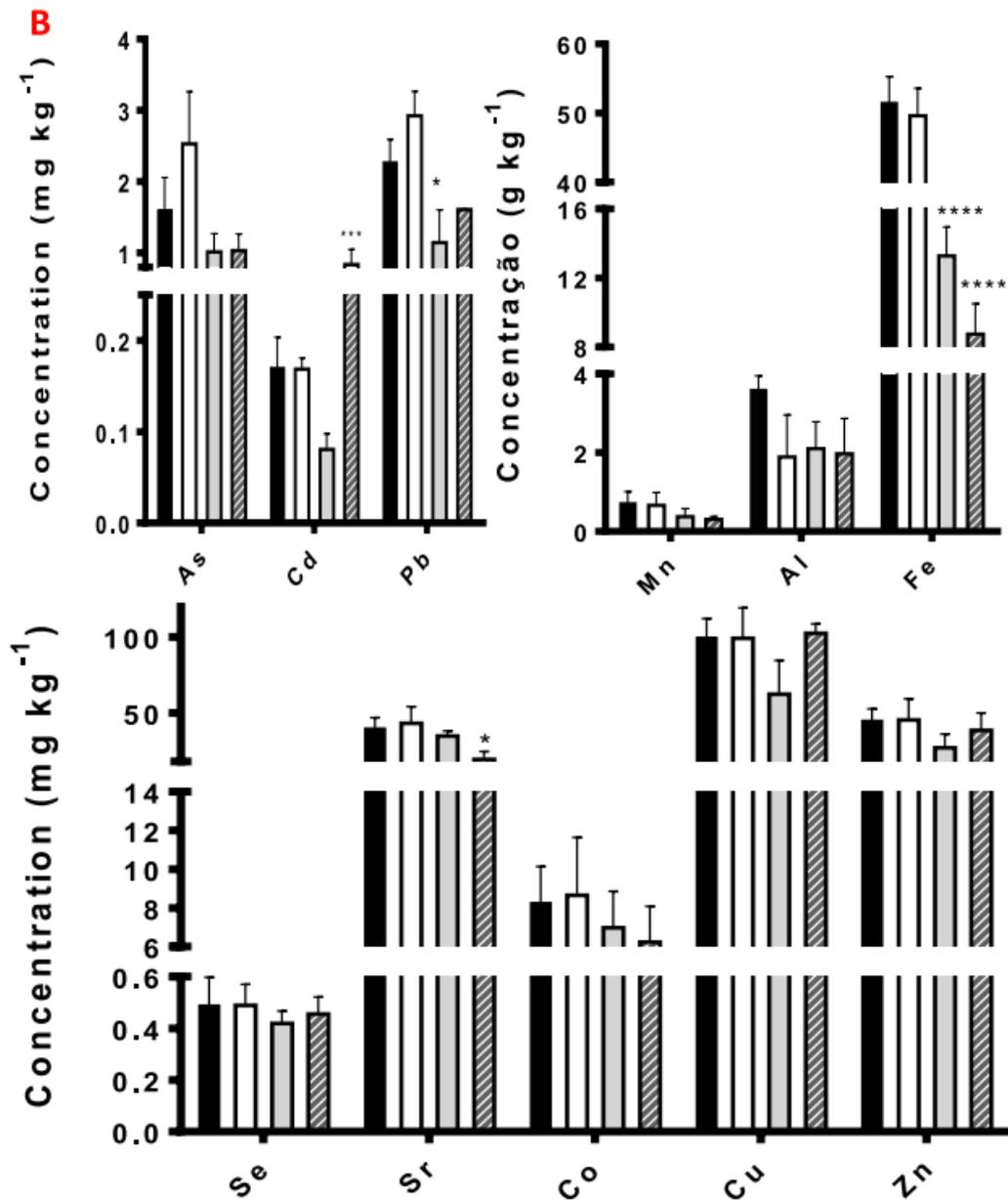
Já considerando apenas as espécies vegetais utilizadas para produção agrícola e ou animal, como as forrageiras, foram encontrados seis estudos que fizeram algum tipo de análise de contaminantes dentro do contexto recente de rompimentos de barragens no Brasil. Assim como nos demais casos apresentados anteriormente, ainda não existem estudos publicados para

a bacia do Rio Paraopeba após o rompimento da barragem da Mina do Córrego do Feijão. Portanto, visando produzir um cenário mínimo de discussão, serão utilizados dados produzidos no contexto da bacia do rio Doce, considerando em todos os casos os métodos utilizados caso a caso.

Cronologicamente, o primeiro estudo com espécies agrícolas nesse contexto foi realizado por Andrade e colaboradores em 2018 (ANDRADE et al., 2018). O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes misturas de solo e rejeitos de minério no cultivo de arroz. Para isso, foram consideradas quatro proporções experimentais, 0%, 16%, 34% e 50% de rejeito em relação ao solo de referência. Em todos os casos foram determinados ao longo do experimento as características físicas e químicas do solo, o teor de contaminantes metálicos e o desenvolvimento das plantas cultivadas. O rejeito utilizado como base para execução do experimento foi coletado às margens do rio Santarém, em Bento Rodrigues no município de Mariana, Minas Gerais. A utilização de diferentes proporções de rejeito facilita a comparação com áreas que não foram diretamente recobertas pelo rejeito ou a comparação com áreas afetadas apenas após as inundações fluviais, o que é comum na Região 3.

Considerando os aspectos ligados à contaminação dos tecidos vegetais foram avaliados dois componentes, as raízes e os grãos. Em relação às raízes, os autores não encontraram diferenças significativas entre as plantas cultivadas em solos com rejeito e o controle, para nenhum dos contaminantes avaliados, exceto o Cádmio (Figura 131). Para os autores, esse resultado pode estar relacionado à baixa presença de matéria orgânica, o que aumenta a disponibilidade desse elemento (SAMPANISH; PONGPALADISAI, 2012). De qualquer forma, os valores encontrados para esses elementos foram inferiores aos encontrados por White e Brown (2010) como tóxico para as plantas. De todo modo, imagens morfológicas das raízes identificaram paredes celulares mais curtas, profundas e mais espessas nas raízes cultivadas na proporção de 50% de rejeito no solo, o que afetou o crescimento da planta.

Figura 131: Concentração de elementos nas raízes de plantas de arroz cultivadas em quatro tratamentos, analisados antes da maturidade dos grãos.



Cores: Preto (Controle); Branco (16% de rejeito no solo); Cinza (34% de rejeito no solo); Linhas na diagonal (50% de rejeito).

*: diferença significativa entre os tratamentos.

Fonte: Andrade et al. (2018).

Os grãos das plantas cultivadas na proporção de 50% de rejeito no solo acumularam maiores concentrações de Selênio, Estrôncio, Cádmiio e Manganês e menores concentrações de Arsênio e Cobre que os controles. Ao comparar os valores obtidos neste estudo com o encontrado na literatura especializada, os autores observaram que os valores de Ferro, Alumínio, Cobre e Selênio estão de acordo com o previsto em literatura. Os teores de Estrôncio,

Cobalto, Arsênio e Chumbo foram significativamente menores que os encontrados em outros cultivos de arroz. Por outro lado, verificou-se uma maior concentração de Cádmiu nas amostras deste estudo se comparados aos demais (Tabela 35). Mesmo com esses valores discrepantes, todos estavam abaixo do máximo previsto em legislação (ANVISA, Codex Alimentarius e Comissão Europeia).

Tabela 35: Comparação da concentração dos elementos analisados (mg/kg) entre os grãos de arroz cultivados no rejeito de minério e valores da literatura.

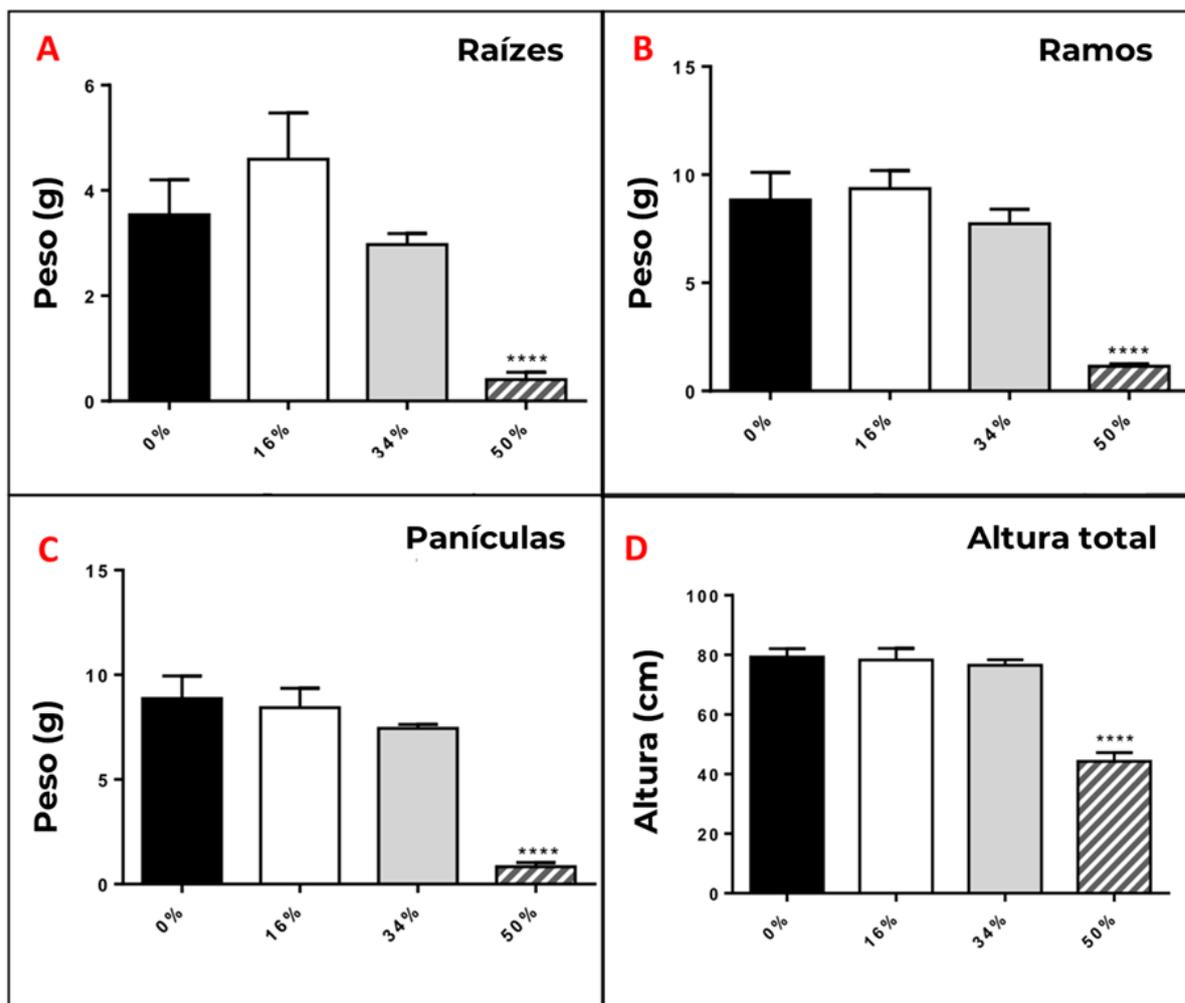
ELEMENTOS	ESSE ESTUDO	OUTROS ESTUDOS COM GRÃOS DE ARROZ NO MERCADO	OUTROS CEREAIS (KABATA-PENDIAS ET AL., 2007).
Mn	14.0-18.6	5.4 -146.4 a	27 - 50
		5.2 - 43.5 b	
		9.4 -9.6 f	
Zn	18.1 - 18.7	11.4 - 62.6 a	18 - 33
Fe	12.1 - 13.1	10 - 15 c	-
		12.9 - 14.3 d	
		7.2 - 7.9 f	
Al	10.1-13.1	6.10-23.4 b	30 - 70
Cu	2.6-3.7	1.2 - 5.6 a	0.3 - 13
		0.7 - 2.7 b	
		2.5 - 3.1 f	
Sr	0.34-0.45	-	1.5 - 2.5
Se	0.06-0.13	0.02 - 0.06 a	0.1 - 0.8
		0.03 - 0.24 b	
		0.03 - 0.04 f	
Co	0.01-0.02	0.03 - 0.07 a	0.05 - 0.30
		0.07 - 0.13 b	

Letras representam o estudo de onde foi retirado o valor: a - Batista et al. (2010). b - Antoine et al. (2012). c - Cakmak and Welch (2009). d - Pinheiro et al. (2014). e - Kabata-Pendias and Mukherjee (2007). f - Joy et al. (2017).

Fonte: Andrade et al. (2018).

Apesar de não terem sido encontrados valores representativos de contaminação dos grãos cultivados, observou-se que houve uma diminuição significativa na biomassa global das plantas cultivadas em 50% de rejeito de minério. A presença do rejeito no solo causou uma restrição no crescimento da planta e a diminuição da biomassa, influenciando dessa forma, no rendimento produtivo de grãos (Figura 132). Comparando às controle, plantas cultivadas em solo impactado tiveram reduzidas sua altura média em (41,2%), sua biomassa média das raízes (88,5%), de brotos (87%) e panículas (90,6%).

Figura 132: Parâmetros agrônômicos avaliados por Andrade et al. (2018) para plantas de arroz cultivadas em diferentes proporções de rejeito de minério no solo.



*: Estatisticamente diferentes do solo controle (5%). Fonte: Andrade et al. (2018).

Esses autores sugerem que esses resultados estão diretamente ligados às concentrações de Ferro nas raízes e no solo, que pode se tornar um elemento tóxico para o arroz conforme suscetibilidade do cultivar. Além disso, a toxicidade por Ferro pode variar conforme a capacidade de oxidação das raízes, que é diretamente correlacionada a baixa Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e a baixa concentração de potássio (MENGEL et al., 2001). Desta forma, esses autores sugerem que a toxicidade do Ferro pode ter sido agravada pela baixa concentração de nutrientes dos solos com rejeitos, o que pode ter prejudicado o crescimento.

Como conclusão, Andrade et al. (2018) afirma que apesar de não ter sido possível identificar a presença de altas concentrações de metais nos tecidos vegetais, a baixa disponibilidade de nutrientes e as alterações físicas, como a compactação, causado pelo

acúmulo de minério desencadeou uma série de respostas fisiológicas que prejudicou seu crescimento e sua produtividade.

Nesta mesma linha de raciocínio, dois estudos realizados por Esteves e colaboradores (2020) objetivaram avaliar os efeitos dos rejeitos oriundos da mineração no desenvolvimento inicial de milhete, milho e sorgo. A principal diferença entre os dois estudos é que o primeiro avaliou os efeitos diretos do rejeito no desenvolvimento dessas espécies (ESTEVES, et al. 2020a), enquanto o segundo procurou compreender os efeitos nessas três espécies caso sejam incorporados vermicompostos aos solos impactado (ESTEVES, et al. 2020b).

Assim como no estudo apresentado anteriormente, Esteves et al., (2020a) optou-se por experimentar diferentes concentrações de rejeitos de mineração para comparação. As proporções utilizadas são 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de rejeitos na mistura com areia. O rejeito de minério utilizado é resultado de uma amostra composta realizada próximo ao rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Assim como no estudo anterior, a utilização de proporções distintas de rejeito na composição da solo para o experimento facilita a comparação entre estudos de casos.

Ao longo do primeiro experimento, os autores não encontraram alterações significativas na germinação e biomassa das mudas cultivadas nas diferentes concentrações de rejeito de minério de ferro. Apesar disso, maiores proporções de rejeitos causaram uma redução no comprimento das raízes de todas as espécies analisadas, mesmo sem inibir o crescimento inicial das três espécies analisadas. Segundo os autores, isso pode ter ocorrido devido à resistência física dos rejeitos, uma vez que, o principal dano causado está relacionado à diminuição do número, comprimento e espessura do sistema radicular (GRZESIAK et al. 2014).

No que se refere às respostas fisiológicas das plantas avaliadas, o milho e o milhete tiveram suas taxas fotossintéticas reduzidas em concentrações mais altas de rejeitos, enquanto que o sorgo obteve uma taxa fotossintética maior. Segundo os autores isso pode estar relacionado apenas a um ajuste fotossintético, uma vez que também observaram uma queda do teor relativo de clorofila em todas as espécies, o que diminui a produção de biomassa. Todas as plantas cultivadas sob os solos com rejeitos também tiveram suas taxas de transpiração diminuídas se comparadas às plantas cultivadas em solo referência.

Por fim, considerando os níveis de metais analisados (Cr, Mn, Fe) nos tecidos das espécies estudadas, não foi possível observar diferenças significativas entre as concentrações desses metais para os diferentes cultivos (Tabela 36). Segundo os autores, esses resultados

podem estar relacionados a baixa biodisponibilidade desses metais, relacionada às características físicas e mineralógicas do substrato (GRZESIAK, et al. 2014; ESTEVES, et al., 2020a).

Tabela 36: Concentração de Cromo (Cr), Manganês (Mn) e Ferro (Fe) no milhete, milho e sorgo para diferentes proporções de rejeitos de minério de ferro no solo.

TRATAMENTOS (T %)	METAIS (MG KG ⁻¹)	MILHETE	MILHO	SORGO
0	Cr	3.0	4.1	2.5
	Mn	107.4	261.7	195.7
	Fe	827.9	857.0	839.3
25	Cr	2.5	3.1	3.3
	Mn	116.7	233.2	178.6
	Fe	895.0	939.6	898.8
50	Cr	1.5	2.0	2.2
	Mn	139.8	195.5	185.9
	Fe	911.0	869.2	900.5
75	Cr	2.5	1.8	1.7
	Mn	134.7	197.8	210.2
	Fe	930.6	867.5	917.0
100	Cr	3.0	1.0	1.5
	Mn	155.6	229.3	212.7
	Fe	1045.8	896.0	915.6

Fonte: Esteves et al. (2020a).

De modo a verificar se a fertilização do solo poderia trazer resultados diferentes, Esteves e colaboradores, fizeram um segundo estudo (ESTEVES, et al. 2020b). Nesse novo estudo, eles adicionaram vermicomposto, que é um substrato rico em macronutrientes e matéria orgânica ao rejeito e comparam os resultados do cultivo das mesmas três espécies utilizadas anteriormente. Outro incremento substancial a esse novo estudo, foi a análise de outros elementos químicos com potencial tóxico, para além do Cromo, Ferro e Manganês avaliados inicialmente.

Como principais resultados, têm-se um incremento significativo nos níveis de troca catiônica do rejeito e um aumento da matéria orgânica, o que teoricamente melhora a disponibilidade de nutrientes às plantas (VAMERALI et al., 2010).

Quanto aos macros e micronutrientes (incluindo os metais) foram encontrados valores superiores aos considerados de referência (GUIMARÃES et al., 1999) em vários tecidos e tratamentos. Particularmente, para o broto de milho foram encontrados valores superiores de manganês em todos os tratamentos e zinco para os milhos cultivados sobre o rejeito. Para as raízes de milho, foram encontrados valores superiores de ferro e manganês em todos os tratamentos, o que também foi encontrado para as raízes de sorgo e milheto. De modo geral, as plantas de milho, milheto e sorgo absorveram quantidades de Cr, Fe e Mn acima dos limites descritos na literatura (WHO, 1996). Contudo, não foi possível observar sintomas visíveis de toxicidade de qualquer um desses metais nas espécies avaliadas. Inclusive, maiores taxas de crescimento foram observadas no tratamento com rejeito associado ao vermicomposto.

De modo geral, esses estudos identificaram que os rejeitos de minério não influenciaram o processo de germinação e desenvolvimento inicial das espécies estudadas. Porém, plantas em estágios de desenvolvimento maiores, apresentaram uma menor biomassa da parte aérea e raízes, quando cultivadas em solos com maior proporção de rejeitos, o que prejudicou a produtividade. Quando associadas a práticas de complementação nutricional, observa-se um ganho no crescimento radicular e biomassa global. Por outro lado, o incremento de matéria orgânica pode levar ao aumento da biodisponibilidade de metais e a adsorção desses metais para os tecidos vegetais. Sendo assim, o consumo desses produtos vegetais pode promover sua biomagnificação ao longo da cadeia e conseqüentemente efeitos deletérios à saúde.

Zago et al., (2019) avaliou o desenvolvimento, a produção de biomassa e a capacidade de absorção de elementos minerais tóxicos de três tipos de forrageiras cultivados sob rejeito de minério de ferro e solo impactado. As análises foram realizadas para quatro tratamentos distintos com níveis de compostos orgânicos distintos, com e sem micorrizas e em um ambiente controle, sem nenhum tipo de impacto. As coletas da mistura de rejeitos e solos foram realizadas no distrito de Bento Rodrigues, Mariana - MG, aproximadamente nove meses após a ruptura da barragem de Fundão.

Entre os principais resultados encontrados, observou-se inicialmente que apesar do substrato afetado não ter altas concentrações de metais pesados, a presença de altas

concentrações de ferro, manganês e hidróxidos de sódio aliados a baixa quantidade de nutrientes e matéria orgânica tornaram o solo impróprio para o cultivo agrícola. Quanto ao desenvolvimento das plantas, observou-se que as plantas cultivadas em substratos (solo mais rejeito) adubados produziram uma maior biomassa. Inclusive, observou-se que as plantas cultivadas com a presença de micorrizas produziram mais biomassa, devido a capacidade desse fungo em aumentar a área de superfície da raiz melhorando a absorção de nutrientes. Esses resultados já tinham sido encontrados por outros estudos em situações similares (AKHZARI et al., 2018; KOHLER et al., 2015).

Quanto à concentração de elementos tóxicos inorgânicos no tecido, os autores só avaliaram as plantas do tratamento controle e as cultivadas em solo com rejeito adubado (2 kg/planta). Os níveis encontrados para a parte aérea das plantas não foram considerados tóxicos. Segundo autores, esse resultado pode estar relacionado ao alto pH do substrato, o que pode ter diminuído a absorção e mobilidade, o que já foi observado em outros estudos. (TAVARES et al., 2013). Apesar disso, foram encontrados altos valores de Ferro e Manganês nas partes superiores das plantas, principalmente naquelas cultivadas em substrato sem adubação. Além disso, foram detectadas concentrações elevadas de cromo e chumbo na parte aérea das plantas cultivadas no substrato contaminado e nas plantas cultivadas no substrato contaminado mais a adubação. Porém, não foi possível identificar diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 37).

Apesar dos autores do estudo reforçarem que a utilização dessas plantas possuem um viés produtivo associado a produção de óleos aromatizantes, esses resultados podem indicar uma alta absorção de metais tóxicos por forrageiras utilizadas para alimentação animal, levando a uma possível bioacumulação desses metais na cadeia alimentar (MELATO et al., 2016 ; EMAMVERDIAN et al., 2015.)

Tabela 37: Concentração de elementos potencialmente tóxicos (mg/kg) nas partes aéreas de três espécies de forrageiras em diferentes tipos de tratamento.

ESPÉCIE	DOSE	MICORRIZAS	Cu	Mn	Zn	Fe	Cd	Cr	Pb	Na
<i>C. citratus</i>	0	Com	0.41	95.71	13.05	1249.83	nd	10.7	11.93	192
		Sem	nd	104.9	7.69	912.13	nd	9.85	52.75	175.8
	2	Com	0.56	95.84	26.97	695.18	0.09	7.92	29.1	192.2
		Sem	0.26	90.26	25.96	697.22	0.57	6.7	22.82	165.6
<i>C. winterianus</i>	0	Com	0.63	115.02	9.04	1357.9	0.09	7.9	15.87	175.8
		Sem	nd	107.95	9.66	1385.48	0.32	11.47	21.03	166.9
	2	Com	1.7	43.68	30.52	937.79	0.58	7.04	28.28	183.1
		Sem	1.05	51.99	30.17	940.53	0.95	6.21	20.4	183.1
<i>C. zizanioides</i>	0	Com	0.84	133.24	10.28	537.42	0.91	11.8	23.1	207.7
		Sem	1.2	172.75	9.9	467.45	1.16	11.8	29.04	215.8
	2	Com	1.34	65.2	22.9	308.34	1.53	8.44	30.28	167.4
		Sem	0.55	74.5	27.61	574.32	1.74	10.94	26.99	183.3

Dose: quantidade de compostos orgânicos (kg/planta); nd: não detectado.

Cu = Cobre; Mn = Mangânes; Zn = Zinco; Fe = Ferro; Cd = Cádmio; Cr = Cromo; Pb = Chumbo; Na = Sódio.

Fonte: Zago et al. (2019).

Ainda nessa linha de espécies vegetais com potencial econômico, Coelho e colaboradores (2020), objetivaram analisar o nível de contaminantes em três espécies vegetais (Brachiaria, Cana de Açúcar e o Mineirão) atingidas pela mistura de rejeito de minério de ferro e sedimentos devido o rompimento da barragem de Mariana, Minas Gerais. Para isso foram realizadas coletas das raízes, ramos e folhas superiores em três áreas atingidas e uma área controle. As coletas ocorreram a aproximadamente 38,4 km do rompimento em áreas que tradicionalmente eram utilizadas para produção de diferentes espécies agrícolas (20°18.114'S, 43°14.225'W; 20°17.946'S, 43°14.222'W; 20°18.243'S, 43°14.608'W).

Independente das espécies analisadas, os autores encontraram um maior acúmulo de Ferro e Manganês, seguido por Zinco, Cobre e Cromo, com baixas quantidades. Esse resultado já era esperado quando se compara a outros estudos em contextos semelhantes (WANG et al., 2018). Comparando aos valores obtidos nas plantas controle, as plantas coletadas em local afetado obtiveram alterações quantitativas significativas para Ferro, Manganês, Cobre e Cromo. A maioria das amostras de plantas coletadas em local afetado mostraram altos níveis de Ferro e Manganês. Em relação ao Ferro, folhas de Brachiaria e Mineirão de plantas coletadas nas zonas impactadas atingiram a faixa de fitotoxicidade, apesar dos sintomas visuais não serem identificados em campo. Para o manganês, ainda não existem definições claras para os limites

de toxicidade para as espécies analisadas, e, portanto, os autores constataram que os valores encontrados, apesar de maiores que o controle, não são motivos para preocupação. Para o Cobre, também foram identificados valores maiores que a concentração normais (NOURI; HADDIOUI, 2016) nos locais afetados (Tabela 38).

Tabela 38: Concentração de elementos com potencial tóxico em folhas, ramos e raízes em *Brachiaria decumbens* cultivadas em solo controle e mais três locais afetados pelo rejeito de minério proveniente da Barragem de Fundão, Brasil.

AMOSTRA	LOCAL	ELEMENTOS									
		Fe ($\mu\text{g/g DW}$)		Mn ($\mu\text{g/g DW}$)	Zn ($\mu\text{g/g DW}$)	Cu ($\mu\text{g/g DW}$)	Cr ($\mu\text{g/g DW}$)				
Folhas	Controle	369.89 \pm 17.27	C	191.73 \pm 26.40	b	32.00 \pm 3.31	a	28.95 \pm 1.83	b	2.37 \pm 0.69	a
	RAA1	982.53 \pm 97.95	B	188.40 \pm 29.75	b	19.77 \pm 1.41	b	21.11 \pm 2.73	b	1.25 \pm 0.36	a
	RAA2	1029.79 \pm 64.74	B	373.69 \pm 15.39	a	21.06 \pm 1.10	b	32.15 \pm 3.03	b	1.18 \pm 0.46	a
	RAA3	1351.95 \pm 25.63	A	101.80 \pm 10.84	b	23.92 \pm 2.02	ab	45.83 \pm 2.82	a	0.57 \pm 0.15	a
Ramos	Controle	343.97 \pm 33.20	b	106.48 \pm 7.72	c	105.66 \pm 7.85	a	23.94 \pm 1.79	b	11.44 \pm 1.73	b
	RAA1	364.06 \pm 36.05	b	141.89 \pm 7.78	ab	22.53 \pm 2.91	b	30.98 \pm 2.41	b	35.39 \pm 8.57	ab
	RAA2	768.08 \pm 36.05	a	167.66 \pm 7.04	a	27.01 \pm 1.75	b	48.27 \pm 4.32	a	43.46 \pm 6.99	a
	RAA3	680.11 \pm 77.33	a	122.43 \pm 8.23	bc	41.23 \pm 5.27	b	29.47 \pm 2.51	b	50.82 \pm 9.43	a
Raízes	Controle	2531.94 \pm 267.30	C	59.55 \pm 5.47	c	68.88 \pm 4.52	a	22.39 \pm 2.46	b	46.84 \pm 3.10	b
	RAA1	23731.85 \pm 3313.77	B	116.41 \pm 10.58	b	53.07 \pm 5.24	a	20.73 \pm 2.26	b	42.61 \pm 6.26	b
	RAA2	42 958.97 \pm 5436.32	A	151.07 \pm 7.27	a	50.55 \pm 3.67	a	57.91 \pm 6.55	a	127.80 \pm 16.25	a
	RAA3	37 530.60 \pm 1945.00	AB	112.67 \pm 8.47	b	53.80 \pm 4.66	a	66.25 \pm 3.64	a	117.59 \pm 7.73	a
CF	RAA1	7.73 (Muito alto)		1.25 (Moderado)		0.46 (Baixo)		0.97 (Baixo)		1.31 (Moderado)	
	RAA2	13.79 (Muito alto)		1.94 (Moderado)		0.48 (Baixo)		1.84 (Moderado)		2.84 (Moderado)	
	RAA3	12.19 (Muito alto)		0.94 (Baixo)		0.58 (Baixo)		1.88 (Moderado)		2.79 (Moderado)	

CF: Fator de Contaminação. As letras representam as diferenças entre os locais amostrados.

Fe = Ferro; Mn = Mangânes; Zn = Zinco; Cu = Cobre; Cr = Cromo.

Fonte: Coelho et al. (2020).

Os autores reforçam que apesar desses metais estarem envolvidos em muitos processos metabólicos das plantas, o acúmulo desses elementos nas plantas forrageiras, possui um potencial risco de biomagnificação através do consumo de carne bovina dos animais deste local, podendo gerar distúrbios neurocomportamentais nos humanos (HARE et al. 2017).

Os autores ainda observaram o acúmulo de Cromo em algumas matrizes biológicas das espécies analisadas, principalmente na zona 2. Esse elemento não possui nenhuma função metabólica para as plantas e é considerado potencialmente tóxico (SHAHID et al., 2017). Como sua biodisponibilidade pode ser afetada pelo Mangânês, os autores sugerem que os altos valores observados podem estar ligados a uma alteração da biodisponibilidade do cromo que naturalmente ocorre no solo, devido ao manganês do rejeito de minério.

Coelho e colaboradores (2020), ainda relataram tendências distintas de acúmulo de metal entre as espécies. Para *brachiaria*, p.ex., observou-se um maior acúmulo nas raízes, e, portanto, um baixo valor de translocação entre os tecidos. Já para o mineirão, o maior acúmulo de metais foi observado nas folhas, e portanto, com valores de translocação alto de metais. De modo geral, a translocação do cromo, elemento com maior potencial tóxico, foi muito baixa. Da perspectiva do risco à saúde humana, esses resultados são positivos, visto que a adsorção desses elementos apenas nas raízes, minimiza o processo de biomagnificação na cadeia alimentar.

Por fim, os autores não identificaram a presença de Arsênio, Chumbo ou Cádmio nos tecidos vegetais analisados. Esse resultado indica um baixo risco de aporte desses elementos para animais e humanos nas regiões afetadas.

3.7.3 Análise integrada dos resultados e implicações para a região em estudo

Apesar de ainda não existir dados consistentes sobre o nível de contaminantes em produtos vegetais ao longo do rio Paraopeba após o rompimento, nós podemos concluir, com base na análise de contextos semelhantes, que o contato das espécies vegetais com o rejeito, solo ou sedimento impactado, não significa a contaminação imediata de seus tecidos. Porém, invariavelmente, todos os estudos experimentais mostraram uma queda significativa na fertilidade do solo, o que afetou o desenvolvimento das espécies vegetais e sua produtividade em biomassa.

Isso acontece, pois, diferentes espécies possuem diferentes capacidades de adsorção e translocação de elementos contaminantes. Essa capacidade altera a disponibilidade desses elementos nas partes aéreas das plantas, o que diminui a ameaça de ingestão e/ou biomagnificação na cadeia alimentar. Plantas com altas capacidades de adsorção e translocação desses elementos são incentivadas para fitorremediação de áreas contaminadas, garantindo um ambiente mais equilibrado para plantas com requerimentos nutricionais mais altos.

Desta forma, é possível afirmar que as zonas afetadas pelo sedimento contaminado carregado pelas sucessivas cheias do rio Paraopeba podem oferecer um risco ao cultivo de plantas e possíveis consumidores secundários. Também é possível afirmar que o sedimento contaminado poderá afetar o desenvolvimento e produtividade das plantas, afetando dessa

forma a renda das pessoas que utilizavam essas áreas para plantio. Portanto, pelo princípio da precaução essas áreas devem ser isoladas, até a retirada completa do rejeito e/ou processos de remediação sejam adotados, e as famílias atingidas sejam reparadas conforme grau e proporção da zona impactada.

3.8 Animais domésticos e produtos derivados

O rompimento de barragens de rejeitos de mineração representa uma ameaça à saúde do ecossistema e humana conforme a descarga atinge os cursos d'água e regiões ribeirinhas. Como vimos anteriormente, plantas afetadas por rejeitos de minério, seja diretamente ou indiretamente, devido a deposição de sedimentos via enchentes, se contaminadas, podem ser uma rota para mobilização de contaminantes via cadeia alimentar (HAMMOND; ARONSON, 1964; MAIGA, ET AL., 2005).

A ingestão acidental, aguda ou crônica, de forrageiras contaminadas com metais pesados, pode resultar em diversas afecções, que em determinadas situações podem não ser identificadas clinicamente (SOUZA, 2009; HEI; FILIPIC, 2004). Isso acontece, pois, bovinos e animais voltados para produção animal são poucos seletivos e podem se contaminar mediante a mastigação de objetos contendo esses elementos ou a partir da ingestão de água ou alimento contaminado.

Ademais, os animais respondem a danos tóxicos de forma parecida aos humanos e podem desenvolver patologias clínicas análogas ao serem induzidas pelos mesmos mecanismos patogênicos. Por conta disso, a literatura científica tem associado esses animais a sentinelas de contaminação ambiental como forma de antecipar consequências toxicológicas em seres humanos expostos ao mesmo ambiente (SCHMIDT, 2009).

Desta forma, sistematizar e analisar dados secundários sobre os potenciais efeitos tóxicos dos rejeitos de mineração sobre os animais domésticos e produtos derivados, podem fornecer informações importantes para adoção medidas mitigatórias na Região 3 e para composição da matriz de danos, visto que algumas áreas inundadas na temporada de cheia do rio Paraopeba eram amplamente utilizadas como pastagens para o gado de corte e leite. Logo, a potencial contaminação da água e plantas utilizadas para manutenção do rebanho representa um potencial risco à saúde humana e as atividades produtivas da região.

3.8.1 Estudos toxicológicos em animais domésticos da Região 3 antes e após o rompimento da barragem.

Não foram encontrados dados relacionados à contaminação e morte de animais domésticos coletados dentro da Região 3 antes do rompimento da barragem B1 da mina do Córrego do Feijão. Atualmente, até existem estudos que avaliam as concentrações de metais pesados em animais domésticos para Minas Gerais (SOUZA et al., 2009; MAIA, et al., 2006) e para o Brasil (COSTA, et al. 2020; LIMA, et.al. 2016; ALKIMIM FILHO, et al. 2014; GOMES et al., 2013), porém todos esses estudos possuem uma baixa representatividade dentro da Região 3, e portanto, não permitem uma extrapolação para construção de uma linha de base direta.

Já para o cenário após o rompimento, o único grande estudo que traz um panorama dos danos à fauna terrestre é o Laudo Pericial Criminal Federal Nº 1639/2019. Durante a busca por dados e em conversas com os moradores da região, o corpo técnico do NACAB também tomou ciência que o Instituto Mineiro de Agropecuária - IMA havia feito coletas de material biológico de animais de produção ao longo da bacia do rio Paraopeba após o rompimento. Essas amostras seriam posteriormente analisadas em parceria com a Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Com consciência deste estudo, o corpo técnico do NACAB entrou em contato com a equipe responsável pela estudo do IMA, em julho de 2020, com objetivo de entender o escopo da pesquisa e foi protocolado, em agosto do mesmo ano, com auxílio das outras ATIs e com o intermédio do Comitê Pró-Brumadinho um ofício pedindo acesso à diversos dados do IMA, inclusive os resultados desse estudo. Apesar de uma longa espera, até a data de publicação deste diagnóstico, os documentos que foram pedidos ao IMA não foram disponibilizados pelo órgão, o que impede qualquer tipo de análise para o escopo da Região 3.

Diante dessa falta de informações para a Região 3, dos relatos de animais mortos após o rompimento da Barragem (NOTÍCIAS R7, 2019; O TEMPO, 2019; MPMG, 2019) e visando não deixar lacunas de informações para as Instituições de Justiça e atingidos, o corpo técnico do NACAB optou por apresentar dados do Laudo Pericial Criminal Federal Nº 1639/2019 e dados provenientes de estudos realizados em contextos semelhantes de impactos. .

a) Laudo Pericial Criminal Federal Nº 1639/2019.

O objetivo principal desse laudo era identificar os danos causados à fauna terrestre e aquática decorrente do rompimento da B-I da Mina Córrego do Feijão. Os exames periciais envolveram vistorias de campo dos locais afetados por via terrestre, aérea e fluvial. Os sobrevoos abrangeram desde a B-I até a foz do Ribeirão Ferro-Carvão e deste ponto até o município de Pará de Minas/MG, local de instalação das membranas de contenção de rejeitos denominada “Membranas de Juatuba”. Os exames realizados por via fluvial compreenderam navegação no Rio Paraopeba a montante da foz do Ribeirão Ferro-Carvão e a jusante deste ponto, até a região do Bairro Citrolândia (município de Betim/MG). Como parte dos exames foram feitas necropsias para determinação da *causa mortis* de mamíferos, aves e peixes.

Neste caso, serão considerados apenas os resultados obtidos pela equipe de peritos no rio Paraopeba, sem considerar a área da sub-bacia do ribeirão Ferro-Carvão. Durante os exames de campo, os peritos constataram a exposição de animais silvestres e domésticos à água contaminada por substâncias potencialmente tóxicas. Os principais meios de exposição observados foram a ingestão direta, a ingestão indireta (alimentos contaminados) e/ou o contato dérmico. Portanto é possível inferir que animais silvestres e domésticos possam vir a se intoxicar em médio ou longo prazo, pelo estreito e frequente contato com as fontes de contaminação (água e/ou alimentos). A Figura 133 ilustra a convivência de animais com as águas contaminadas do Rio Paraopeba.

Além disso, com base nos relatórios apresentados pela empresa VALE S.A entre o rompimento e agosto de 2019, os peritos constataram que foram registradas a ocorrência de 378 carcaças de animais terrestres (incluindo silvestres e domésticos). A maior parte dessas carcaças são de animais domésticos (217, aproximadamente 57%; Figura 134). Deste total, a maior parte das carcaças identificadas são de cachorro (*Canis Familiaris*), galinha (*Gallus gallus domesticus*) e bovinos (*Bos taurus*), vide Figura 135.

Os dados relacionados a ecotoxicologia, necropsia e causa mortis dessas carcaças não foram apresentados pelo Laudo Pericial em questão.

Figura 133: Animais domésticos (bovinos e equino) às margens do Rio Paraopeba.



Fonte: Polícia Federal, 2019.

Figura 134: Número de carcaças identificadas como animais domésticos por nome comum e espécie.

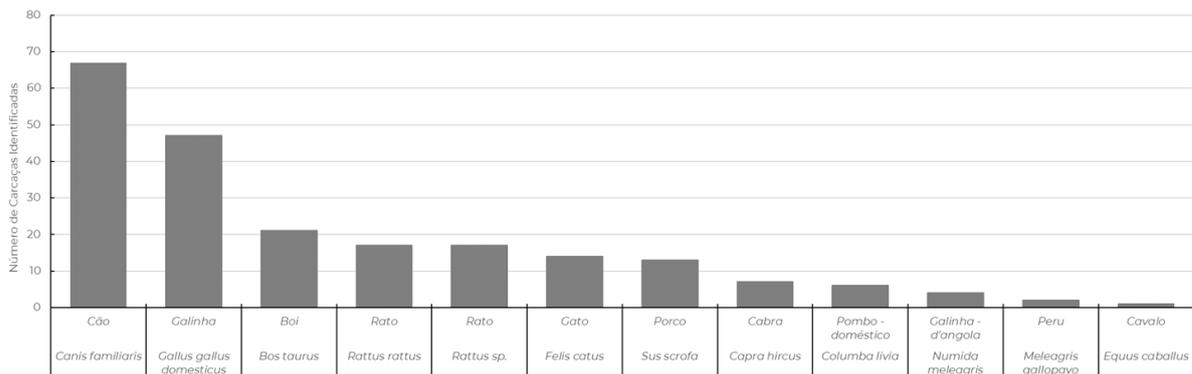


Figura 135: Imagem de carcaças de animais domésticos (boi) encontrada no trecho do Rio Paraopeba, entre a foz do Ribeirão Ferro-Carvão e a Barragem de Retiro Baixo, em Felixlândia, MG.



Como conclusão final, os peritos apontam que não existem dúvidas da relação existente entre a mortandade de animais silvestres e domésticos e o derramamento de rejeitos provenientes do rompimento da Barragem I da Mina Córrego do Feijão. Apesar de não se constatar a relação entre a mortandade da fauna terrestre com o rompimento da Barragem I, os peritos apontam que as ondas de cheia que ocorrem após eventos de chuvas na bacia alagam temporariamente áreas mais planas das margens do Rio Paraopeba, podem depositar sedimentos contendo rejeitos de minério oriundos do Ribeirão Ferro-Carvão e do revolvimento do depósito de rejeito acumulado no leito do rio (o que já foi observado em diversas áreas da Região 3; AECOM, 2020; NACAB, 2020), podendo contaminar áreas de uso dos animais domésticos.

3.8.2 Estudos relacionados e possível cenário de danos

Para composição de um possível cenário de danos, assim como foi feito para qualidade do ar, poeira domiciliar, produtos vegetais e animais, optou-se por utilizar dados provenientes de estudos realizados no contexto do rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana, MG.

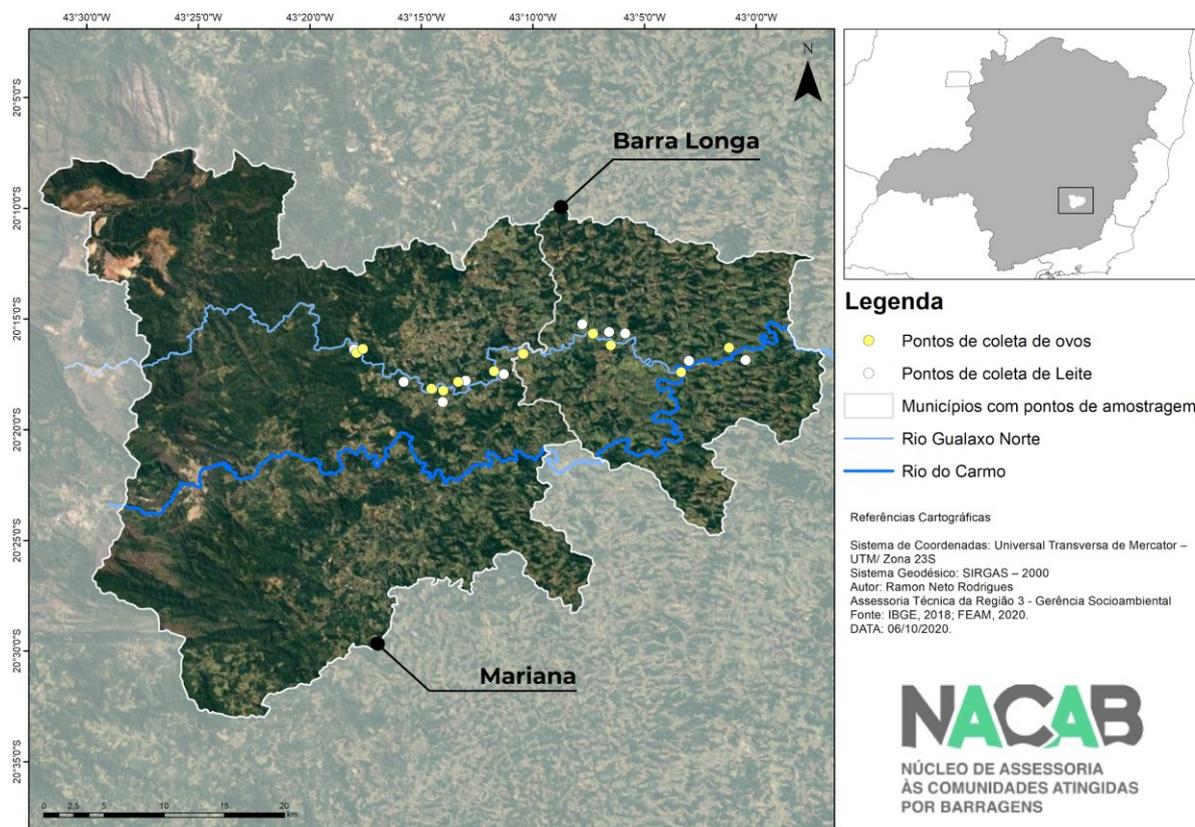
Para tal foram utilizados dois estudos. O primeiro o estudo realizado pela empresa AMBIOS, intitulado “Estudo de Avaliação de Risco à Saúde Humana em Localidades Atingidas pelo Rompimento da Barragem do Fundão - MG”, publicado em 2019 (AMBIOS, 2019) e o segundo realizado por Vieira e colaboradores (2020) com objetivo de identificar os impactos ambientais causado pelo rompimento da Barragem de Fundão em Mariana, sobre as abelhas (*Apis mellifera*) muito utilizada para produção de mel em Minas Gerais.

a) Estudo de Avaliação de Risco à Saúde Humana em Localidades Atingidas pelo Rompimento da Barragem do Fundão - MG (AMBIOS, 2019).

O estudo realizado pela empresa AMBIOS avaliou dois produtos de origem animal, ovo e leite. Para ovos, foram coletadas 12 amostras em oito localidades diferentes e para leite, foram coletadas 11 amostras em 11 localidades diferentes (Figura 136). Numa perspectiva de construção do pior cenário, coletou-se amostras de leite de vaca em áreas onde o animal pastava em locais atingidos pela lama e ovos de galinha, onde os animais ciscavam, preferencialmente em áreas com solo superficial sob influência direta ou indireta da deposição do material particulado suspenso no ar procedente de solo superficial com potencial contaminação. Todos os resultados foram comparados com os valores de referência definidos em legislação específica ANVISA - RDC Nº 42/2013 e FAO - CODEX ALIMENTARIUM.

Deve-se ressaltar, que os estudos de avaliação de risco à saúde foram iniciados após decorridos 3 anos do evento emissor, e portanto, seus resultados precisam ser avaliados com cautela e precaução, visto que alguns efeitos deletérios já podem ter sido minimizados.

Figura 136: Mapa de localização dos pontos de amostragem de coleta de ovos e leite bovino utilizados pela Ambios para construção do parecer sobre a contaminação de produtos animais para o contexto de Mariana e Barra Longa.



Apesar dos estudos realizados pela AMBIOS apresentarem diferentes níveis de contaminantes no solo, água e sedimento, principalmente cádmio, não foram encontrados contaminantes de interesse nas amostras de leite de vaca e ovo de galinha. Para o corpo técnico responsável pelo estudo, apesar dos valores atuais não serem superiores aos valores de referência, o enriquecimento, a mobilização e a biodisponibilidade dos contaminantes identificados em outros compartimentos ambientais devem nortear novas análises e o monitoramento dos alimentos de origem animal e vegetal na região diretamente afetada pela deposição do material.

Isso acontece porque organismos aquáticos e terrestres podem biocumular diferentes tipos de metais, como o cádmio (HANDY, 1992; SURESH et al., 1993; EPA, 1987). Segundo os autores, o cádmio, principal contaminante identificado no solo da região, bioacumula em

todos os níveis da cadeia alimentar, incluindo gramíneas, gado e cavalo. Desta forma, esse estudo aponta que a absorção de cádmio do solo pelas culturas de alimentos pode resultar em altos níveis de cádmio em carne e aves domésticas (especialmente no fígado e rins).

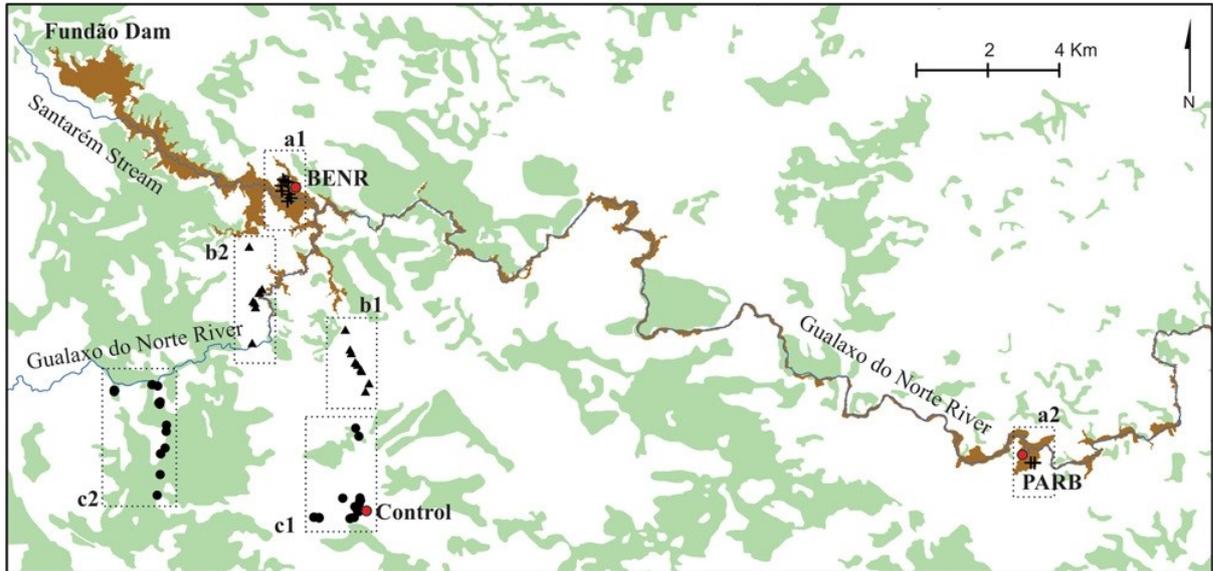
Por essa razão, a equipe de ARSH considera possível uma biodisponibilização futura de contaminantes metálicos para as plantações e gramíneas dessas áreas, por absorção radicular, contaminando animais e humanos pelo consumo dos alimentos. Portanto, plantações e gramíneas cultivadas foram consideradas como rota de exposição potencial, caso as condições físico-químicas do solo superficial se alterem permitindo a biodisponibilização dos contaminantes metálicos

b) Vieira et al. (2020). Bees and the Environmental Impact of the Rupture of the Fundão Dam.

O artigo científico publicado por Vieira e colaboradores (2020) avaliou a riqueza de espécies de abelhas nas áreas afetadas e não afetadas e a concentração de metais pesados nas corbículas de *Apis Mellifera*, espécie que ocorre em toda a área afetada pela ruptura da barragem de Fundão em Mariana, MG e em outras localidades do país, incluindo a Região 3. As corbículas são as partes da perna da abelha responsável pelo transporte do pólen, resina e barro.

Para avaliação dos níveis de contaminantes foram coletadas 10 abelhas operárias em cada um dos dois distritos diretamente afetados pelo rompimento da Barragem de Fundão, Bento Rodrigues e Paracatu de Baixo, além de uma área controle (Figura 137). Foram analisados ao todo 12 tipos de metais.

Figura 137: Mapa da área de estudo avaliada por Vieira e Colaboradores (2020) no contexto do rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana, MG.



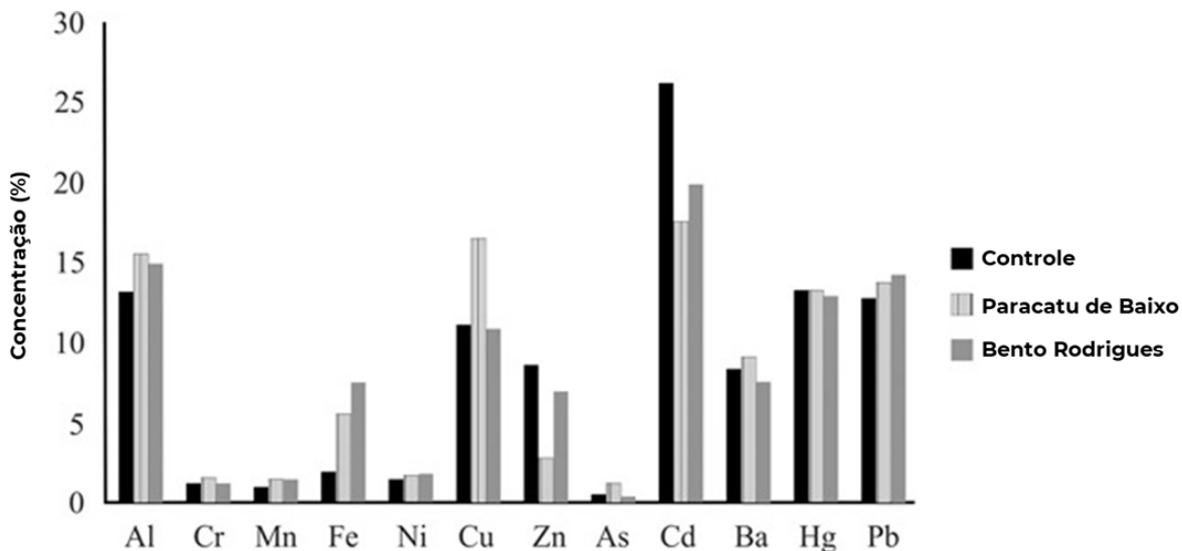
O marrom refere-se às áreas afetadas pela deposição do rejeito de minério de ferro após a ruptura da barragem de Fundão. Em verde, os remanescentes florestais da região (SOS Mata Atlântica & INPE 2019). Pontos a1 e a2 representam pontos coletados em área afetada, os pontos b1 e b2 em áreas de influência direta, e c1 e c2, áreas não afetadas. Pontos em vermelho indicam os distritos de Bento Rodrigues (BENR) e Paracatu de Baixo (PARB) e Controle.

Os autores não identificaram diferenças significativas na riqueza de abelhas nas áreas afetadas e não afetadas. Para eles a grande presença de fragmentos florestais adjacentes às áreas afetadas atua como refúgios ecológicos por apresentarem uma grande presença de recursos florais (PROESMANS et al., 2019).

Quanto à concentração de metais (Figura 138), foram identificadas altas concentrações de Alumínio, Cobre, Cádmiio, Mercúrio e Chumbo. Porém não foram identificadas diferenças significativas entre as áreas impactadas e controle.

Um estudo que analisou a composição do solo no Quadrilátero Ferrífero também não encontrou diferenças significativas entre as áreas impactadas e não impactadas, o que pode explicar os resultados encontrados por Vieira e colaboradores (2020). De qualquer forma, os autores salientam que devido a inexistência de estudos de contaminantes em abelhas anteriores ao rompimento é impossível compreender se esse evento alterou de alguma forma esses elementos químicos no ambiente (CARVALHO et al., 2018).

Figura 138: Concentração de metais traços identificadas por Vieira et al. (2020) nas corbículas de *Apis Mellifera* próximo as áreas afetadas pelo rompimento.



Além disso, os autores apontam a necessidade de monitoramentos a longo prazo para determinar se os elementos identificados nesse primeiro momento se manterão estáveis ou serão potencializados com o passar dos anos.

3.8.3 Análise integrada dos resultados e implicações para a região em estudo

Apesar de existirem dados específicos da quantidade de animais domésticos para a bacia do rio Paraopeba, os resultados apresentados pelo laudo pericial da Polícia Federal não permitem concluir se esse quantitativo possui alguma associação com o rompimento por não haverem dados desse tipo anteriores do rompimento e por não ter sido realizado a necropsia ou exames ecotoxicológicos nesses animais. De toda forma, os peritos afirmam que a existência de contaminantes no rejeito de minério em consonância a deposição desse material ao longo das áreas de uso de animais domésticos das várzeas pode levar a contaminação lenta e gradual desses animais, e posteriormente aos produtos derivados.

Quanto aos demais trabalhos realizados em contextos semelhantes, os dois trabalhos afirmam não terem identificados contaminantes nos produtos derivados, como leites e ovos, e nas abelhas produtoras de mel.

De toda forma, todos os autores afirmam que o processo de bioacumulação é possível e que pelo princípio da precaução, medidas de isolamento das áreas de deposição direta e água do rio Paraopeba, e que só o monitoramento constante por meio de análises ecotoxicológicas poderão afirmar se os níveis de contaminantes se mantiveram estáveis ou aumentaram com o passar dos anos.

3.9 Ictiofauna

O termo “metais pesados” ou “elementos-traço” define alguns elementos presentes em baixas concentrações (usualmente $< 0,1\%$) em solos, plantas e animais, incluindo os seres humanos. Os metais pesados estão presentes naturalmente em solos, mesmo que não haja perturbação antrópica do ambiente. As principais fontes naturais dos metais pesados são: o intemperismo sobre rochas, que os liberam nas formas dissolvida e/ou particulada, a atividade vulcânica, além da queima de florestas e da atividade dos seres vivos. No entanto, as atividades antrópicas têm contribuído para aumentar significativamente a concentração desses contaminantes, principalmente a indústria química e a mineração, fazendo com que estes se tornem uma das mais graves formas de poluição ambiental (SOUZA et al, 2015). Além dessas fontes, os metais pesados são também misturados em fertilizantes (GOVIND; MADHURI, 2014).

Alguns metais pesados são considerados essenciais sob o ponto de vista biológico, enquanto outros não o são. Entretanto, mesmo os essenciais podem, quando presentes em altas concentrações no ambiente e sob certas condições específicas, causar impactos negativos aos mais diversos ecossistemas e à saúde humana (ex.: interferências metabólicas e reprodutivas, mutagênese, teratogênias, imunossupressão), constituindo-se, assim, em um problema ambiental ou de saúde pública, em função de possíveis contaminações do solo, corpos d'água e alimentos. Os metais pesados geralmente entram no corpo através da respiração, ingestão e pele (GOVIND; MADHURI, 2014). Entre os metais pesados para os quais não se conhece nenhuma função biológica, podem ser citados o arsênio, cádmio, mercúrio e chumbo. Já aqueles considerados importantes para os seres vivos compreendem, entre outros, cromo, ferro, níquel, selênio e zinco (MARCHI et al., 2009).

Os metais pesados são considerados, dentre os compostos químicos tóxicos, contaminantes de grande relevância, visto que não são biodegradáveis, e sofrem o fenômeno da

biomagnificação, ou seja, o incremento da concentração dos metais ao longo da cadeia alimentar até o ser humano. Como consequência, os níveis de metais nos organismos superiores da cadeia alcançam valores muito acima dos que se encontram no ar e na água. Esses metais pesados ao serem lançados nos corpos d'água, por efluentes, esgoto, lixiviação do lixo e outras fontes poluidoras, sofrem partição entre a água e as partículas em suspensão, sendo que parte desta carga é metabolizada pela flora e fauna local e parte deposita-se nos sedimentos de fundo, tornando-os o destino final desses contaminantes (SILVERIO, 2003).

Os metais pesados não são removidos dos ecossistemas aquáticos por autodepuração (HARIKUMAR; NASIR, 2010). A presença de metais em espécies de peixes depende da idade, do desenvolvimento e outros fatores fisiológicos (GOVIND; MADHURI, 2014). Esses elementos, ao se acumular nos tecidos de peixes que estão frequentemente no topo da cadeia alimentar aquática, podem ocasionar perturbações no crescimento e na reprodução, além de causar alterações hormonais e histológicas na pele e órgãos-alvo, como gônadas, brânquias, fígado, baço e rins. Da mesma forma, ao consumir peixes, os metais pesados podem ser acumulados nos tecidos humanos, o que pode resultar no desenvolvimento de doenças, entre as quais se destacam mal de Minamata, doença de Wilson, câncer de diversas formas, entre outras. Portanto, a análise de metais em peixes é importante para estimar a contaminação de corpos d'água e os potenciais riscos à saúde humana.

3.9.1 Estudos toxicológicos da ictiofauna do rio Paraopeba antes do rompimento da barragem

O rio Paraopeba é um afluente importante do alto rio São Francisco e contribui para a manutenção dos estoques de peixes de várias espécies (ARANTES et al., 2016). Apesar do rio Paraopeba ser considerado uma área prioritária para conservação devido à sua alta riqueza e diversidade de peixes (DRUMMOND et al., 2005), esse rio recebe ao longo de seu curso a descarga de efluentes da mineração, curtumes, centrais elétricas e águas residuais urbanas/rurais, o que afeta as espécies em grande medida (ARANTES et al., 2016; SAVASSI et al., 2016).

Um estudo realizado por Arantes e colaboradores (2016) analisou as concentrações de mercúrio (Hg), cádmio (Cd), zinco (Zn), cromo (Cr) e chumbo (Pb) nos tecidos muscular, hepático e do baço de espécimes de *Pseudoplatystoma corruscans* (Surubim) coletados em dois

pontos no rio Paraopeba: seção A - a jusante da Usina Termelétrica de Igarapé (19° 57 '50.24 "S, 44° 16' 52.42" W) e seção B - a jusante da Usina Hidrelétrica Retiro Baixo (18° 52 '28.64 "S, 44° 46' 50.27 "W). A seção A é caracterizada como um local impactado por efluentes de indústrias, siderúrgicas, atividades agrícolas e esgoto, com graus de contaminantes que excedem os níveis seguros para a saúde humana (IGAM, 2012). Por outro lado, a seção B tem uma melhor qualidade da água (IGAM, 2012). As amostras foram coletadas de 32 espécimes de *P. corruscans*, de dezembro de 2010 a dezembro de 2012.

Os resultados mostraram que as concentrações de metais pesados foram mais elevadas nas vísceras, isto é, fígado e baço, indicando que as vísceras de *P. corruscans* não devem ser utilizadas para consumo humano. Embora os níveis de Hg, Cd, Zn, Cr e Pb no músculo geralmente não tenham ultrapassado os limites seguros para o consumo humano (ANVISA, 1998), a presença constante desses metais em concentrações próximas a estes limites é motivo de alerta para as populações que consomem regularmente peixes do rio Paraopeba. Govind e Madhuri (2014) indicam que qualquer quantia de Pb pode resultar em efeito prejudicial. Os resultados também indicaram que em uma rede fluvial, onde existam áreas poluídas conectadas a ambientes de boa qualidade, o consumo regular de peixes, mesmo quando estes são capturados em trechos onde os níveis de contaminação forem considerados baixos, pode oferecer risco à saúde, uma vez que muitos peixes de água doce com alto valor comercial, como *P. corruscans*, são migradores. Os limites máximos estabelecidos pelas legislações vigentes são apresentados na Tabela 39. O compilado dos resultados obtidos neste estudo é apresentado na Tabela 40.

Savassi e colaboradores (2016) avaliaram os níveis de contaminação por metais pesados e alterações histopatológicas em órgãos-alvo de *Salminus franciscanus* (Dourado) coletados em dois trechos do rio Paraopeba. Os espécimes de *S. franciscanus* foram capturados nos mesmos dois trechos do estudo realizado por Arantes et al. (2016).

Tabela 39: Limites máximos estabelecidos pelas legislações vigentes para metais em amostras biológicas de peixes.

PARÂMETROS	ANVISA RDC Nº 42/2013	DECRETO Nº 55.871/1965	ANVISA Nº 685/1998
Alumínio Total			
Antimônio Total		2 ppm	
Arsênio Total	1 mg/kg	1 ppm	1 mg/kg
Bário Total			
Boro Total			
Cádmio Total	0,05 mg/kg*	1 ppm	1 mg/kg
Chumbo Total	0,3 mg/kg	2 ppm	2 mg/kg
Cobalto Total			
Cobre Total		30 ppm (30 mg/kg)	
Cromo Total		0,1 ppm (0,1 mg/kg)	
Ferro Total			
Manganês Total			
Mercúrio Total	0,5 mg/kg**	0,1 ppm (0,1 mg/kg)	0,5 mg/kg**
Molibdênio Total			
Níquel Total		5 ppm (5 mg/kg)	
Prata Total			
Selênio Total		0,3 ppm (0,3 mg/kg)	
Vanádio Total			
Zinco Total		50 ppm (50 mg/kg)	

* Com as seguintes exceções: bonito, carapeba, enguia, tainha, jurel, imperador, cavala, sardinha,atum e linguado se estabelece 0,10; Para Melva se estabelece 0,20 e para anchova e peixe espada se estabelece 0,30.

**Peixes, exceto predadores.

Tabela 40: Compilado dos resultados obtidos nos estudos toxicológicos da ictiofauna do rio Paraopeba antes do rompimento da barragem.

PARÂMETROS	ARANTES ET AL. 2016 (ANVISA Nº 685/1998)						SAVASSI ET AL. 2016 (ANVISA Nº 685/1998)						PASCHOALINI ET AL. 2019 (ANVISA RDC Nº 42/2013 E DECRETO Nº 55.871/1965)			
	MÚSCULO (MG/KG)		FÍGADO (MG/KG)		BAÇO (MG/KG)		MÚSCULO (MG/KG)		FÍGADO (MG/KG)		BAÇO (MG/KG)		FÍGADO (MG/KG)		MÚSCULO (MG/KG)	
	Seção A - a jusante da Usina Termelétrica de Igarapé	Seção B - a jusante da Usina Hidrelétrica Retiro Baixo	Seção A - a jusante da Usina Termelétrica de Igarapé	Seção B - a jusante da Usina Hidrelétrica Retiro Baixo	Seção A - a jusante da Usina Termelétrica de Igarapé	Seção B - a jusante da Usina Hidrelétrica Retiro Baixo	Seção A - a jusante da Usina Termelétrica de Igarapé	Seção B - a jusante da Usina Hidrelétrica Retiro Baixo	Seção A - a jusante da Usina Termelétrica de Igarapé	Seção B - a jusante da Usina Hidrelétrica Retiro Baixo	Seção A - a jusante da Usina Termelétrica de Igarapé	Seção B - a jusante da Usina Hidrelétrica Retiro Baixo	Rio Abaeté	Rio Paraopeba	Rio Abaeté	Rio Paraopeba
Alumínio Total													36,36 (DP 19,22)	60,10 (DP 17,45)	3,39 (DP 0,87)	22,65 (DP 12,57)
Cádmio Total	0,07 (DP 0,06)	0,19 (DP 0,15)	0,65 (DP 0,61)	0,97 (DP 1,09)	0,08 (DP 0,05)	0,19 (DP 0,18)	0,26 (DP 0,11)	0,25 (DP 0,11)	0,43 (DP 0,17)	0,43 (DP 0,18)	0,43 (DP 0,18)	0,98 (DP 0,69)	0,04 (DP 0,02)	1,38 (DP 0,47)	0,0014 (DP 0,001)	0,19 (DP 0,27)
Chumbo Total	0,94 (DP 0,98)	3,31 (DP 4,64)	1,03 (DP 0,67)	3,37 (DP 3,66)	0,67 (DP 0,37)	2,96 (DP 3,35)	0,38 (DP 0,36)	0,51 (DP 0,31)	0,30 (DP 0,34)	0,12 (DP 0,15)	0,38 (DP 0,47)	0,08 (DP 0,10)	0,29 (DP 0,17)	3,25 (DP 1,26)	0,26 (DP 0,19)	1,24 (DP 0,49)
Cobre Total							2,20 (DP 0,80)	2,83 (DP 1,66)	108,59 (DP 74,36)	89,83 (DP 28,53)	31,08 (DP 43,26)	35,74 (DP 41,46)	28,74 (DP 20,8)	440,14 (DP 119,24)	8,16 (DP 1,58)	84,75 (DP 72,9)
Cromo Total	0,54 (DP 0,42)	0,42 (DP 0,32)	0,72 (DP 0,23)	0,59 (DP 0,26)	1,04 (DP 0,53)	0,66 (DP 0,28)	0,60 (DP 0,49)	0,21 (DP 0,14)	0,66 (DP 0,51)	0,64 (DP 0,68)	0,84 (DP 0,64)	0,67 (DP 0,76)	1,83 (DP 0,65)	4,01 (DP 1,19)	1,88 (DP 0,83)	2,93 (DP 0,86)
Ferro Total							51,90 (DP 68,10)	36,75 (DP 17,35)	1639,24 (DP 1665,25)	1396,49 (DP 993,35)	804,38 (DP 565,00)	1292,48 (DP 797,04)	135,34 (DP 126,99)	3411,32 (DP 2891,5)	18,88 (DP 5,12)	318,43 (DP 116,73)
Mercúrio Total	0,41 (DP 0,18)	0,35 (DP 0,17)	0,26 (DP 0,01)	0,31 (DP 0,32)	0,11 (DP 0,08)	0,11 (DP 0,06)	0,37 (DP 0,21)	0,36 (DP 0,20)	0,39 (DP 0,38)	0,21 (DP 0,20)	0,26 (DP 0,42)	0,08 (0,04)				
Zinco Total	17,81 (DP 4,23)	21,71 (DP 6,28)	69,54 (DP 28,07)	72,45 (DP 35,87)	43,35 (DP 12,32)	0,18 (DP 0,18)	13,40 (DP 8,90)	10,74 (DP 7,38)	173,88 (DP 117,89)	198,27 (DP 40,59)	97,65 (DP 64,73)	146,47 (DP 160,81)	10,98 (DP 4,69)	63,57 (DP 21,27)	10,96 (DP 2,51)	19,4 (DP 7,3)

Não há limites máximos para a legislação utilizada como base, mas os resultados ultrapassaram os limites estabelecidos por outra legislação vigente.

Resultados superiores aos limites máximos da legislação utilizada como base.

Resultados não ultrapassam limites máximos da legislação utilizada como base, mas ultrapassam os limites estabelecidos por outra legislação.

DP = Desvio padrão

Os resultados mostraram a presença de sete metais pesados (Cu, Pb, Cd, Zn, Cr, Hg e Fe) em todos os espécimes de *S. franciscanus* capturados nos dois trechos de rio Paraopeba, incluindo, em alguns casos, níveis de contaminação superior àquelas consideradas seguras para o ser humano consumo (ANVISA, 1998; Tabela 41). Apesar do fato da seção B ter qualidade da água significativamente melhor do que a seção A (IGAM, 2012), os resultados mostraram a presença de metais pesados em peixes capturados em ambos os trechos de amostragem do rio Paraopeba. Essa contaminação por metais pesados detectado na seção B pode ser devido à bioacumulação de metais que seguem gradualmente com o fluxo contínuo de água da seção A à seção B.

Tabela 41: Porcentagem de *S. franciscanus* (%) coletada em duas seções do rio Paraopeba, com níveis de contaminação acima daqueles considerados seguros para consumo humano de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 1998).

	CÁDMIO	CHUMBO	CROMO	MERCÚRIO	ZINCO	COBRE
Músculo	0	0	90	20	0	0
Baço	4	0	93	7	88	49
Fígado	0	0	87	25	87	94

Em relação ao tecido muscular dos peixes, a parte mais comumente consumida por seres humanos, foram detectados altos níveis de contaminação por Cr e Hg, com 20% das amostras mostrando níveis de Hg acima do limite seguro para consumo humano (ANVISA, 1998). Ao contrário do mercúrio (Hg), que não é metabolizado e tem efeito cumulativo, o cromo (Cr) pode ser depurado pelos peixes (BARONE et al., 2013). Igualmente, foi detectada a presença de Zn e Cd nos espécimes capturados, aumentando assim o risco ao consumir carne do peixe deste rio. Os resultados encontrados reforçam o efeito da bioacumulação pela contínua exposição a esses metais, o que, por sua vez, está correlacionado com o tamanho e peso dos peixes. O compilado dos resultados obtidos neste estudo e sua respectiva comparação com os limites máximos estabelecidos pelas legislações vigentes são apresentados na Tabela 40.

Paschoalini e colaboradores (2019) avaliaram as alterações histológicas e moleculares causadas pela exposição crônica a metais pesados em indivíduos de *Prochilodus argenteus* (Curimatã-Pacu) do rio Paraopeba em comparação com peixes de um rio considerado não impactado, o rio Abaeté. Os peixes *Prochilodus* têm hábitos detritívoros, se alimentando de resíduos presentes nos substratos dos rios. Além da exposição através brânquias, essas espécies

também são expostas a metais pesados através de hábitos alimentares, pois os sedimentos podem apresentar altas concentrações de metais (Islam et al., 2015). Por esse motivo, essas espécies são consideradas bioindicadores adequados para a avaliação simultânea da contaminação na coluna d'água e nos sedimentos (Almeida et al., 2005; Camargo et al., 2009; Camargo e Martinez, 2007).

A amostragem de peixes foi realizada durante a estação reprodutiva de *P. argenteus* entre novembro e dezembro de 2010 e 2011 em dois rios da bacia do rio São Francisco, sudeste do Brasil: (1) rio Abaeté - local de referência, próximo a sua confluência com o São Francisco Rio (18°30'0,00 "S, 45° 12'57.18" W) e (2) rio Paraopeba - local poluído, próximo a sua confluência com o rio Betim (19° 57'50.24 "S, 44° 16'52,42" W). Um total de 34 adultos *P. argenteus* foram coletados, 9 fêmeas e 8 machos do rio Abaeté e 10 fêmeas e 7 machos do rio Paraopeba, totalizando 17 espécimes de cada amostra local.

As concentrações de metais pesados medidas nos fígados e músculos dos peixes amostrados estão de acordo com a qualidade da água dados fornecidos pelo IGAM. No local de referência, rio Abaeté, metais como Al, Cd, Pb, Cu e Zn apresentaram concentrações dentro de limites seguros, apenas Cr mostrou alta concentração nos fígados e músculos. No entanto, no rio Paraopeba, todas as concentrações de metais estavam acima dos limites de pelo menos um dos tecidos. Concentrações médias de Pb, Cr, Cu e Fe apresentaram valores mais que 10 vezes superiores aos limites seguros, especialmente o cádmio que apresentou uma concentração em média 27 vezes maior. O alumínio não possui um valor máximo permitido para os tecidos definidos pelas agências de referência; no entanto, os dados mostram que no rio Paraopeba este metal também apresentou maiores concentrações em relação ao rio Abaeté. O compilado dos resultados obtidos neste estudo e sua respectiva comparação com os limites máximos estabelecidos pelas legislações vigentes são apresentados na Tabela 40.

3.9.2 Estudos toxicológicos em peixes expostos à água do rio Paraopeba após o rompimento da barragem

Thompson e colaboradores (2019) realizaram um estudo após o rompimento da barragem I da Mina Córrego do Feijão, investigando os impactos de curto prazo no meio ambiente por meio de análises biogeoquímicas, microbiológicas e ecotoxicológicas ao longo de 464 km do rio Paraopeba na semana imediatamente após o desastre (1º de fevereiro de 2019) e

quatro meses depois (27 a 29 de maio de 2019). Os pontos de coleta de água bruta do rio Paraopeba e as respectivas distâncias do local do rompimento foram: Brumadinho (6 km), Igarapé (46 km), Juatuba (51 km), São José da Varginha (115 km), Angueretá (242 km), Represa Retiro Baixo (304 km) e Represa de Três Marias (464 km).

Foram realizados experimentos ecotoxicológicos a partir da diluição de 1/10 da água bruta do rio Paraopeba, na qual foram expostos peixes da espécie *Danio rerio* (peixe-zebra). O *Danio rerio* é um peixe tropical de origem asiática, sendo um importante organismo-modelo, frequentemente utilizado em pesquisas genéticas, análises toxicológicas e voltadas para a biologia do desenvolvimento. Níveis elevados de mortalidade de embriões de peixe-zebra foram observados em toda a área de estudo em fevereiro e maio de 2019. No entanto, os níveis de mortalidade aumentaram na segunda amostragem (maio/2019) em toda a área de estudo, atingindo aproximadamente 85% de mortalidade embrionária na Represa de Retiro Baixo (Figura 139). A maior mortalidade embrionária observada em maio de 2019 pode ser uma consequência da deterioração da qualidade da água na área de estudo. Malformações do peixe-zebra também foram observadas em fevereiro de 2019 (Figura 140).

Até as localidades mais a jusante da Represa Retiro Baixo (304 km), observou-se alta mortalidade de peixe-zebra exposto à água do rio Paraopeba. No entanto, essa alta mortalidade não pode ser considerada um resultado do rompimento da barragem I da Mina Córrego do Feijão. Na última década, houve uma trajetória clara em direção à eutrofização tanto no rio Paraopeba quanto no reservatório de Três Marias, como evidenciado por estudos ecotoxicológicos (ARANTES et al., 2016; SAVASSI et al., 2016). As análises de modificação histopatológica e metais em tecidos de peixes da Usina Termelétrica de Igarapé e Usina Hidrelétrica Retiro Baixo entre 2010 e 2012 apresentaram altos níveis de cromo, zinco, cobre, mercúrio e ferro acima dos limites estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Embora a alta mortalidade de peixes-zebra observada para amostras das Represas de Retiro Baixo e Três Marias pode não estar relacionada com o rompimento recente da barragem I da Mina Córrego do Feijão, ela pode ser resultada de graves processos de eutrofização em curso (SAVASSI et al., 2016).

Figura 139: Mortalidade (%) de embriões de peixe-zebra expostos à água contaminada do rio Paraopeba. Pvalues * <0,05. O controle foi realizado com água pura em vez da água do rio Paraopeba. Fonte: Thompson et al., (2019; Tradução própria).

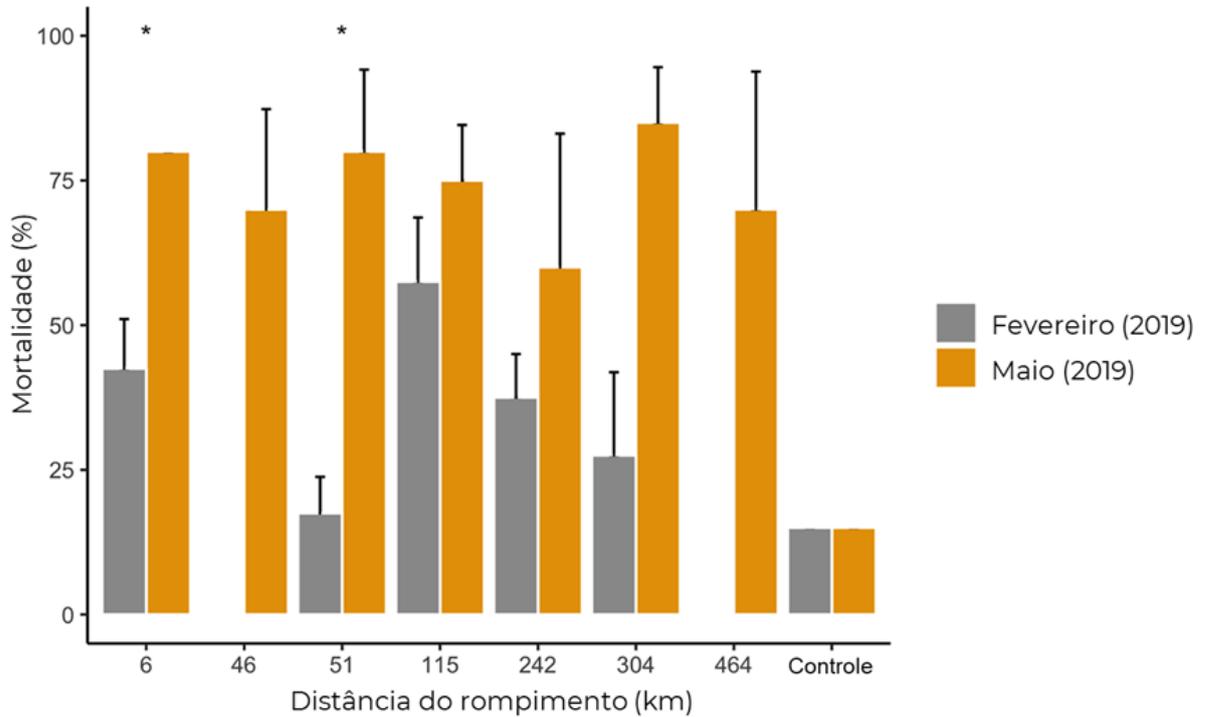
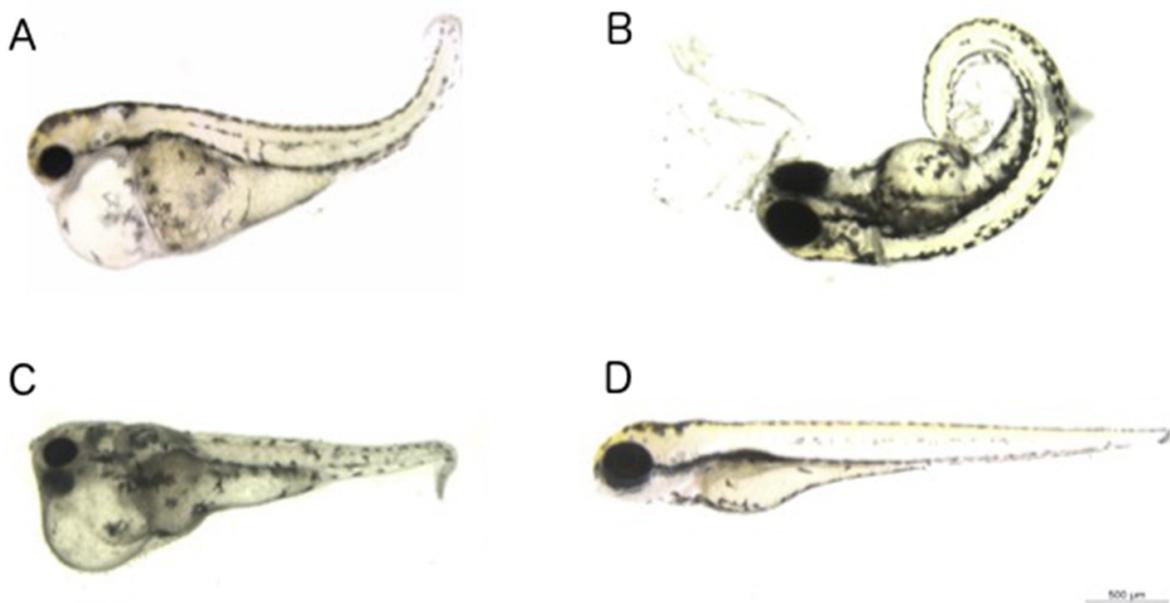


Figura 140: O peixe-zebra criado nas águas contaminadas do rio Paraopeba desenvolve anomalias anatômicas (teratogênias): escoliose (A, B), edema pericárdico (C) e desenvolvimento normal observado em controles de peixe-zebra (D). Fonte: Thompson et al., (2019).



Em um estudo publicado por Vergilio e colaboradores (2020), foram avaliadas as concentrações de múltiplos elementos e os efeitos biológicos na água e nos sedimentos do rio Paraopeba após a ruptura da barragem de Brumadinho. Foram coletadas amostras em sete pontos do rio Paraopeba: S1 - Moeda, a montante da barragem; S2 - Rejeito é o local onde uma amostra representativa de rejeito foi coletada. S3 - Brumadinho; S4 - Juatuba; S5 - São José da Varginha; S6 - Angueretá; S7 - Retiro Baixo; de S3 a S7 são pontos a jusante da barragem de rejeitos.

Testes toxicológicos demonstraram que a água e sedimentos do rio Paraopeba com rejeitos de minério têm o potencial de induzir efeitos tóxicos em diferentes níveis tróficos, de produtores primários, como algas, a consumidores primários e secundários, como microcrustáceos e espécies de peixes. A espécie de peixe *Danio rerio* (peixe-zebra), pertencente ao terceiro nível trófico (consumidores secundários), não mostrou mortalidade após exposição à água do rio Paraopeba; entretanto, a indução de 20% de mortalidade ocorreu em peixes expostos aos sedimentos de S1 - Moeda, S3 - Brumadinho, S4 - Juatuba e S5 - São José da Varginha.

Devido à composição principal dos rejeitos com Fe, Al e Mn, o potencial de acúmulo desses metais em peixes também foi avaliado. Os peixes da espécie *D. rerio* expostos à água ou sedimentos apresentaram a mesma ordem de acumulação de metal no tecido muscular, isto é, Fe > Al > Mn. O acúmulo muscular mudou com a matriz de exposição. Quando os peixes foram expostos à água, os picos de acúmulo de Al e Fe foram observados após a exposição no S5 (São José da Varginha - 111 km), enquanto no Mn a acumulação foi maior após a exposição nos pontos de amostragem mais próximos da barragem (S1 - Moeda: 61,3 km e S3 - Brumadinho: 5,2 km). Quando os peixes foram expostos aos sedimentos, o acúmulo de Al mostrou um comportamento distinto daqueles de Fe e Mn. No entanto, o pico de acumulação muscular em ambos os casos foi observado após a exposição aos sedimentos de Brumadinho (S3–5,2 km).

Da mesma forma, como já constatado em outros estudos, o acúmulo de metais no tecido muscular de peixes expostos à água e sedimentos do rio Paraopeba mostrou que esses elementos estão disponíveis para acúmulo na biota, sugerindo uma possível incorporação na cadeia trófica e eventual risco de contaminação humana através do consumo de peixe contaminado.

Durante a elaboração deste diagnóstico, a equipe da Gerência Socioambiental fez contato por e-mail com o Instituto Estadual de Florestas (IEF) solicitando o estudo dos impactos do rompimento da barragem sobre peixes do rio Paraopeba, o qual foi realizado pelo IEF juntamente com outros órgãos. No entanto, até o fechamento deste documento, não houve retorno sobre a possibilidade de disponibilização do referido estudo.

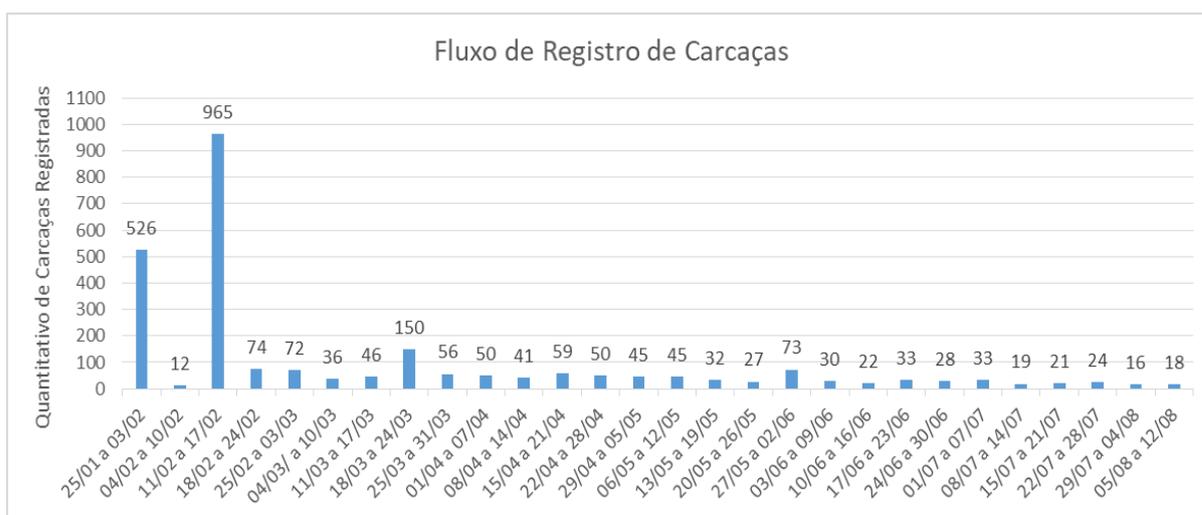
3.9.3 Mortandade da ictiofauna do rio Paraopeba antes e após o rompimento da barragem

Eventos de mortandade de peixes do rio Paraopeba têm sido relatados pela mídia nos últimos anos (CORREIO DE MINAS, 2014; PESCA AMADORA, 2014; JORNAL ESTADO DE MINAS, 2017, 2019; MG RECORD, 2017). No caso específico desses eventos, três fatores principais contribuíram para suas ocorrências: início do período chuvoso - que resulta em alterações repentinas na qualidade das águas, em especial de cursos d'água inseridos em contextos urbanos, devido à remobilização de sedimentos fluviais e carreamento para o leito dos rios de uma série de contaminantes e matéria orgânica, a qual, quando decomposta, acentua gradativamente a diminuição do oxigênio presente na água; proliferação de plantas aquáticas - que impede a passagem de luz para as partes mais profundas da coluna d'água, inviabilizando a produção de oxigênio pelo fitoplâncton; lançamento de produtos químicos, ex.: amônia - que provoca intoxicação aguda nos peixes e, conseqüentemente, altos níveis de mortandade.

Várias notícias de mortandade da ictiofauna do rio Paraopeba também foram divulgadas após o rompimento da barragem I da Mina Córrego do Feijão (CORREIO BRAZILIENSE, 2019; EXAME, 2019; IEF, 2019; JORNAL ESTADO DE MINAS, 2019). Em consonância com essas notícias, o laudo nº 1639/2019 – INC/DITEC/PF apresentado pela Polícia Federal referente ao período de 25/01 a 12/08/2019 aponta o recolhimento de milhares de carcaças de peixes no trecho do rio Paraopeba entre a foz do ribeirão Ferro-Carvão e Barragem de Retiro Baixo. Nesse período, foram registrados dois picos de mortandade - janeiro e fevereiro/2019 - resultantes dos danos ambientais causados pelos rejeitos do rompimento (POLÍCIA FEDERAL, 2019).

O primeiro pico de mortandade (25/01 a 03/02/2019) pode ser explicado pelo súbito lançamento de grande volume de rejeitos de minério no rio Paraopeba, causando um desequilíbrio imediato no meio ambiente aquático e, por conseguinte, a mortandade aguda de peixes (Figura 141). De acordo com as informações do laudo, os picos de mortalidade observados nos dias seguintes parecem estar relacionados a intensas chuvas na região da bacia do rio Paraopeba, que promoveu novo aporte de rejeitos para o rio ao mesmo tempo em que provocou a remobilização daqueles acumulados no seu leito, tendo como resultado uma intensificação do desequilíbrio do habitat aquático e, novamente, mortandade aguda de peixes (Figura 142).

Figura 141: Gráfico com distribuição semanal do registro de carcaças de peixes encontradas no trecho do rio Paraopeba sob exame para o período de 25/01/2019 a 12/08/2019.



Fonte: POLÍCIA FEDERAL, 2019.

Relatórios das empresas contratadas para realizar o monitoramento dos danos ambientais e recolhimento de carcaças totalizam 2.603 espécimes de peixes mortos ao longo do trecho entre a foz do ribeirão Ferro-Carvão e a barragem de Retiro Baixo durante o período de 25/01/2019 a 12/08/2019.

Figura 142: Carcaças de peixes encontradas no rio Paraopeba (datas e coordenadas nas fotos).



Fonte: POLÍCIA FEDERAL, 2019.

Entretanto, segundo informações contidas no laudo, esse somatório representa apenas uma parcela do total de peixes efetivamente mortos, muitas outras carcaças certamente não foram recolhidas pelas seguintes:

a) O registro da chegada dos rejeitos ao rio Paraopeba ocorreu no mesmo dia do rompimento da barragem, aproximadamente cinco dias antes do início da campanha de recolhimento de carcaças por parte da empresa contratada pela Vale S.A. Em decorrência disso, pode-se inferir que parte das carcaças, em especial aquelas de pequeno porte, foram carregadas pela correnteza, se decomuseram, afundaram ou foram consumidas por animais necrófagos.

b) Grande volume de rejeitos provenientes da barragem I chegou ao rio Paraopeba o que seguramente provocou o soterramento de animais aquáticos, inclusive peixes, que habitavam o trecho inicial afetado, com conseqüente falta de acesso/visualização das carcaças soterradas, mascarando o somatório dos peixes mortos.

c) Conforme pode ser constatado nos trabalhos de campo da equipe pericial, a coleta de peixes mortos não abrangeu a totalidade do trecho do rio Paraopeba sob análise, até mesmo por uma natural inviabilidade logística (dificuldade ou impedimento da navegabilidade). Assim, deduz-se que parte das carcaças flutuantes entraram em processo de decomposição e afundaram novamente ou foram predadas por animais necrófagos, não tendo sido contabilizadas.

Dentre as espécies de peixes (carcaças) registradas no laudo, uma consta como vulnerável na lista nacional de espécies ameaçadas (ICMBIO, 2018): *Lophosilurus alexandri* (Pacamã). Os rejeitos provenientes do rompimento atingiram o rio Paraopeba em um período de defeso, em que são impostas medidas restritivas para proteger os peixes durante uma fase crítica (reprodução) do ciclo de vida e assegurar a renovação dos estoques pesqueiros. Esse período restritivo coincide com a época da piracema na bacia do Rio Paraopeba.

De acordo com o laudo, o fato do evento ter ocorrido no período de reprodução dos peixes reforça o impacto à ictiofauna, pois prejudica o repovoamento pelos seguintes motivos: (i) mortalidade de indivíduos adultos em idade reprodutiva (cada fêmea madura tem a capacidade de produzir algumas centenas de milhares de ovócitos e, mesmo considerando que a taxa de sobrevivência é muito baixa, cada fêmea morta poderia ter produzido, por desova, dezenas de indivíduos aptos a reprodução no futuro), (ii) soterramento ou mortalidade de ovos e alevinos, (iii) modificação dos movimentos migratórios naturais, (iv) destruição de áreas de

reprodução e (v) destruição de áreas de alimentação de larvas e juvenis (berçários). Ademais, a contaminação da água diminui a resistência a doenças, podendo resultar em consequências crônicas ou de aparecimento tardio.

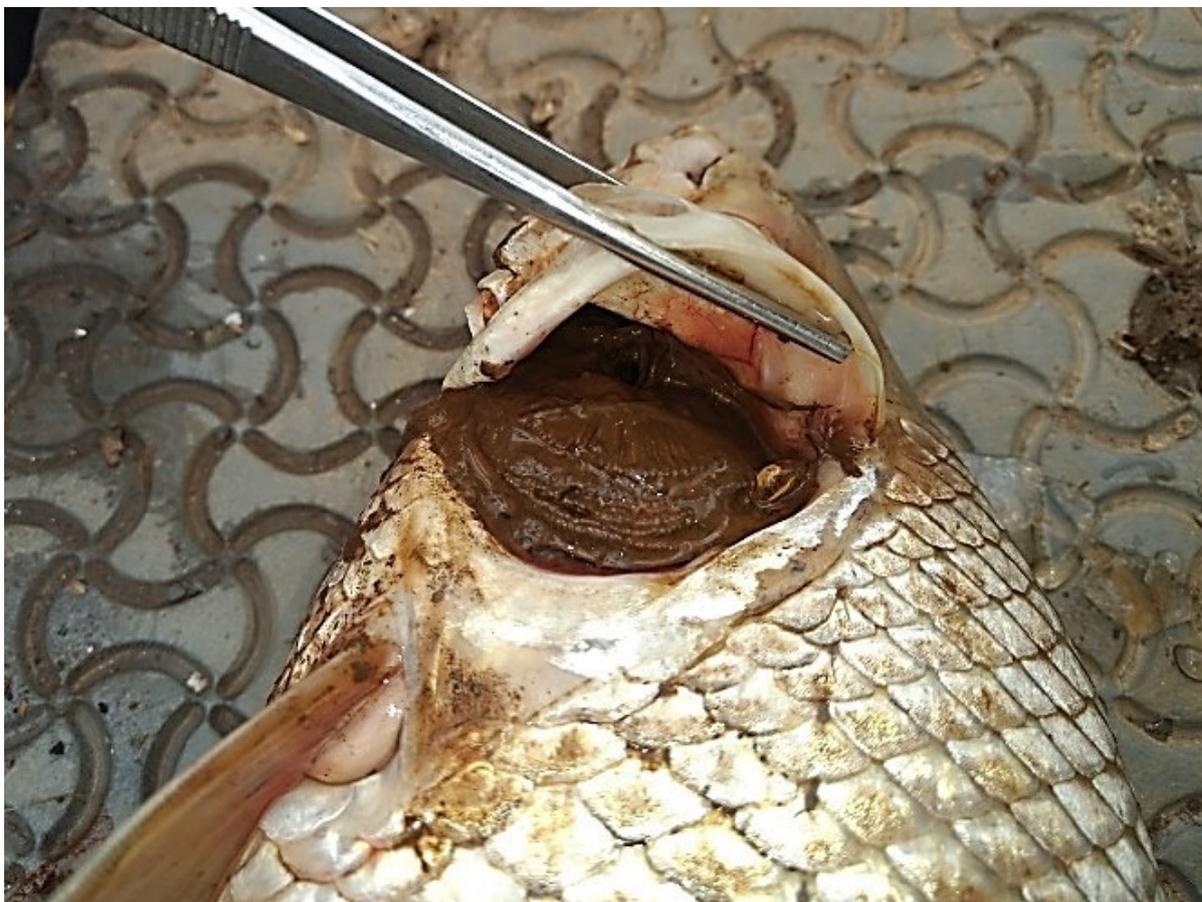
A grande quantidade de ovócitos que poderiam ter sido desovados e mesmo os descendentes que não sobrevivessem até a idade reprodutiva têm alta relevância ecológica por integrarem a cadeia trófica, servindo de alimento para várias espécies predadoras.

Além do dano relacionado à mortalidade de peixes e dos impactos no repovoamento do rio, o derramamento dos rejeitos no leito do rio Paraopeba causou destruição de habitats, áreas de reprodução e redução de fontes de alimento com consequente desequilíbrio da cadeia alimentar.

Outro ponto apresentado no laudo é referente aos altos índices de turbidez registrados após a passagem da pluma de rejeitos oriundos do rompimento, os quais foram causados pela presença de matéria sólida em suspensão, ou seja, que não se sedimenta prontamente por gravidade. Além desse fato, os picos de turbidez foram resultados da ocorrência de chuvas que transportaram de sedimentos oriundos do ribeirão Ferro-Carvão, da remobilização dos rejeitos no leito do rio e contribuições naturais das áreas de drenagem. Essa matéria sólida em suspensão tem potencial para se acumular nas brânquias dos peixes causando uma obstrução mecânica e prejuízos à função respiratória, o que, em casos extremos, leva à morte por anóxia. Além dessa consequência aguda, a maior turbidez da água limita a quantidade de alimento disponível no meio ao reduzir a penetração de luz, afetando a taxa fotossintética e, portanto, toda a cadeia alimentar.

Necropsias realizadas pela equipe de Peritos Criminais Federais constataram a presença de muco e de resíduos sólidos de coloração amarronzada incrustados nas brânquias dos peixes (Figura 143). Os mesmos achados macroscópicos foram relatados em relatórios de necropsias produzidos por empresas responsáveis pelo monitoramento da fauna após o rompimento.

Figura 143: Exemplar de *Prochilodus* sp. necropsiado em 17/02/2019. Notar a presença de sólidos de coloração amarronzada cobrindo completamente os arcos branquiais.



. Fonte: POLÍCIA FEDERAL, 2019.

Quanto à causa mortis dos peixes na bacia do rio Paraopeba sob análise, os vestígios observados nos exames de campo e nas necropsias realizadas pela equipe pericial, em associação com os resultados dos exames histopatológicos e das necropsias realizadas por equipes contratadas pela Vale S.A., indicam que a mortandade de peixes, principalmente na fase aguda do evento, ocorreu por dois mecanismos:

a) Anóxia. Os já relatados prejuízos à função respiratória associados à lesão da brânquia culmina com um processo de alteração estrutural dos filamentos branquiais o que também dificulta/impede a respiração. Novos picos de mortalidade podem ocorrer devido ao aumento da turbidez provocado por chuvas fortes na bacia do rio Paraopeba, as quais podem carrear mais rejeitos para dentro do corpo d'água ou causar a recirculação da coluna d'água previamente estratificada, promovendo o soerguimento de partículas do fundo para as camadas mais

superficiais. Essa dinâmica tem o potencial de aumentar a matéria sólida em suspensão levando ao mecanismo de asfixia.

b) Fadiga/stress. Diversos espécimes analisados estavam prontos para desova, fragilizados por estarem em migração reprodutiva. Essa condição, associada à degradação da qualidade da água do rio Paraopeba, culminou na morte por fadiga/stress.

Por fim, o laudo da Polícia Federal aponta que, do ponto de vista dos recursos pesqueiros, podem ser elencadas as seguintes consequências:

- 1) A mortandade reduz a oferta de peixes para captura. Espécies como curimbatá, mandi, tilápia, piau, que possuem importância para as atividades de pesca de subsistência e amadora, com potencial geração de renda, foram afetadas pelo evento;
- 2) A poluição tem potencial de provocar rejeição pelos consumidores por pescados, o que pode reduzir o valor econômico dos peixes ou perda de interesse por essa fonte de como alimento;
- 3) A proibição da pesca de espécies nativas na bacia do rio Paraopeba e a imposição de restrições para pesca de espécies exóticas e híbridas em consequência da publicação da Portaria nº 16, de 28/02/2019, do Instituto Estadual de Florestas (IEF);
- 4) A redução na recomposição de estoque de peixes devido às interferências nos processos reprodutivos tende a impactar a oferta de pescado;
- 5) A possibilidade de aumento de enfermidades em todas as fases de vidas dos peixes, em especial as juvenis, as quais conviverão com o ambiente aquático degradado, o que, em última instância, afeta a recomposição das comunidades de peixes. Com relação a essa última consequência, salienta-se que os espécimes que sobreviveram ainda estão sob condições inadequadas e poderão ter funções biológicas comprometidas, acarretando em mudanças comportamentais, redução de crescimento, redução da taxa reprodutiva e até mesmo morrerem.

4. Considerações Finais

A partir dos dados secundários apresentados, observa-se que o rompimento da barragem B1 da mina do Córrego do Feijão acarretou ou pode acarretar danos a todos os fatores bióticos e abióticos ao longo de toda a bacia hidrográfica do rio Paraopeba. Isso acontece, pois, o material residual que estava estocado na barragem é composto, em sua maioria, por partículas finas que são capazes de percorrer grandes distâncias devido à baixa velocidade de decantação, podendo afetar não só o sistema hídrico, mas também as margens em casos de cheias do Paraopeba. Além disso, dados secundários indicaram também que esse material possui concentrações de metais muito acima dos valores de referência definidos pela legislação, indicando seu alto potencial de causar danos à saúde.

No que concerne à água e sedimentos pode-se observar que com base nos dados secundários que se conseguiu acessar, constatam-se aumentos de concentrações de arsênio, cobre, ferro, manganês, mercúrio e zinco no rio Paraopeba após o rompimento da barragem. Quanto a água subterrânea, o monitoramento realizado pela Secretaria Estadual de Saúde revelou alterações na concentração de vários elementos, tais como como alumínio, ferro, manganês, antimônio, arsênio, bário, chumbo, cromo, mercúrio, níquel e selênio, o que indica que pode ter ocorrido contaminação pelos rejeitos da barragem. Também foram verificadas alterações na composição dos sedimentos do rio Paraopeba, com o incremento de concentrações de ferro, alumínio e manganês, principais compostos dos rejeitos da barragem. Foram observadas também concentrações de elementos tóxicos acima dos limites legais, como cádmio, mercúrio, chumbo, cobre, cromo e níquel. É importante destacar que as chuvas podem promover a remobilização dos sedimentos do fundo do rio. Torna-se, assim, evidente a necessidade da continuidade de estudos realizados a partir do acesso a bases mais robustas de dados secundários e, ou a obtenção de dados primários, de modo a melhor elucidar a dinâmica espacial e temporal da contaminação das águas superficiais e subterrâneas na Região 3.

Para os danos ao solo, os estudos tanto na bacia do rio Paraopeba, quanto na Região 3, são escassos. O fato da calha do rio não ter transbordado e depositado de forma imediata o rejeito nos solos de várzea e planícies inundáveis de áreas mais distantes do rompimento, fez com que muitos estudos realizados não considerassem esse compartimento ambiental como afetado. No entanto, as inundações geradas pelo período chuvoso em 2020 provocaram o revolvimento dos rejeitos depositados junto aos sedimentos fluviais e a deposição deste material

poluente em grande parte das planícies inundáveis junto à calha afetada do rio Paraopeba. A deposição provocou o soterramento do solo natural e a formação de um “novo solo” com as condições naturais completamente alteradas pelas características dos rejeitos.

As evidências dos poucos dados encontrados sobre os solos das áreas afetadas indicam que o contato com o rejeito gerou alterações químicas, como o aumento de teores de metais diretamente relacionados à composição dos rejeitos, com alguns excedendo os valores de prevenção preconizados na legislação pertinente. Tanto os teores de metais e compostos orgânicos, quanto à biodisponibilidade destes elementos no solo ao longo da calha, precisam ser amplamente investigados. A contaminação do solo, mesmo quando os metais não estão biodisponíveis no momento, se torna uma rota de exposição atual e futura às pessoas atingidas, animais, vegetação e para todo o ecossistema do rio Paraopeba. Ademais, a contaminação do solo aumenta a possibilidade de incorporação destes metais na cadeia trófica, bem como os riscos à saúde humana. As alterações físicas no solo também são uma grande problemática, uma vez que o encrostamento e selamento superficial provocado pelo material depositado gera alta compactação do solo, prejuízo à recomposição de espécies nativas, dificulta o manejo agrícola dessas áreas e pode tornar inviável o uso a médio e longo prazos.

Ainda não existem estudos específicos que mensuram danos à qualidade do ar, produtos vegetais e animais na Região 3. Isso acontece, pois, esse tipo de pesquisa depende de recursos humanos e financeiros para a compra de equipamentos e logística, que muitos grupos de pesquisa brasileiros não possuem, pois dependem de financiamento do governo. No caso do rompimento da barragem de Fundão, no município de Mariana, os primeiros estudos mais complexos que envolvem a coleta, análise e sistematização de grandes volumes de dados, só saíram dois anos após o rompimento. Estudos ainda mais complexos com animais dependem de uma série de protocolos e permissões éticas, que acabam atrasando o processo. Além disso, acredita-se que o contexto atual da pandemia de COVID-19 tenha afetado os trabalhos de campo e o processo de publicação de muitos estudos, o que diminuiu o número de dados utilizados para composição dos resultados apresentados anteriormente.

De qualquer forma, utilizando dados provenientes de outras localidades, porém em contextos semelhantes, principalmente no que se refere ao caso do rompimento da Barragem de Fundão, pode-se observar que os dados de qualidade do ar indicam um possível cenário de risco à saúde na Região 3. Principalmente onde houve a deposição do rejeito, visto que, em Barra Longa e Brumadinho, os valores de material particulado ultrapassaram os limites recomendados pela OMS, em diversos momentos. Foram constatados ainda valores de metais

pesados em poeira domiciliar muito acima dos limites estabelecidos pela legislação e podendo acarretar em riscos crônicos à população, caso esse cenário se confirme na Região 3.

Para os produtos vegetais, revisando estudos em contextos semelhantes, pode-se concluir que o contato das espécies vegetais com o rejeito ou solo impactado não acarretou uma contaminação dos tecidos em todos os casos analisados. Porém, independente do estudo e espécie avaliada, todos os estudos experimentais relataram uma queda da fertilidade do solo, o que afetou o desenvolvimento das espécies e sua produtividade global. Desta forma, é possível afirmar que nas zonas afetadas pelo sedimento contaminado, carregado pelas sucessivas cheias do rio Paraopeba, poderão ser detectados problemas relativos ao desenvolvimento e produtividade das plantas, prejudicando dessa forma a renda das pessoas que utilizavam essas áreas para plantio. É importante ressaltar, que o uso da água do rio para irrigação e/ou novos eventos de cheias podem potencializar os impactos sobre os produtos vegetais. Além disso, deve-se compreender que o manejo do solo pode alterar a biodisponibilidade dos metais pesados no solo e a exposição crônica das plantações pode levar à contaminação dos tecidos e uma possível biomagnificação desses componentes ao longo da cadeia alimentar, sendo esses efeitos só capazes de serem mensurados a longo prazo.

Já no que se refere a produtos animais, estudos desse tipo são ainda mais raros. Nem no contexto do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, foram feitos estudos avaliativos sobre o nível de contaminação em animais domésticos. De toda forma, os dados apresentados pelo Estudo de Avaliação de Risco à Saúde não apontaram a presença de contaminantes em níveis superiores ao previstos na legislação. De toda forma, todas as publicações revistas indicaram o potencial bioacumulativo que os metais pesados possuem nos animais. Assim, será necessário um monitoramento por meio de análises ecotoxicológicas para validação desse resultado.

Para ictiofauna, como já constatado em outros estudos, o acúmulo de metais no tecido muscular e órgãos internos de peixes expostos à água e sedimentos do rio Paraopeba mostrou que esses elementos estão disponíveis para acúmulo na biota, sugerindo uma possível incorporação na cadeia trófica e eventual risco de contaminação humana através do consumo de peixe contaminado. Além disso, a presença de contaminantes na água pode aumentar as enfermidades em todas as fases de vida dos peixes, o que poderá acarretar mudanças comportamentais, redução de crescimento, redução da taxa reprodutiva e até mesmo morrerem. Sendo assim, a poluição do rio Paraopeba tem potencial de provocar a rejeição pelos

consumidores de pescados e reduzir o valor econômico dos peixes ou a perda de interesse por essa fonte alimentar.

Constatou-se ainda que a causa da morte dos peixes no rio Paraopeba tem ligação direta com o rompimento, principalmente na fase aguda do evento, visto que a necropsia apontou a anoxia dos espécimes, devido aos prejuízos à função respiratórias associadas a lesões nas brânquias causada pelo aumento de sólidos suspensos na água e a fadiga/stress em função do rompimento. Essa mortalidade reduziu a oferta de peixes para as atividades pesqueiras, o que pode afetar a renda das pessoas que tinham como principal fonte de renda a pesca. Além disso, a perda da capacidade de recomposição do estoque de peixes, devido às interferências nos processos reprodutivos, tende a impactar a oferta do pescado a longo prazo.

Todos os danos socioambientais identificados possuem reflexo direto e/ou indireto na renda dos atingidos. Não é possível, a partir dos dados levantados, prever a magnitude temporal desses danos e o tempo necessário para recuperação ambiental. Espera-se que com a publicação dos novos estudos e a produção de dados primários pela Assessoria Técnica Independente seja possível avaliar se os cenários de danos apresentados se concretizaram e precisar melhor a magnitude desses danos no tempo e no espaço.

5. Referências Bibliográficas

AECOM. Carta Técnica N° 60612553-ACM-DM-ZZ-LT-PM-0002/2020. Carta técnica ao MPMG reportando a deposição de material extra calha do rio Paraopeba e recomendações à empresa Vale S.A. Data: 12 de Fevereiro de 2020.

AECOM. Relatório de Auditoria Mensal N. 18. Relatório mensal ao MPMG que contém as recomendações frente ao documento intitulado “Relatório Técnico: Levantamento Aéreo de Áreas Alagadas em Decorrência da Cheia do Rio Paraopeba” e recomendações à empresa Vale. 2020.

AHMAD, P. ; SARWAT, M. ; BHAT, N. A. ; WANI, M. R. ; KAZI, A. G. ; TRAN, L.-S. P.. Alleviation of Cadmium Toxicity in Brassica juncea L. (Czern. & Coss.) by Calcium Application Involves Various Physiological and Biochemical Strategies. PLOS ONE, v.10,n.1,

p. e0114571. 2015. Disponível em: doi:10.1371/journal.pone.0114571. Acesso em: 25/10/2020.

AKHZARI, D.; KALANTARI, N.; MAHDAVI, S.; Studying the effects of mycorrhiza and vermicompost fertilizers on the growth and physiological traits of Vetiver Grass (*Chrysopogon zizanioides* L.). *Desert*, v. 23, n. 1, p. 57-62. 2018.

ALKMIM FILHO, J. F.; GERMANO, A.; DIBAI, W. L. S.; VARGAS, E. A. ; MELO, M. M. Heavy metals investigation in bovine tissues in Brazil. *Food Sci. Technol*, Campinas, v. 34, n.1. p. 110-115, Jan.-Mar. 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/cta/v34n1/aop_cta_6220.pdf. Acesso em: 28/10/2020.

ALMEIDA, J.; MELETTI, P.; MARTINEZ, C. Acute effects of sediments taken from an urban stream on physiological and biochemical parameters of the neotropical fish *Prochilodus lineatus*. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C* 140, p. 356-363, 2005.

AMBIOS. Estudo de Avaliação de risco a saúde humana em localidades atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão - MG. Coord. SILVA, Alexandre Pessoa da. Relatório Final. São Paulo, Abril. 2019.

ANDRADE, G. F.; PANIZ, F. P. ; MARTINS, A. C. ; ROCHA, B. A. ; DA SILVA LOBATO, A. K.; RODRIGUES, J. L.; BATISTA, B. L. Agricultural use of Samarco's spilled mud assessed by rice cultivation: A promising residue use? *Chemosphere*, v. 193, p. 892–902. 2018. Disponível em: doi:10.1016/j.chemosphere.2017.11.099. Acesso em: 23/10/2020.

ANDRADE, L. C. R. Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil / Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG, 2014. xiii, 96f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 685 - Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos. Brasil, 1998. 4 p.

ARANTES, F. P. et al. N. Bioaccumulation of mercury, cadmium, zinc, chromium, and lead in muscle, liver, and spleen tissues of a large commercially valuable catfish species from Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. 88, p. 1-11, 2016.

ARAÚJO, C.B. Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. 2006.

ARBEX, M.A.; CANÇADO, J.E.D.; PEREIRA, L.A.A; BRAGA, A.L.F.; SALDIVA, P.H.N. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. *J Bras Pneumol*. v.30, p.158-75. 2004.

ARROYAVE, C. ; TOLRÀ, R. ; THUY, T. ; BARCELÓ, J. ; POSCHENRIEDER, C. Differential aluminum resistance in *Brachiaria* species. *Environmental and Experimental Botany*, v. 89, p. 11–18. 2013. Disponível em: doi:10.1016/j.envexpbot.2013.01.001. Acesso em: 22/10/2020.

BARONE, G.; STUFFLER, R.G.; STORELLI, M. Comparative study on trace metal accumulation in the liver of two fish species (*Torpedinidae*): concentration-size relationship. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 97, p.73–77, 2013.

BATISTA B.L., et al. Um procedimento rápido de extração assistida por ultrassom para determinação de oligoelementos em amostras de cabelo por ICP-MS para análise forense. *Forensic Sci. Int.*, 192 (2009), pp. 88 - 93, 10.1016 / j.forsciint.2009.08.003

BJELKEVIK. A. G. ICOLD – sustainable design and post-closure performance of tailings dams. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Mine Closure*. Vol. 1. Mine Site Reclamation. Australian Centre for Geomechanics: Perth. p. 353-359. 2011.

BOSLAUGH, S. *Secondary data sources for public health: a practical guide*. 1st ed. Cambridge University Press, 2007.

BOTTINO, F; MILAN, J.A.M.; CUNHA-SANTINO, M.B.; BIANCHINI, I. Jr. Influence of the residue from an iron mining dam in the growth of two macrophyte species. *Chemosphere*, v. 186, p. 488 - 494, 2017.

BRAGA, A. L. F.; PEREIRA, L. A. A.; PROCÓPIO, M.; ANDRÉ, P. A.; SALDIVA, P. H. N. Association between air pollution and respiratory and cardiovascular diseases in Itabira, Minas Gerais State, Brazil. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 23 Sup 4:S570-S578, 2007.

BRASIL. Resolução CONAMA nº420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Publicado no D.O.U. em 21 de novembro 2018. Seção 1. p. 155.

_____. Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. *Diário Oficial [da] União*, Brasília, ano 216, 8 nov. 2012.

_____. Resolução CONAMA nº491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Publicado no D.O.U. de 30 dezembro 2009. p. 81 - 84.

BRITTO, D.T.; KRONZUCKER, H.J. NH₄⁺ toxicity in higher plants: A critical review. *J. Plant Physiol.* v.159, p. 567–584. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774>. Acesso em: 27/10/2020.

BUCHMAN, M. F. NOAA screening quick reference tables. Seattle, WA: NOAA, 2008. 34 p. (NOAA OR&R Report 08-1). Disponível em: < <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/9327>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

CAMARGO, M. M. P.; FERNANDES, M. N.; MARTINEZ, C. B. R. How aluminium exposure promotes osmoregulatory disturbances in the neotropical freshwater fish *Prochilodus lineatus*. *Aquatic Toxicology*. 94, p. 40–46, 2009.

CAMARGO, M. M. P.; MARTINEZ, C. B. R. Histopathology of gills, kidney and liver of a Neotropical fish caged in an urban stream. *Neotropical Ichthyology*. 5, p. 327–336, 2007.

CARVALHO, F. P. (2017). Mining industry and sustainable development: time for change. *Food and Energy Security*, 6(2), 61–77. doi:10.1002/fes3.109.

CHOY, L. T. Page The Strengths and Weaknesses of Research Methodology: Comparison and Complimentary between Qualitative and Quantitative Approaches. Journal Of Humanities And Social Science, v. 19, n. 4 (3), p. 99 – 104. 2014.

COELHO, D. G.; MARINATO, C. S.; MATOS, L. P. ; ANDRADE, H. M. ; SILVA, V. M.; NEVES, P. H. S.; OLIVEIRA, J. A. DE. Evaluation of Metals in Soil and Tissues of Economic-Interest Plants Grown in Sites Affected by the Fundão Dam Failure in Mariana, Brazil. Integrated Environmental Assessment and Management, v. 16, n.5, p. 596-607. 2020.

CORREIO BRAZILIENSE. Lama de tragédia em Brumadinho já provoca morte de peixes no Rio Paraopeba. 25 jan. 2019. Disponível em: <<https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/brasil/2019/01/25/interna-brasil,733048/lama-de-tragedia-em-brumadinho-ja-provoca-morte-de-peixes-no-rio-paraopeba.shtml>>. Acesso em: 01 set. 2020.

CORREIO DE MINAS. Paraopeba registra mais de uma tonelada de peixes mortos. 06 nov. 2014. Disponível em: <<https://correiodeminas.com.br/paraopeba-registra-mais-de-uma-tonelada-de-peixes-mortos/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

CRUZ, F. V. DA S., GOMES, M. P., BICALHO, E. M., DELLA TORRE, F., GARCIA, Q. S. Does Samarco's spilled mud impair the growth of native trees of the Atlantic Rainforest? Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 189, 110021, 2020.

COSTA, A. G.; BORGES, A. M.; BLANCO, B. S. Metais tóxicos e seus efeitos sobre a reprodução dos animais: revisão. Brazilian Journal of Hygiene and Animal Sanitary. v.14, n.1, p. 108 – 124. jan – mar, 2020.

COSTA, R. V. F. Mapeamento geoquímico e estabelecimento de valores de referência (background) de sedimentos fluviais do Quadrilátero Ferrífero. 2015. 185 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

DAVILA, R.B. ; FONTES, M.P.F. ; PACHECO, A.A. ; FERREIRA, M. DA S. Heavy metals in iron ore tailings and floodplain soils affected by the Samarco dam collapse in Brazil. Sci. Total Environ., v. 709, p. 136151. 2020. Disponível em : 10.1016/j.scitotenv.2019.136151. Acesso em: 23/10/2020.

EMBRAPA. (2015). Avaliação dos impactos causados ao solo pelo rompimento de barragem de rejeito de mineração em Mariana, MG: Apoio ao plano de recuperação agropecuária. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Dezembro de 2015.

ENVIRONMENTAL CANADA. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Environmental Quality Guidelines - Summary Tables. Disponível em <<http://st-ts.ccme.ca/en/index.html>> Acesso em: 24 out 2020.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. Boletim informativo do cidadão sobre a qualidade da água no rio Paraopeba. Resumo da qualidade das águas nos locais monitorados ao longo do Rio Paraopeba, após o desastre na barragem 1 no complexo da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA, município de Brumadinho - Minas Gerais, 2020. Disponível em <<http://www.feam.br/component/content/article/15/1992-boletim-informativo-do-cidadao-sobre-a-qualidade-da-agua-no-rio-paraopeba>> Acesso em 25 out. 2020.

MATOS, L. P., DE ANDRADE, H. M., MARINATO, C. S., DE OLIVEIRA PRADO, I. G., COELHO, D. G., MONTOYA, S. G., ... DE OLIVEIRA, J. A. Limitations to Use of *Cassia grandis* L. in the Revegetation of the Areas Impacted with Mining Tailings from Fundão Dam. *Water, Air, & Soil Pollution*, v.231, n.3. 2020. Disponível em : doi:10.1007/s11270-020-04479-0. Acesso em: 12/10/2020.

DRUMMOND, G. M. et al. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 17 p.

DUARTE, E. B. ; NEVES, M. A. ; OLIVEIRA, F. B. ; MARTINS, M. E., OLIVEIRA, C. H. R. ; BURAK, D. L. ORLANDO, M.T.D. ; RANGE, C. V. G. T. Trace metals in Rio Doce sediments before and after the collapse of the Fundão iron ore tailing dam, Southeastern Brazil. *Chemosphere*, v. 262. p. 127879. 2020. Disponível em: doi:10.1016/j.chemosphere.2020.127879. Acesso em: 20/02/2020.

EMAMVERDIAN, A. ; DING, Y. ; MOKHBERDORAN, F. ; XIE, Y. Heavy Metal Stress and Some Mechanisms of Plant Defense Response. *The Scientific World Journal*, Article ID 756120, p.1–18. 2015, Disponível em: doi:10.1155/2015/756120, Acesso em: 15/09/2020.

ESTEVEZ, G. DE F., DE SOUZA, K. R. D., BRESSANIN, L. A., ANDRADE, P. C. C., VERONEZE JÚNIOR, V., DOS REIS, P. E., ... DE SOUZA, T. C. Vermicompost improves

maize, millet and sorghum growth in iron mine tailings. *Journal of Environmental Management*, v. 264, p. 110468. 2020. Disponível em: doi:10.1016/j.jenvman.2020.110468. Acesso em: 12/10/2020.

ESTEVEES, G. DE F., BRESSANIN, L. A., DE SOUZA, K. R. D., DA SILVA, A. B., MANTOVANI, J. R., MARQUES, D. M., ... DE SOUZA, T. C. 2020. Do tailings from the Mariana, MG (Brazil), disaster affect the initial development of millet, maize, and sorghum? *Environmental Science and Pollution Research*. v. 27, n.31, p. 38662-386732020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32632689/>. Acesso em: 13/10/2020.

EXAME. Aos poucos, a lama vai matando o Rio Paraopeba. 04 fev. 2019. Disponível em: <<https://exame.com/brasil/aos-poucos-a-lama-vai-matando-o-rio-paraopeba/>>. Acesso em: 01 set. 2020.

FAGERIA, N. K. Adequate and toxic levels of copper and manganese in upland rice, common bean, corn, soybean and wheat grown on an oxisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 32, n. 9-10, p. 1659-1676, 2001.

FURLAN et al. Occurrence and abundance of clinically relevant antimicrobial resistance genes in environmental samples after the Brumadinho dam disaster, Brazil, *Science of The Total Environment*, Volume 726, 138100, ISSN 0048-969. 2020 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138100>.

GAI, A. P. C. ; DOS SANTOS, D. S. ; VIEIRA, E. A. Effects of zinc excess on antioxidant metabolism, mineral content and initial growth of *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos and *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith. *Environmental and Experimental Botany*, v.144, p. 88–99. 2017. Disponível em: doi:10.1016/j.envexpbot.2017.09.006. Acesso em: 12/10/2020.

GALUSZKA, A. Methods of determining geochemical background in environmental studies. *Problems of landscape ecology*. Polish association of landscape ecology - Warsaw (in Polish with English summary), v. 16, n. 1, p. 507-519, 2006.

GHOSE, M. K.; SEN, P. K. “Characteristics of iron ore tailing slime in India and its test for required pond size”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 68(1), 51–61. 2001.

GIMENES, L. L.S.; FRESCHI, G. P. G.; JÚNIOR, I.B.; SANTINO, M. B. C. Growth of the aquatic macrophyte *Ricciocarpos natans* (L.) Corda in different temperatures and in distinct concentrations of aluminum and manganese, v. 224, p. 105484, *Aquatic Toxicology*, 2020.

GOLDER ASSOCIATES BRASIL CONSULTORIA E PROJETOS LTDA. Memorando Técnico MT- 023_159-515-2282_01-B. Rompimento da Barragem de Fundão – Caracterização Geoquímica de Rejeitos de Fonte e de Rejeitos Depositados (Base de Dados Secundária). Abril de 2016b.

GOMES, A. C. S.; LINDINO, C. A.; GONÇALVES, A. C. . GOMES, G. D. Determinação de Cd, Cr e Pb no leite e na alimentação bovina do Brasil. *Rev Inst Adolfo Lutz*. v.72, n.3, p. 211-8. 2013. Disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/insituto-adolfo-lutz/publicacoes/rial/10/rial72_3_completa/arquivos-separados/1566.pdf. Acesso em: 28/10/2020.

GOMES, M. A. Caracterização do Rejeito de Minério de Ferro da Mina do Córrego do Feijão. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Orientação: Pereira, C.A. Ouro Preto, MG. Setembro, 2009.

GOVIND, P.; MADHURI, S. Heavy Metals Causing Toxicity in Animals and Fishes. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*. Vol. 2(2), p. 17-23, 2014.

GRIMALT, J. O. ; FERRER, M. ; MACPHERSON, E. . The mine tailing accident in Aznalcollar. *Science of The Total Environment*, v. 242, n. 1-3, p. 3–11. 1999. Disponível em: doi:10.1016/s0048-9697(99)00372-1. Acesso em: 12/10/2020.

GUERRA, Fernando et al . Heavy metals in vegetables and potential risk for human health. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*, Piracicaba , v. 69, n. 1, p. 54-60, 2012 . Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162012000100008>. Acesso em: 27/10/2020.

GUERRA, M.B.B., et al. Post-catastrophe analysis of the Fundão tailings dam failure in the Doce River system, Southeast Brazil: potentially toxic elements in affected soils. *Water Air Soil Pollut.*, 228 (252), pp. 1-12, 2017, 10.1007/s11270-017-3430-5.

GUIMARÃES, P.T.G. ; ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO A.C. *Recomendações Para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais - 5a. Viçosa, Minas Gerais. p. 452. 1999.*

GRZESIAK, M. T.; SZCZYREK, P.; RUT, G. ; OSTROWSKA, A. ; HURA, K. ; RZEPKA, A. ; HURA, T. ; GRZESIAK, S. 2014. Interspecific Differences in Tolerance to Soil Compaction, Drought and Waterlogging Stresses among Maize and Triticale Genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.201, n.5, p.330–343. Disponível em: doi:10.1111/jac.12104. Acesso em: 12/10/2020.

HALLIWELL, D.J.; BARLOW, K.M.; NASH, D.M. A review of the effects of wastewater sodium on soil physical properties and their implications for irrigation systems. *Aust J Soil Res*, v. 39, p. 1259 – 1267. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/SR00047>. Acesso em: 27/10/2020

HAMMOND, P. B, ARONSON, A.L. Lead poisoning in cattle and horses in the vicinity of a smelter. *Ann NY Acad Sci*. v. 111, p. 595–611.1964.

HARE, D. J. ; CARDOSO, B. R. ; RAVEN, E. P. ; DOUBLE, K. L. ; FINKELSTEIN, D. I. ; SZYMLEK-GAY, E. A., ; BIGGS, B.A. Excessive early-life dietary exposure: a potential source of elevated brain iron and a risk factor for Parkinson’s disease. *Npj Parkinson’s Disease*, v. 3, n.1. 2017. doi:10.1038/s41531-016-0004-y

HARIKUMAR, P. S.; NASIR, U. P. Ecotoxicological impact assessment of trace elements in core sediments of a tropical estuary. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 73, p. 1742-1747, 2010.

HARRISON, R. M. ; YIN, J. Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *Science of The Total Environment*, v. 249, n. 1-3, p. 85 – 101. 2000

HEI, T. K.; FILIPIC, M. Role of oxidative damage in the genotoxicity of arsenic. *Free Radical Biology & Medicine*, v. 37, p. 574-581, 2004.

HELLSTRÖM, L. ; PERSSON, B. ; BRUDIN, L. ; GRAWÉ, K.P. ; ÖBORN, I. ; JÄRUP, L., Cadmium exposure pathways in a population living near a battery plant. *Sci. Total Environ.* v. 373, p. 447-455. 2007.

IBAMA. (2015). Laudo técnico preliminar de impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Novembro de 2015.

ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume VI – Peixes / -- 1. ed. Brasília: DF, 2018.

IEF. Instituto Estadual de Florestas. 01 mar. 2019. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/component/content/article/2614-ief-proibe-pesca-de-especies-nativas-na-bacia-do-rio-paraopeba-o-instituto-estadual-de-florestas-ief-proibiu-a-pesca-amadora-de-especies-nativas-em-toda-a-bacia-do-rio-paraopeba-a-suspensao-entrou-em-vigor-nesta-sexta-feira-1o-de-marco-pela-portaria-n>>. Acesso em: 07 set. 2020.

_____. 28 mar. 2019. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/noticias/2639-nota-e-sclarecimento-chegada-da-pluma-de-rejeito-a-tres-marias>>. Acesso em: 07 set. 2020.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da qualidade das águas superficiais no estado de Minas Gerais, Brasil. 2012.

_____. Avaliação da Qualidade das Águas e Sedimentos do Rio Paraopeba: acompanhamento da qualidade das águas do rio Paraopeba após 1 ano do rompimento da Barragem da Mina Córrego Feijão em Brumadinho - MG. Caderno Especial, 66 p., Belo Horizonte, 2020a.

_____. Informativo n. 59 - maio 2020: Informativo trimestral da qualidade das águas do rio Paraopeba após o desastre da Barragem B1 da Mineradora Vale/SA no município de Brumadinho - MG. 314 p., Belo Horizonte, 2020b.

_____. Informativo n. 5 - maio 2020: Informativo da avaliação dos sedimentos do rio Paraopeba nos locais monitorados ao longo do Rio Paraopeba, após o desastre na barragem B1 no município de Brumadinho – Minas Gerais. 48 p., Belo Horizonte, 2020c.

_____. Informativo n. 60 - outubro 2020: Informativo trimestral da qualidade das águas do rio Paraopeba após o desastre da Barragem B1 da Mineradora Vale/SA no município de Brumadinho - MG. 288 p., Belo Horizonte, 2020d.

_____. Boletim Informativo do Cidadão: qualidade das águas do rio Paraopeba (Julho 2019). 13 p., Belo Horizonte, 2019. Disponível em <http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2019/DESASTRE_BARRAGEM_B1/Boletim_informativo_do_cidad%C3%A3o/Boletim_Igam_Final_B___Boletim_Informativo_ao_Cidad%C3%A3o.pdf> Acesso em 25 out. 2020.

IMMERS, A.K.; VAN DER SANDE, M.T.; VAN DER ZANDE, R.M.; GEURTS, J.J.M. ; VAN DONK, E.; BAKKER, E.S. Iron addition as a shallow lake restoration measure: impacts on charophyte growth. *Hydrobiologia*, v. 710, p. 241 - 251. 2013.

INSTITUTOS LACTEC. 2017. Caracterização parcial do rejeito de mineração do Complexo de Germano. Org. Bastos, L. P. ; Miranda, T.L.G.; Lacerda, L. A.

JORNAL ESTADO DE MINAS. Poluição química no Rio Paraopeba causa mortandade de peixes. 02 mar. 2017. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/03/02/interna_gerais,851291/poluicao-quimica-no-rio-paraopeba-causa-mortandade-de-peixes.shtml>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. Rompimento de barragem em Brumadinho causa morte de peixes no rio Paraopeba; veja vídeos. 26 jan. 2019. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/01/26/interna_gerais,1024587/tragedia-em-brumadinho-provoca-morte-de-peixes-no-paraopeba.shtml>. Acesso em: 01 set. 2020.

_____. Desastre repetido: pela segunda vez em três anos, despejo de amônia causa mortandade de peixes no Rio Paraopeba. 31 out. 2019. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2019/10/31/interna_gerais,1097552/pela-segunda-vez-despejo-de-amonia-mata-peixes-no-rio-paraopeba.shtml>. Acesso em: 01 set. 2020.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H.. Trace elements in soils and plants. Boca Raton: CRC Press, 1992.

KIM, K.-H., KABIR, E., & KABIR, S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, v. 74, p. 136–143. 2015. Disponível em: doi:10.1016/j.envint.2014.10.005. Acesso em : 25/09/2020.

KOHLER, J. ; CARAVACA, F. ; AZCÓN, R. ; DÍAZ, G. ; ROLDÁN, A. The combination of compost addition and arbuscular mycorrhizal inoculation produced positive and synergistic effects on the phytomanagement of a semiarid mine tailing. *Science of The Total Environment*, v.514, p.42–48. 2015. Disponível em: doi:10.1016/j.scitotenv.2015.01.085. Acesso em: 25/09/2020.

KOK, Jasper F. et al. The physics of wind-blown sand and dust. *Reports on progress in Physics*, v. 75, n. 10, p. 106901, 2012

KOSSOFF, D., DUBLIN, W.E., ALFREDSSON, M., EDWARDS, S.J., MACKLIN, M. G, HUDSON-EDWARDS, K. A. Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation. *Applied Geochemistry*. v. 51, p. 229 - 245. 2014.

KOSSOFF, D.; HUDSON-EDWARDS, K.A. ; DUBBIN, W.E. ; ALFREDSSON, M.A.. Incongruent weathering of Cd and Zn from mine tailings: a column leaching study. *Chem. Geol.* v. 281, p. 52–71, 2011.

KURANCHIE, F. A. Characterisation and Applications of Iron Ore Tailings in Building and Construction Projects. 2015. 200f. Tese de doutorado - Edith Cowan University, Austrália, 2015.

LADEN, F. ; SCHWARTZ, J.; SPEIZER, F.E.; DOCKERY, D. W. Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard Six Cities Study. *Am J Respir Crit. Care. Med.*; V.15, p. 667-72. 2006.

LAHIVE, F. ; HADLEY, P. ; DAYMOND, A. J. The impact of elevated CO₂ and water deficit stress on growth and photosynthesis of juvenile cacao (*Theobroma cacao* L.). *Photosynthetica*. v. 56. n. 3, p. 911–920. 2018.

LITTELL, J. H.; CORCORAN, J.; PILLAI, V. Systematic Reviews and Meta – Analysis. 2. Ed. Oxford, University Press, 2008.

MAIA, L. ; DE SOUZA, M. V ; ALVES FERNANDES, R. B. ; FERREIRA FONTES, M. P. ; DE SOUZA VIANNA, M. W. ; LUZ, W. V. Heavy metals in horse blood, serum, and feed in Minas Gerais, Brazil. Journal of Equine Veterinary Science, v. 26, n.12, p. 578–583. 2006. Disponível em: doi:10.1016/j.jevs.2006.11.007. Acesso em: 28/10/2020.

MAIGA, A.; DIALLO, D.; BYE, R.; et al.. Determination of some toxic and essential metal ions in medicinal and edible plants from Mali. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 53, p. 2321, 2005.

MARCHI, G. et al. Elementos-traço e sua relação com qualidade e inocuidade de fertilizantes, corretivos agrícolas e resíduos orgânicos no Brasil. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 45 p.

MAXIMIANO, A. et al. Relatório Técnico de avaliação de risco à saúde humana -Metodologia Ministério da Saúde, Mariana/MG, Áreas Alvo 1, 2 e 3. Mariana: TECNOHIDRO, 2019.

MECK, M. ; LOVE, D. ; MAPANI, B. Zimbabwean mine dumps and their impacts on river water quality – a reconnaissance study. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, v. 31, n.15-16, p. 797–803. 2006. Disponível em: doi:10.1016/j.pce.2006.08.029. Acesso em: 23/10/2020.

MELATO, F. A.; MOKGALAKA, N. S. ; MCCRINDLE, R. I. Adaptation and detoxification mechanisms of Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) growing on gold mine tailings. International Journal of Phytoremediation, v. 18, n. 5, p. 509–520. 2015. Disponível em: doi:10.1080/15226514.2015.1115963. Acesso em: 27/10/2020.

MENGEL, K.; KIRKBY A.E., KOSEGARTEN, H., APPEL, T. Principles of Plant Nutrition, 5ª Ed., Springer Science+Business Media, Dordrecht. 2001. 846p

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM N° 166 de 29 de Junho de 2011. Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH n° 2 de 6 de setembro de 2010,

estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos. Publicada no D.O.E em 27 de julho de 2011.

_____. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Minas Gerais, Belo Horizonte, 13 maio 2008.

_____. Deliberação Normativa COPAM nº 14, de 28 de dezembro de 1995. Dispõe sobre o enquadramento das águas da Bacia do rio Paraopeba. Minas Gerais, Belo Horizonte, 29 dez. 1995.

MG RECORD. Polícia ambiental investiga morte de 20 toneladas de peixes no rio Paraopeba. 06 mar. 2017. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/minas-gerais/mg-record/videos/policia-ambiental-investiga-morte-de-20-toneladas-de-peixes-no-rio-paraopeba-21022018#:~:text=A%20morte%20de%2020%20toneladas,de%20v%C3%A1rias%20Prefeituras%20da%20regi%C3%A3o.>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

MORGENSTERN, N. R. VICK, S. G. VIOTTI, C. B. WATTS, B. D. Fundão Tailings Dam Review Panel - Report on the Immediate Causes of the Failure of the Fundão Dam. Agosto de 2016.

MOZAFARI, H. Calcium and L-histidine interaction on growth improvement of three tomato cultivars under nickel stress. Acta Biol. Szeged., v. 57, p. 131-144. 2013.

MPMG. Ministério Público Estadual de Minas Gerais. Ação Civil Pública - Com pedido principal em aditamento ao pedido de tutela provisória cautelar em caráter antecedente e com pedido de tutelas de urgência e evidência. Autos nº 5000053-16.2019.8.13.0090. 2019.

NACAB. Relatório de Campo. Caracterização das zonas atingidas pelas enchentes do rio Paraopeba e danos às propriedades da Comissão de Taquaras, Esmeraldas, MG. Belo Horizonte. p. 56. Outubro, 2020.

NICKLING, William G.; NEUMAN, Cheryl McKenna. Aeolian sediment transport. In: Geomorphology of desert environments. Springer, Dordrecht, 2009. p. 517-555.

NOURI, M. ; HADDIOUI, A. Human and animal health risk assessment of metal contamination in soil and plants from Ait Ammar abandoned iron mine, Morocco. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 188, n.1, p. 1 - 12. 2015 Disponível em : doi:10.1007/s10661-015-5012-6, Acesso em: 25/10/2020.

OLIVEIRA, M.R. de; HORN, A.H. 2006. Comparação da concentração de metais pesados nas águas do rio São Francisco em Três Marias, desde 1991 até hoje, relacionando a atuação da CMM-Três Marias. *Revista Geonomos*, 14(1, 2): 55-63.

PASCHOALINI, A. L. et al. Heavy metals accumulation and endocrine disruption in *Prochilodus argenteus* from a polluted neotropical river. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 169, p. 539-550, 2019.

PEREIRA, E. L. Estudo do potencial de liquefação de rejeito de minério de ferro sob carregamento estático. Ouro Preto: UFOP, 2005. 185 p. Dissertação de mestrado (Programa de Pós Graduação do Departamento de Construção Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

PESCA AMADORA. PMA apura mortandade de peixes no rio Paraopeba em Jeceaba-MG. 28 nov. 2014. Disponível em: <https://www.pescamadora.com.br/2014/11/pma-ap_ura-mortandade-de-peixes-no-rio-paraopeba-em-jeceaba/>. Acesso em: 28 ago. 2020.

PIRES, J. M. M. et al. Potencial poluidor de resíduo sólido da SAMARCO Mineração: estudo de caso da barragem de Germano. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 393- 397, 2003.

PISTORI, R.E.T. ; CAMARGO, A.F.M. ; HENRY-SILVA, G.G. Relative Growth Rate and Doubling Time of the Submerged Aquatic Macrophyte *Egeria densa* Planch. *Acta Limnol. Bras.*, v. 16(1), p. 77-84, 2004.

POLÍCIA FEDERAL. Laudo de Perícia Criminal Federal Nº 3565/2019 – NUCRIM/SETEC/SR/PF/SP. Laudo de Perícia Criminal Federal (Meio Ambiente) investigação dos danos ocorridos no local decorrente do rompimento da barragem B1 da mina do Córrego do Feijão em 25/01/2019. 182p. 2019a.

_____. Laudo de Perícia Criminal Federal N° 1639/2019 – INC/DITEC/PF. 56 p. 2019b.

PORSANI, J. L.; JESUS, F. A. N. DE; STANGARI, M. C. 2019. GPR Survey on an Iron Mining Area after the Collapse of the Tailings Dam I at the Córrego do Feijão Mine in Brumadinho-MG, Brazil. *Remote Sensing*, v. 11, n.7, p.860. Disponível em : doi:10.3390/rs11070860. Acesso em: 25/09/2020.

PRADO, I. G. DE O. ; DA SILVA, M. DE C. S. ; PRADO, D. G. DE O. ; KEMMELMEIER, K. ; PEDROSA, B. G. ; SILVA, C. C. DA ; KASUYA, M. C. M. Revegetation process increases the diversity of total and arbuscular mycorrhizal fungi in areas affected by the Fundão dam failure in Mariana, Brazil. *Applied Soil Ecology*, v. 141, p. 84–95. 2019. Disponível em: doi:10.1016/j.apsoil.2019.05.008. Acesso em: 28/10/2020.

QUARESMA, V. S.; BASTOS, A. C.; LEITE, M. D.; COSTA, A.; CAGNIN, R. C.; GRILO, C. F.; SANTOS OLIVEIRA, K. S. The effects of a tailing dam failure on the sedimentation of the eastern Brazilian inner shelf. *Continental Shelf Research*, p. 104172. 2020. Disponível em: doi:10.1016/j.csr.2020.104172. Acesso em : 28/10/2020.

RAHMAN, A. ; MOSTOFA, M. G. ; ALAM, M. M. ; NAHAR, K. ; HASANUZZAMAN, M. ; FUJITA, M. Calcium Mitigates Arsenic Toxicity in Rice Seedlings by Reducing Arsenic Uptake and Modulating the Antioxidant Defense and Glyoxalase Systems and Stress Markers. *BioMed Research International*, 2015, p.1–12. 2015. Disponível em: doi:10.1155/2015/340812 . Acesso em : 25/09/2020.

RIBEIRO-FILHO, M.R., SIQUEIRA, J.O., CURI, N., SIMÃO, J.B.P. Fracionamento e biodisponibilidade de metais pesados em solo contaminado, incubado com materiais orgânicos e inorgânicos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 25, p.495-507, 2001.

RIEUWERTS, J. S. The mobility and bioavailability of trace metals in tropical soils: A review. *Chemical Speciation and Bioavailability*, Abingdon, v. 19, n. 2 p. 75-85, mar. 2007. <https://doi.org/10.3184/095422907X211918>

RUYTERS, S., MERTENS, J., VASSILIEVA, E., DEHANDSCHUTTER, B., POFFIJN, A., & SMOLDERS, E. The Red Mud Accident in Ajka (Hungary): Plant Toxicity and Trace Metal

Bioavailability in Red Mud Contaminated Soil. *Environmental Science & Technology*, v. 45, n. 4, p.1616–1622. 2011. Disponível em: doi:10.1021/es104000m. Acesso em: 13/10/2020.

SANTOS, O.S.H.; AVELLAR, F.C.; ALVES, M.; TRINDADE, R.C.; MENEZES, M.B.; FERREIRA, M.C.; FRANÇA, G.S; CORDEIRO, J.; SOBREIRA, F.G.; YOSHIDA, I. Understanding the environmental impact of a mine dam rupture in Brazil: Prospects for remediation. *J Environ Qual.* v. 48, p. 439–449. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/jeq2018.04.0168>. Acesso em: 27/10/2020

SAVASSI, L. A. et al. Heavy metals and histopathological alterations in *Salminus franciscanus* (Lima & Britski, 2007) (Pisces: Characiformes) in the Paraopeba River, Minas Gerais, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* 96, p. 478–483, 2016.

SCHAEFER, C.E.G.R., et al. Paisagens de lama: Os tecnossolos para recuperação ambiental de áreas afetadas pelo desastre da Barragem de Fundão, em Mariana, Boletim informativo da SBCS , (Jan-Abr), 18-23. 2016.

SCHMIDT, P.L. Companion animals as sentinels for public health. *Vet. Clin. Small Anim.*, v. 39, p. 241-250, 2009.

SCHOLER, A.; ZAHARIEVA, I.; ZIMMERMANN, S.; WIECHEN, M.; MANKE, A.M.; KURZ, P.; PLIETH, C., DAU, H. Biogenic manganese-calcium oxides on the cell walls of the algae chara corallina: elemental composition, atomic structure, and water oxidation. *Catalysis. Eur. J. Inorg. Chem.* p. 780 - 790. 2014.

SCOTTI, M. R. ; GOMES, A. R. ; LACERDA, T. J. ; ÁVILA, S. S. ; SILVA, S. L. L. ; ANTÃO, A., ... RIGOBELLO, E. C. Remediation of a riparian site in the Brazilian Atlantic forest reached by contaminated tailings from the collapsed Fundão dam with native woody species. *Integrated Environmental Assessment and Management.* v.16, n. 5, p. 669-675. 2020. Disponível em: doi:10.1002/ieam.4272. Acesso em: 12/10/2020.

SEGURA, F.R., NUNES, E.A., PANIZ, F.P., PAULELLI, A.C.C., RODRIGUES, G.B., BRAGA, G.Ú., DOS REIS PEDREIRA FILHO, W., BARBOSA, F., CERCHIARO, G.,

SILVA, F.F., BATISTA, B.L. Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil). *Environ. Pollut.* v.218, p. 813 - 825. 2016.

SHAHID, M; SHAMSHAD, S ; RAFIQ, M; KHALID, S; BIBI, I.; NIAZI, N.K. ; DUMAT, C. RASHID, M.I. Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: A review. *Chemosphere*, v.178, p. 513– 533. 2017.

SILVERIO, P. F. Bases técnico-científicas para a derivação de Valores-Guia de Qualidade de Sedimentos para metais: Experimentos de campo e laboratório. 2003. 145 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOS MATA ATLÂNTICA. Observando rios: O retrato da qualidade da água nas bacias dos rios Paraopeba e Alto São Francisco um ano após o rompimento da barragem Córrego do Feijão – Minas Gerais. Cord. RIBEIRO, M. A. p. 28. Janeiro, 2020.

SOUZA, Maria Verônica de et al . Metais pesados em amostras biológicas de bovinos. *Cienc. Rural*, Santa Maria , v. 39, n. 6, p. 1774-1781, 2009 . Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000088>. Acesso em: 28/10/2020.

SOUZA, V. L. B. et al. Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma Revisão. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*. 03-1A, p. 1-13, 2015.

SOUSA, I. C. ; CONRAD, I. H. ; BLUE, W. G. ; AMMERMAN, C. B. ; MCDOWELL, L. R. (1981). Interrelationships between mineral in the soil, forage plants and animals tissues. Manganese, Iron and Cobalt. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.16, p. 739 - 746.

SOUSA, W.T.Z.; THOMAZ, S.M.; MURPHY, K.J. Response of native *Egeria najas* Planch. and invasive *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle to altered hydroecological regime in a subtropical river. *Aquat. Bot.* 92, p. 40 - 48, 2010.

SAMPANPANISH, P. ;PONGPALADISAI, P. Effect of organic fertilizer on cadmium uptake by rice growing in contaminated soil *Environ. Asia*, v.5, n.1., p. 77-83. 2012.

SPARLING, D.W., 2018. *Basics of Ecotoxicology*. Ed. CRC Press, Boca Raton, Ed. 1º Edição.

STRAK, M.; JANSSEN, N. A.; GODRI, K. J. ; GOSENS, I. ; MUDWAY, I. S. ; CASSEE, F. R.; HOEK, G. Respiratory Health Effects of Airborne Particulate Matter: The Role of Particle Size, Composition, and Oxidative Potential—The RAPTES Project. *Environmental Health Perspectives*, v.120, nº 8, p. 1183–1189. 2012. Disponível em: doi:10.1289/ehp.1104389. Acesso em: 19/10/2020.

SUN, W., JI, B., KHOSO, S. A., TANG, H., LIU, R., WANG, L., & HU, Y. 2018. An extensive review on restoration technologies for mining tailings. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 25, p. 33911 - 33925. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3423-y>.

SYTAR, O. ; KUMAR, A. ; LATOWSKI, D. Heavy metal-induced oxidative damage, defense reactions, and detoxification mechanisms in plants. *Acta Physiol Plant*. v. 35, p.985–999 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1169-6>. Acesso em : 27/10/2020.

TAVARES, S. R. DE L.; OLIVEIRA, S. A. DE; SALGADO, C. M. Avaliação De Espécies Vegetais Na Fitorremediação De Solos Contaminados Por Metais Pesados. *HOLOS*, [S.l.], v. 5, p. 80-97, dez. 2013. ISSN 1807-1600. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1852>>. Acesso em: 27 out. 2020.

THOMPSON, F. et al. Severe impacts of the Brumadinho dam failure (Minas Gerais, Brazil) on the water quality of the Paraopeba River. *Scientific of the Total Environment*. 2019.

TROLLDENIER, G. Secondary effects of potassium and nitrogen on rice: Changes in microbial activity and reduction in the rhizosphere. *Plant Soil*, v. 38. p. 267 - 279.

VAMERALI, T.; BANDIERA, M.; MOSCA, G. Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land. A review. *Environmental Chemistry Letters*, v.8, n.1, p.1–17. Disponível em: doi:10.1007/s10311-009-0268-0. Acesso em: 10/10/2020.

VEADO, M. A. R. V.; ARANTES, I. A.; OLIVEIRA, A. H. ; ALMEIDA, M. R. M. G. ; MIGUEL, R. A. ; SEVERO, M. I. ; CABALEIRO, H. L. Metal Pollution in the Environment of Minas Gerais State – Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 117, n.(1-3), p. 157–172. 2006. Disponível em: doi:10.1007/s10661-006-8716-9. Acesso em: 27/10/2020.

VERGILIO, C. S. et al. Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). *Scientific Reports*. 10: 5936, 2020.

WANG, K.; QIAO, Y.; ZHANG, H.; YUE, S.; LI, H.; JI, X.; LIU, L. Bioaccumulation of heavy metals in earthworms from field contaminated soil in a subtropical area of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 148, p. 876–883. 2018 Disponível em: doi:10.1016/j.ecoenv.2017.11.058. Acesso em: 27/10/2020.

WHITE, P. J.,; BROWN, P. H. 2010. Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany*, v.105, n.7, p. 1073–1080. Disponível em: doi:10.1093/aob/mcq085. Acesso em: 27/10/2020.

WHO - World Health Organization. Health effects of particulate matter. Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 2013. Disponível em : http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf. Acesso em: 26/10/2020.

WHO - World Health Organization. Regional Office for Europe (2006). Air quality guidelines: global update 2005 – particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. Disponível em: encurtador.com.br/hisG7. Acesso em : 27/10/2020.

WHO - World Health Organization. Trace Elements in Human Nutrition and Health. World Health Organization, Geneva. ISBN 92 4 156173 4 (NLM Classification: QU 130). 1996.

WILLIAMS, M. E. Plant Nutrition 3: Micronutrients and metals. *The Plant Cell*. v. 27, n.5, p. 1-20, 2015.

WOLFF, A. P. Caracterização de rejeitos de minério de ferro de minas da Vale. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

ZAGO, V. C. P. ; DAS DORES, N. C.; WATTS, B. A. Strategy for phytomanagement in an area affected by iron ore dam rupture: A study case in Minas Gerais State, Brazil. *Environmental Pollution*. v. 249, p. 1029-1037. 2019. Disponível em : [doi:10.1016/j.envpol.2019.03.060](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.060), Acesso em: 10/09/2020.

ANEXOS E APÊNDICES

Tabela 1: Detalhamento das características de cada comissão que compõem a Região 3, em estudo.

ID	MUNICÍPIOS	COMISSÕES	AREA TOTAL (HA)	AREA DENTRO DO RAIO DE 1 KM (HA)	EXTENSÃO DA CALHA DO RIO PARAPEBA (KM)	EDIFICAÇÕES	PESSOAS
1	Caetanópolis	Shopping da Minhoca	5,36	0,00	0,00	0	115
2	Esmeraldas	Padre João, Vinhático e Bambus	3231,74	1693,50	18,70	753	2936,7
3	Esmeraldas	Vista Alegre	3203,03	858,90	9,00	293	1142,7
4	Esmeraldas	Taquaras	3198,30	795,81	9,90	587	2289,3
5	Esmeraldas	Riacho	1533,79	691,06	7,50	119	464,1
6	Esmeraldas	Cachoeirinha	2047,74	910,73	9,70	49	191,1
7	Esmeraldas	São José	3028,50	1051,42	12,30	56	218,4
8	Florestal	Valentim, Ribeirão do Ouro e Marinheiros	4263,48	2658,32	33,40	439	1712,1
9	Fortuna de Minas	Três Barras	2222,66	1082,66	14,30	145	565,5
10	Fortuna de Minas	Córrego da Areia	3380,14	1506,76	17,80	19	74,1
11	Fortuna de Minas	Beira Córrego e Retiro dos Moreiras	5285,65	2028,37	21,10	188	733,2
12	Maravilhas	Maravilhas	5947,75	1786,54	20,50	102	397,8
13	Papagaios	Papagaios	14271,20	4833,64	57,40	64	249,6
14	Pará de Minas	Muquém	938,80	348,78	2,80	85	331,5
15	Pará de Minas	Chacreamento Paraopeba	1599,98	504,70	5,40	140	546
16	Pará de Minas	Chacreamento Vargem Grande	662,16	387,05	5,20	75	292,5
17	Pará de Minas	Córrego do Barro	575,06	78,61	0,70	131	510,9
18	Paraopeba	Quilombo da Pontinha	1127,68	0,00	0,00	368	3000
19	Paraopeba	Zona Rural	13346,30	4316,98	49,70	142	553,8
20	Pequi	Pequi	4156,27	1459,98	15,80	258	1006,2
21	São José da Varginha	São José da Varginha	4911,82	2761,92	18,10	260	1014

Tabela 2: Dados de Poeira Domiciliar coletados pela empresa AMBIOS em 2019 nos municípios atingidos pelo rompimento da Barragem de Fundão.

FONTE	PONTOS	AMOSTRA	TIPO	LOCAL DE COLETA	CIDADE	LATITUDE	LONGITUDE	DISTÂNCIA APROXIMADA DO PONTO DE ROMPIMENTO (KM)	DATA	ANTIMÔNIO	ARSÊNIO	CÁDMIO	CHUMBO	COBRE	FERRO	MANGANÊS	MERCÚRIO	NÍQUEL	ZINCO	
AMBIOS, 2019	1	1	IMPACTADA	Bento Rodrigues	MARIANA	-20,344676	-43,254793	5,3	28/08/2018	0,025	< 0,006	4,942	15,95	35,48	18090	590,6	< 0,0002	9,72	114	
AMBIOS, 2019	2	2	IMPACTADA	Bento Rodrigues	MARIANA	-20,147409	-43,2510431	5,4	28/08/2018	0,0435	< 0,006	11,06	16,88	20,83	19740	1307	< 0,0002	19,65	98,22	
AMBIOS, 2019	3	3	IMPACTADA	Bento Rodrigues	MARIANA	-20,1359795	-43,2511201	5,6	28/08/2018	0,0378	< 0,006	7,087	138,8	25,75	18080	886,9	< 0,0002	11,55	104,4	
AMBIOS, 2019	4	4	IMPACTADA	Camargos	MARIANA	-20,1556707	-43,2422336	10,7	28/08/2018	< 0,02	< 0,006	0,2893	0,2509	2,262	123,5	149,9	< 0,0002	2,233	13,61	
AMBIOS, 2019	5	5	IMPACTADA	Ponte do Gama	MARIANA	-20,1630047	-43,1756186	22,2	29/08/2018	0,132	< 0,006	4,28	9,088	7,885	7,885	299,6	< 0,0002	3,624	27,17	
AMBIOS, 2019	6	6	IMPACTADA	Ponte do Gama	MARIANA	-20,1558938	-43,1750983	22,2	29/08/2018	0,4195	< 0,006	1,459	4,668	10,43	10880	426,2	< 0,0002	3,266	65,9	
AMBIOS, 2019	7	7	IMPACTADA	Ponte do Gama	MARIANA	-20,160454	-43,171452	22,2	29/08/2018	0,2058	< 0,006	1,79	16,83	72,52	11560	434,1	< 0,0002	10,39	146,6	
AMBIOS, 2019	8	8	IMPACTADA	Ponte do Gama	MARIANA	-20,1557298	-43,1721385	22,2	29/08/2018	< 0,02	< 0,006	3,238	12,65	56,08	15830	479,4	< 0,0002	17,78	154,5	
AMBIOS, 2019	9	9	IMPACTADA	Paracatu de Cima	MARIANA	-20,184795	-43,153753	29,1	30/08/2018	< 0,02	< 0,006	5,216	8,802	11,74	18520	532,6	< 0,0002	5,067	68,71	
AMBIOS, 2019	10	10	IMPACTADA	Paracatu de Cima	MARIANA	-20,173457	-43,151689	29,1	30/08/2018	0,4198	< 0,006	0,6629	7,555	25,3	5882	296,8	< 0,0002	1,5	38,8	
AMBIOS, 2019	11	11	IMPACTADA	Paracatu de Cima	MARIANA	-20,1721895	-43,1554072	29,1	30/08/2018	0,1207	< 0,006	2,798	8,92	22,73	14630	624,3	< 0,0002	5,656	50,85	
AMBIOS, 2019	12	12	IMPACTADA	Paracatu de Baixo	MARIANA	-20,1822955	-43,1348543	34,6	30/08/2018	0,0247	< 0,006	6,392	32,25	25,39	19660	510,2	< 0,0002	12,89	116,9	
AMBIOS, 2019	13	13	IMPACTADA	Paracatu de Baixo	MARIANA	-20,1758781	-43,1239815	34,6	30/08/2018	< 0,02	< 0,006	0,2667	1,357	244,1	244,1	285,6	< 0,0002	4,081	251,8	
AMBIOS, 2019	14	14	IMPACTADA	Paracatu de Baixo	MARIANA	-20,186477	-43,143384	34,6	31/08/2018	0,0287	< 0,006	7,061	16,13	32,69	20790	369,2	< 0,0002	13,46	253,5	
AMBIOS, 2019	15	15	IMPACTADA	Paracatu de Baixo	MARIANA	-20,1812877	-43,142947	34,6	31/08/2018	0,4393	< 0,006	1,128	7,798	24,39	8111	291,2	< 0,0002	8,67	220,3	
AMBIOS, 2019	16	16	IMPACTADA	Paracatu de Baixo	MARIANA	-20,1820917	-43,135044	34,6	31/08/2018	< 0,02	< 0,006	0,1744	1,042	24,54	621,7	492,3	< 0,0002	19,05	469,1	
AMBIOS, 2019	17	17	IMPACTADA	Paracatu de Baixo	MARIANA	-20,1818879	-43,134896	34,6	31/08/2018	0,9193	< 0,006	3,452	5,17	8,502	17010	220,4	< 0,0002	3,048	17,98	
AMBIOS, 2019	18	18	IMPACTADA	Paracatu de Baixo	MARIANA	-20,1810837	-43,148674	34,6	31/08/2018	0,9827	< 0,006	2,869	2,869	17,17	15220	562,5	< 0,0002	5,274	72,11	
AMBIOS, 2019	19	19	IMPACTADA	Paracatu de Baixo	MARIANA	-20,1818879	-43,134896	34,6	31/08/2018	0,1457	< 0,006	1,24	5,339	17,18	8749	530,6	< 0,0002	3,914	90,1	
AMBIOS, 2019	20	20	IMPACTADA	Camplinas	MARIANA	-20,1626791	-43,26791	38,1	01/09/2018	< 0,02	< 0,006	4,572	11,75	17,01	18120	382,5	< 0,0002	7,157	58,15	
AMBIOS, 2019	21	21	IMPACTADA	Borba	MARIANA	-20,1813659	-43,124119	41,6	01/09/2018	0,3606	< 0,006	6,402	18,73	39,36	10830	361,6	< 0,0002	16,5	104,3	
AMBIOS, 2019	22	22	IMPACTADA	Pedras	MARIANA	-20,1724544	-43,1138648	47,7	31/08/2018	< 0,02	< 0,006	14,32	358,7	332,4	13700	383,4	< 0,0002	11,66	1410	
AMBIOS, 2019	23	23	IMPACTADA	Pedras	MARIANA	-20,175483	-43,1130445	47,7	31/08/2018	< 0,02	< 0,006	2,77	29,96	78,59	14550	331,4	< 0,0002	9,444	291,2	
AMBIOS, 2019	24	24	IMPACTADA	Pedras	MARIANA	-20,214518	-43,12487	47,7	31/08/2018	0,8479	< 0,006	2,23	16,95	39,06	13400	148,9	< 0,0002	8,31	94	
AMBIOS, 2019	25	25	IMPACTADA	Borba	MARIANA	-20,1759509	-43,1159835	41,6	01/09/2018	0,4785	< 0,006	1,748	1,24	28,51	11450	844,1	< 0,0002	6,251	108,2	
AMBIOS, 2019	1	51139	IMPACTADA	Gesteira	BARRA LONGA	-20,15646	-43,07558	56,4	16/10/2018	< 0,02	< 0,006	0,8725	< 0,005	0,056	1,867	1,391	< 0,0002	0,081	0,379	
AMBIOS, 2019	2	51140	IMPACTADA	Gesteira	BARRA LONGA	-20,15439	-43,07404	56,4	16/10/2018	< 0,02	< 0,006	2,754	9,279	8352	20,29	8352	328,2	< 0,0002	9,392	180,6
AMBIOS, 2019	3	51141	IMPACTADA	Gesteira	BARRA LONGA	-20,15444	-43,07365	56,4	16/10/2018	< 0,02	< 0,006	14,56	20,02	24,69	18130	474,9	0,0643	14,64	115,1	
AMBIOS, 2019	4	51142	IMPACTADA	Mandioca	BARRA LONGA	-20,15771	-43,08218	58,7	16/10/2018	< 0,02	< 0,006	8,02	11,61	35,38	16750	577,2	< 0,0002	11,05	2139	
AMBIOS, 2019	5	51143	IMPACTADA	Mandioca	BARRA LONGA	-20,16546	-43,10032	58,7	16/10/2018	< 0,02	< 0,006	5,719	8,623	33,06	12620	646,3	< 0,0002	38,03	96,44	
AMBIOS, 2019	6	51144	IMPACTADA	Barretos	BARRA LONGA	-20,16549	-43,10058	59,6	16/10/2018	< 0,02	< 0,006	2,319	4,412	22,74	7793	977	< 0,0002	9,861	45,31	
AMBIOS, 2019	7	51145	IMPACTADA	Barretos	BARRA LONGA	-20,15184	-42,59022	59,6	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	2,956	50,96	13,19	9686	188,3	< 0,0002	7,607	189,1	
AMBIOS, 2019	8	51146	IMPACTADA	Fazenda Bueno	BARRA LONGA	-20,15745	-42,59826	63,7	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	3,386	32,08	34,16	9923	348,5	< 0,0002	9,39	217,4	
AMBIOS, 2019	9	51147	IMPACTADA	Tanques	BARRA LONGA	-20,1663	-43,02097	63,7	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	11,53	21,61	32,89	17800	521,2	< 0,0002	15,64	110,6	
AMBIOS, 2019	10	51148	IMPACTADA	Jurumirim	BARRA LONGA	-20,16415	-43,00422	64,5	18/10/2018	< 0,02	< 0,006	8,287	22,52	50,63	16450	454,9	< 0,0002	142,6	126,4	
AMBIOS, 2019	11	51149	IMPACTADA	São Gonçalves	BARRA LONGA	-20,17068	-43,03011	66,7	18/10/2018	< 0,02	< 0,006	0,9406	0,1807	81,68	2122	157,6	< 0,0002	22,54	53,61	
AMBIOS, 2019	12	51150	IMPACTADA	Novo Barra	BARRA LONGA	-20,1743	-43,03272	66,7	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	0,3438	0,1579	2,38	801,9	238,7	0,3734	3,854	101,9	
AMBIOS, 2019	13	51151	IMPACTADA	Volta da Capela	BARRA LONGA	-20,17306	-43,03466	68,6	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	131,2	30,68	174	12710	517,3	< 0,0002	44,42	1311	
AMBIOS, 2019	14	51152	IMPACTADA	Volta da Capela	BARRA LONGA	-20,17287	-43,0349	68,6	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	7,322	18,94	54,46	15230	563,5	< 0,0002	21,91	192,8	
AMBIOS, 2019	15	51153	IMPACTADA	Volta da Capela	BARRA LONGA	-20,17213	-43,03531	68,6	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	0,1977	< 0,005	22,23	614,7	226,8	< 0,0002	3,103	1260	
AMBIOS, 2019	16	51154	IMPACTADA	Volta da Capela	BARRA LONGA	-20,16948	-43,02452	68,6	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	8,04	19,07	53,19	15520	668,5	< 0,0002	14,78	255,1	
AMBIOS, 2019	17	51155	IMPACTADA	Centro	BARRA LONGA	-20,16926	-43,02453	70,1	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	18,38	58,02	73,24	18300	1039	< 0,0002	26,57	455,5	
AMBIOS, 2019	18	51156	IMPACTADA	Centro	BARRA LONGA	-20,1696	-43,02453	70,1	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	4,677	44,9	59,32	11590	417	< 0,0002	11,1	808,8	
AMBIOS, 2019	19	51157	IMPACTADA	Centro	BARRA LONGA	-20,17132	-43,02866	70,1	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	0,9845	0,8699	30,86	446,3	638,6	< 0,0002	12,39	403,9	
AMBIOS, 2019	20	51158	IMPACTADA	Centro	BARRA LONGA	-20,16998	-43,0267	70,1	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	6,106	12,1	20,35	12950	471,3	< 0,0002	12,82	129,5	
AMBIOS, 2019	21	51159	IMPACTADA	Centro	BARRA LONGA	-20,16998	-43,0267	70,1	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	11,8	41,4	62,23	16920	972,1	< 0,0002	20,58	305,3	
AMBIOS, 2019	22	51160	IMPACTADA	Centro	BARRA LONGA	-20,16936	-43,02613	70,1	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	4,626	14,56	37,18	12490	423,1	< 0,0002	11,05	141,8	
AMBIOS, 2019	23	51161	IMPACTADA	Centro	BARRA LONGA	-20,16992	-43,02629	70,1	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	10,58	44,5	62,79	16020	728,2	< 0,0002	17,68	349,2	
AMBIOS, 2019	24	51162	IMPACTADA	Centro	BARRA LONGA	-20,16899	-43,02218	70,1	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	4,589	13,05	33,97	10860	346,5	< 0,0002	7,552	457,2	
AMBIOS, 2019	25	51163	IMPACTADA	Centro	BARRA LONGA	-20,13884	-43,02441	70,1	17/10/2018	< 0,02	< 0,006	8,267	20,2	151,7	16350	755,9	0,3849	25,51	2254	