

Relatório Técnico

# Cachoeira Camargos

Projeto n.º SRKBR\_040\_17\_OS98, Belo Horizonte, MG, Brasil  
Fundação Renova



---

SRK Consulting (Brasil) ■ Projeto n.º SRKBR\_040\_17\_OS 88 ■ 23 de novembro de 2021



# Índice

Glossário.....	viii
1 Introdução.....	1
1.1 Localização.....	2
1.2 História e Cultura Locais .....	4
1.3 Origem da Demanda .....	4
2 Objetivo .....	4
3 Contextualização.....	5
4 Ações de Manejo.....	15
4.1 Levantamento de campo.....	15
4.1.1 Topobatimetria .....	15
4.1.2 Sondagem.....	15
4.2 Projeto Conceitual .....	16
4.3 Ações executadas .....	19
4.3.1 Limpeza dos acessos .....	19
4.3.2 Acerto da passagem molhada .....	21
4.3.3 Preparo do Pátio de Manobras .....	23
4.3.4 Locação da obra .....	23
4.3.5 Retirada do Rejeito e Desassoreamento.....	24
4.3.6 Plantio de <i>mix</i> de sementes.....	28
4.3.7 Canteiro de obras .....	29
4.4 Disposição Final de Rejeitos .....	30
4.5 Entrega da obra.....	31
5 Metodologia Avaliação QA/QC.....	32
5.1 Cadeia de Custódia/Fichas de campo .....	33
5.2 Holding Time/Prazo de validade .....	33
5.3 Duplicatas e Replicatas de campo .....	34
5.4 Brancos .....	35
5.5 Parâmetros Totais e Parâmetros Dissolvidos .....	36
5.6 Limites de Quantificação (LQ) vs. Legislação.....	36
5.7 QA/QC interno (laboratório) .....	37
6 Caracterização inicial da área da Cachoeira Camargos (Grupo EPA, 2020).....	37
6.1 Resultados da Avaliação QA/QC .....	40
6.1.1 Cadeias de Custódia/Fichas de campo .....	40
6.1.2 Holding Time/Prazo de validade.....	40
6.1.3 Duplicatas de campo .....	40
6.1.4 Brancos.....	42
6.1.5 Parâmetros Totais vs. Parâmetros Dissolvidos.....	46
6.1.6 Limites de Quantificação (Q) vs. Legislação .....	46
6.1.7 QA/QC interno (laboratório).....	46
6.2 Amostras de solo.....	47
6.2.1 Metodologia .....	47
6.2.2 Normas aplicáveis.....	47
6.2.3 Resultados e considerações.....	47
6.3 Amostras de sedimento.....	50
6.3.1 Metodologia .....	50
6.3.2 Normas aplicáveis.....	51
6.3.3 Resultados e considerações.....	51
6.3.4 Classificação do rejeito.....	54

6.4	Amostras de água superficial .....	55
6.4.1	Metodologia .....	55
6.4.2	Normas aplicáveis.....	55
6.4.3	Resultados e considerações.....	58
6.5	Plano de caracterização após a revitalização (SRK, 2020) .....	58
7	Programa de monitoramento hídrico da Cachoeira Camargos .....	58
7.1	Resultados da Avaliação QA/QC .....	58
7.1.1	Cadeias de Custódia/Fichas de campo .....	58
7.1.2	Holding Time/Prazo de validade .....	59
7.1.3	Duplicatas de campo .....	60
7.1.4	Branco.....	60
7.1.5	Parâmetros Totais vs. Parâmetros Dissolvidos.....	61
7.1.6	Limites de Quantificação (Q) vs. Legislação .....	61
7.1.7	QA/QC interno (laboratório).....	61
7.2	Metodologia .....	61
7.2.1	Consolidação do Banco de Dados .....	62
7.2.2	Critérios Regulatórios .....	64
7.3	Concentrações Comparadas aos Critérios Regulatórios .....	64
7.3.1	Análise de Dados.....	66
7.3.2	Definição dos Cenários de Análise.....	79
8	Considerações Finais .....	93
	Referências.....	95

## Tabelas

Tabela 4.1: Quantitativos de rejeito transportados .....	31
Tabela 5.1: Tabela resumo com os critérios de qualificação das análises das duplicatas .....	35
Tabela 6.1: Indicação da localização dos pontos de amostragem para caracterização inicial do solo, sedimentos e água superficiais da Cachoeira Camargos .....	38
Tabela 6.2: Resultado do cálculo da diferença percentual relativa (DPR) para as amostras original e sua respectiva duplicata para amostras de água superficial coletadas na fase de caracterização inicial (maio de 2020). .....	40
Tabela 6.3: Resultado do cálculo da diferença percentual relativa (DPR) para as amostras original e sua respectiva duplicata para amostras de solo coletadas na fase de caracterização inicial (maio de 2020). .....	41
Tabela 6.4: Resultado do cálculo da diferença percentual relativa (DPR) para as amostras original e sua respectiva duplicata para amostras de sedimento coletadas na fase de caracterização inicial (maio de 2020). .....	42
Tabela 6.5: Resultados de branco de campo e de equipamentos – água superficial .....	43
Tabela 6.6: Resultados de branco de campo e de equipamentos – solo .....	44
Tabela 6.7: Resultados de branco de campo e de equipamentos – sedimento .....	45
Tabela 6.8: Resultado da Caracterização Inicial de Solo .....	49
Tabela 6.9: Resultado da Caracterização Inicial de Sedimento .....	52
Tabela 6.10: Resultado da Caracterização Inicial de Água Superficial .....	56
Tabela 7.1: Resultado das análises fora do prazo por parâmetro de ambos os laboratórios Mérioux NutriSciences (out/19 a mar/20) e ALS Ambiental (ago/2020 a set/2021). .....	59
Tabela 7.2: Sumário de resultados abaixo do Limite de Quantificação por parâmetro .....	65
Tabela 7.3: Quantidade de não conformidades em relação a Resolução CONAMA 357/2005 por parâmetro, período hidrológico, local e período de monitoramento (pré e pós intervenção). .....	66
Tabela 7.4: Estatística descritiva dos parâmetros não conformes à legislação. .....	67
Tabela 7.5: Estatística descritiva dos parâmetros adicionais de interesse. .....	73
Tabela 7.6: Medianas dos resultados por parâmetro no período seco e chuvoso. .....	80
Tabela 7.7: Medianas dos resultados por parâmetro no período seco e chuvoso, em relação ao local de coleta (montante e jusante da Cachoeira Camargos). .....	81
Tabela 7.8: Medianas dos resultados, por parâmetro, nos pontos localizados a montante e jusante da Cachoeira Camargos, no período chuvoso, pré e pós-intervenção. .....	82
Tabela 7.9: Medianas dos resultados, por parâmetro, nos pontos localizados a montante e jusante da Cachoeira Camargos, no período seco, pré e pós-intervenção. .....	83
Tabela 7.10: Resultado p-valor do teste estatístico Mann Whitney considerando variação no espaço. ....	86
Tabela 7.11: Resultado p-valor do teste estatístico Mann Whitney fator único considerando variação no tempo. ....	86
Tabela 7.12: Correlação entre os dados de montante e jusante, ambos pré e pós-intervenção. ....	88
Tabela 7.13: Correlação entre os parâmetros do ponto à montante da cachoeira, pré intervenção no período chuvoso .....	89
Tabela 7.14: Correlação entre os parâmetros do ponto à montante da cachoeira, pós intervenção no período chuvoso .....	89
Tabela 7.15: Correlação entre os parâmetros do ponto à jusante da cachoeira, pré intervenção no período chuvoso .....	89
Tabela 7.16: Correlação entre os parâmetros do ponto à jusante da cachoeira, pós intervenção no período chuvoso .....	90
Tabela 7.17: Correlação entre os parâmetros do ponto à montante da cachoeira, pré intervenção no período seco .....	90
Tabela 7.18: Correlação entre os parâmetros do ponto à montante da cachoeira, pós intervenção no período seco .....	90
Tabela 7.19: Correlação entre os parâmetros do ponto à jusante da cachoeira, pré intervenção no período seco .....	91
Tabela 7.20: Correlação entre os parâmetros do ponto à jusante da cachoeira, pós intervenção no período seco .....	91
Tabela 1: Temperatura de recebimento das amostras no laboratório. ....	116
Tabela 2: Avaliação do Holding time por parâmetro e ponto – Caracterização Inicial - Água .....	119

Tabela 3:	Avaliação do Holding time por parâmetro e ponto – Caracterização Inicial – Solo.....	119
Tabela 4:	Avaliação do Holding time por parâmetro e ponto – Caracterização Inicial – Solo.....	120
Tabela 11:	Parâmetros Totais x Parâmetros Dissolvidos .....	120
Tabela 12:	Limite de Quantificação X Limite da Legislação – Monitoramento Hídrico .....	122
Tabela 13:	Limite de Quantificação X Limite da Legislação – Caracterização Inicial: Água Superficial ..	123
Tabela 14:	Limite de Quantificação X Limite da Legislação – Caracterização Inicial: Solo .....	124
Tabela 15:	Limite de Quantificação X Limite da Legislação – Caracterização Inicial: Sedimento .....	124
Tabela.13:	Fonte e Coordenadas dos pontos de coleta .....	128
Tabela 14:	Estatística descritiva dos dados de monitoramento .....	134

## Figuras

Figura 1.1:	Localização da Cachoeira Camargos. A área foi impactada pelo refluxo da onda de cheia advinda do rio Gualaxo do Norte, ocasionada pelo rompimento da barragem de Fundão. (Fonte: SRK, 2020).....	3
Figura 3.1:	(Parte 1/4) Linha do tempo do projeto de revitalização da Cachoeira Camargos, abordando os principais acontecimentos envolvendo os diálogos com a comunidade, licenciamento ambiental e trâmites na CT-Rejeitos. (Fonte: SRK, 2020) .....	11
Figura 4.1:	Representação dos perfis de sondagem realizados no poço da Cachoeira Camargos. Fonte: EMFLORTEC, 2018 (Adaptado por SRK Consulting) .....	16
Figura 4.2:	Área de intervenção da Cachoeira Camargos. Fonte: Fundação Renova .....	18
Figura 4.3:	Apresentação das ações de recuperação da Cachoeira Camargos. (Fonte: Fundação Renova, 2020) .....	19
Figura 4.4:	Via de acesso à Cachoeira Camargos .....	20
Figura 4.5:	Fotografias da via de acesso à Cachoeira Camargos, antes do serviço de limpeza (Fonte: EMFLORTEC, 2019).....	20
Figura 4.6:	Fotografias da execução do serviço de limpeza dos acessos (Fonte: Fundação Renova, 2020a) .....	21
Figura 4.7:	Ortofoto da Cachoeira Camargos indicando o local da passagem molhada (Fonte: EMFLORTEC, 2019).....	21
Figura 4.8:	Situação da Passagem 01 antes da conformação (Fonte: EMFLORTEC, 2019) .....	22
Figura 4.9:	Passagem molhada durante conformação (Fonte: JM REFLORESTAMENTOS, 2020).....	22
Figura 4.10:	Localização do pátio provisório de manobra (Fonte: EMFLORTEC, 2019) .....	23
Figura 4.11:	Limpeza do pátio provisório de manobra (Fonte: Fundação Renova, 2020a) .....	23
Figura 4.12:	Locação da Obra. (Fonte: Fundação Renova, 2020a) .....	24
Figura 4.13:	Construção do dique para retenção do material fino (Fonte: JM REFLORESTAMENTO, 2020) .....	25
Figura 4.14:	Retirada do rejeito da cachoeira e recomposição do fundo do lago (Fonte: Fundação Renova, 2020a) .....	26
Figura 4.15:	Sulco triangular (do tipo sarjeta) para contenção do caldo do rejeito aquoso escorrido dos caminhões (Fonte: EMFLORTEC, 2019).....	26
Figura 4.16:	Retirada do rejeito sólido ou semi-sólido (Fonte: Fundação Renova, 2020a).....	27
Figura 4.17:	Direção do talude formado (Fonte: EMFLORTEC, 2019).....	27
Figura 4.18:	Reconformação manual do talude (Fonte: Fundação Renova, 2020a).....	28
Figura 4.19:	Correção do solo (A), plantio de mix de sementes (B), manutenção (C) e germinação (D). Fonte: Fundação Renova, 2020a.....	29
Figura 4.20:	Área de vivência da JM REFLORESTAMENTOS (Fonte: Fundação Renova, 2020b).....	30
Figura 4.21:	Desmobilização da área de vivência (Fonte: Fundação Renova, 2020b) .....	30
Figura 4.22:	Carregamento da caçamba de caminhão “toco” com o rejeito retirado da Cachoeira Camargos (Fonte: JM REFLORESTAMENTOS, 2020) .....	31
Figura 4.23:	Cachoeira Camargos após a conclusão das obras de revitalização (Fonte: fornecido pela Fundação Renova).....	32
Figura 6.1:	Pontos de monitoramento – Caracterização Inicial. ....	39
Figura 7.1:	Localização dos Pontos do Programa de Monitoramento Hídrico .....	63
Figura 7.2:	Resultados do parâmetro alumínio dissolvido comparado com a CONAMA 357/05. ....	68
Figura 7.3:	Resultados do parâmetro <i>Escherichia Coli</i> comparado com a CONAMA 357/05.....	68
Figura 7.4:	Resultados do parâmetro ferro dissolvido comparado com a CONAMA 357/05. ....	69

Figura 7.5: Resultados do parâmetro fósforo total comparado com a CONAMA 357/05.....	69
Figura 7.6: Resultados do parâmetro manganês total comparado com a CONAMA 357/05.....	70
Figura 7.7: Resultados do parâmetro oxigênio dissolvido comparado com a CONAMA 357/05.....	70
Figura 7.8: Resultados do parâmetro pH comparado com a CONAMA 357/05.....	71
Figura 7.9: Resultados do parâmetro turbidez comparado com a CONAMA 357/05.....	71
Figura 7.10: Resultados do parâmetro alumínio total.....	73
Figura 7.11: Resultados do parâmetro DBO comparado com a CONAMA 357/05.....	74
Figura 7.12: Resultados do parâmetro ferro total.....	74
Figura 7.13: Resultados do parâmetro manganês dissolvido.....	75
Figura 7.14: Resultados do parâmetro Nitrito como N comparado com a CONAMA 357/05.....	75
Figura 7.15: Resultados do parâmetro Nitrito como N comparado com a CONAMA 357/05.....	76
Figura 7.16: Resultados do parâmetro nitrogênio amoniacal comparado com a CONAMA 357/05.....	76
Figura 7.17: Resultados do parâmetro sólidos dissolvidos totais comparado com a CONAMA 357/05.....	77
Figura 7.18: Resultados do parâmetro sólidos sedimentáveis.....	77
Figura 7.19: Resultados do parâmetro sólidos suspensos totais.....	78
Figura 7.20: Resultados do parâmetro sólidos totais.....	78
Figura 7.21: Organograma dos cenários avaliados no estudo.....	79
Figura 1: Gráficos <i>boxplot</i> por parâmetro e por período, nos pontos localizados a montante e jusante da Cachoeira Camargos.....	142

## Apêndices

Apêndice A	Documentos de Contextualização
Apêndice B	Levantamento de campo
Apêndice C	Projeto Conceitual
Apêndice D	Comprovantes de Destinação de Resíduo
Apêndice E	Projeto Executivo
Apêndice F	Plano de Caracterização
Apêndice G	Tabela de avaliação de QA/QC
Apêndice H	Cadeias de Custódias e Laudos da Caracterização Inicial
Apêndice I	Conferência da localização dos pontos de monitoramento
Apêndice J	Banco de dados
Apêndice K	Cadeias de Custódia e Laudos Programa de Monitoramento Hídrico
Apêndice L	Estatística descritiva
Apêndice M	Resultados da análise de correlação

## Glossário

Esta lista contém definições de símbolos, unidades, abreviações e terminologias que podem ser desconhecidas ao leitor.

ANA	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APP	Área de Preservação Permanente
CE	Condutividade Elétrica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CT	Câmara Técnica
DAIA	Documento Autorizativo de Intervenção Ambiental
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	<i>Environment Protection Agency</i>
FCE	Formulário de Caracterização do Empreendimento
FOB	Formulário de Orientações Básicas
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEF	Instituto Estadual de Florestas
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
LD	Limite de Detecção
LIQ	Limite Inferior de Quantificação
LQ	Limite de Quantificação
LSQ	Limite Superior de Quantificação
MG	Minas Gerais
PMR	Plano de Manejo de Rejeito
QAQC	Garantia da Qualidade / Controle da Qualidade
RPD	Diferença Percentual Relativa
SASU	Secretaria Adjunta de Serviços Urbanos
SEMAD	Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
VMP	Valor Máximo Permitido

# 1 Introdução

Em novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, operada pela mineradora Samarco, e situada no município de Mariana (MG). Na ocasião, um grande fluxo de rejeitos sólidos e água foi liberado (GOLDER ASSOCIATES, 2016).

A onda de cheia decorrente da ruptura da Barragem do Fundão transportou rejeitos (partículas sólidas) que se depositaram ao longo das planícies de inundação, das margens e calhas dos cursos d'água atingidos e seus tributários. Estes, por sua vez, sofreram com o refluxo do rejeito, ficando total ou parcialmente assoreados até o ponto onde foram alcançados pelo evento. Dentre eles, no contexto desse estudo, destacam-se o rio Gualaxo do Norte e seu afluente pela margem direita, o córrego do Tesoureiro (POTAMOS, 2018).

No córrego do Tesoureiro, o rejeito retornou cerca de 3,5 km, alcançando um importante ponto turístico da região, a Cachoeira Camargos, localizada a cerca de 400 m da sede do distrito de Camargos (EMFLORTEC, 2018). Esta cachoeira constitui uma das principais áreas de interesse coletivo, por se tratar de uma área de recreação para a comunidade local. Assim, a sua recuperação foi uma medida reparatória solicitada pela comunidade nas reuniões de diálogo realizadas pela Fundação Renova, assim como o monitoramento da qualidade da água.

O início do programa de monitoramento deu-se em outubro de 2018, anteriormente às ações de manejo e recuperação da cachoeira que tiveram início em março de 2020. O monitoramento foi retomado após a intervenção, em agosto de 2020.

Neste relatório será descrito o processo de revitalização executado na Cachoeira Camargos, bem como apresentar as ações propostas de caracterização e monitoramento ambiental da área.

O Programa de monitoramento da qualidade da água da Cachoeira Camargos é realizado por coletas manuais sempre em dois pontos de amostragem, um a montante e outro a jusante da cachoeira, sendo que apenas o ponto a jusante foi impactado pela passagem de rejeito. As amostras foram coletadas com frequência variável, sendo, bimestral, entre outubro de 2018 e fevereiro de 2019, quinzenal, entre março de 2019 e março de 2020 e entre agosto de 2020 e dezembro de 2020 e mensal a partir de janeiro de 2021. Os resultados coletados compõem o banco de dados a ser utilizado para análise.

Além disso, em maio de 2020, foi realizada uma caracterização inicial da área, englobando amostragem de solo, sedimento e água. Assim como uma nova coleta em 30 de outubro de 2021, com dados ainda não divulgados pelo laboratório.

Neste contexto, a SRK Consulting (SRK) foi contratada para avaliar o padrão da qualidade da Cachoeira Camargos considerando os dados até então disponibilizados, que abrangem o período de outubro de 2018 a setembro de 2021. Os dados correspondentes ao período de monitoramento de outubro de 2018 a março de 2020 são anteriores à intervenção, a qual se iniciou no dia 06 de março de 2020 e estendeu-se até 22 de junho de 2020 (SRK,2020b), portanto, os resultados de agosto de 2020 a setembro de 2021 caracterizam o monitoramento pós-intervenção.

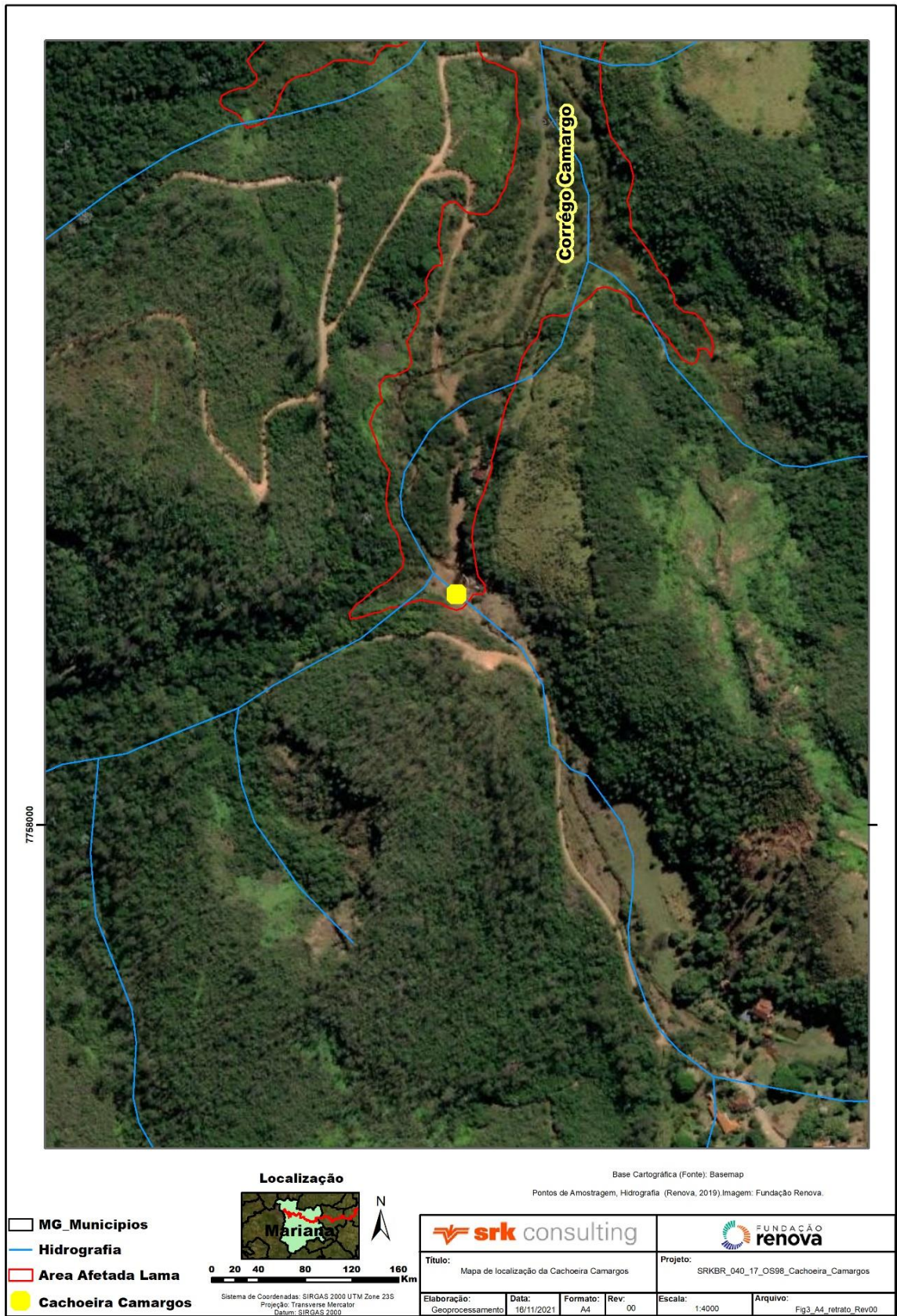
- Vale destacar que a SRK já realizou uma avaliação prévia dos dados do período pré intervenção, que resultou nos produtos SRKBR\_040\_17\_OS 71\_Monitoramento Qualidade da água da Cachoeira dos Camargos\_Rev00 e SRKBR\_040\_17\_OS88\_Cachoeira\_Camargos e que serviram de base para a elaboração desta nova etapa de análise dos dados de monitoramento de qualidade de água da Cachoeira Camargos.

## 1.1 Localização

A Cachoeira Camargos está localizada em uma área de apelo turístico, a uma distância aproximada de 19 km de Mariana, município sede; 8 km da antiga Bento Rodrigues; 23 km de Antônio Pereira; 25 km de Bandeirantes; e 40 km de Monsenhor Horta.

Sua localização aproximada, representada pelo ponto central da área desassoreada, é dada pelas coordenadas:  $X = 666434$  m e  $Y = 7758202$  m (UTM SIRGAS 2000, 23S). Encontra-se na divisa das propriedades particulares que pertencem ao Sr. Adriano Marcio Dias e Samarco S.A.

A Figura 1.1 apresenta a localização da cachoeira Camargos.



**Figura 1.1: Localização da Cachoeira Camargos. A área foi impactada pelo refluxo da onda de cheia advinda do rio Gualaxo do Norte, ocasionada pelo rompimento da barragem de Fundão. (Fonte: SRK, 2020)**

## 1.2 História e Cultura Locais

O povoamento de Camargos, distrito de Mariana (MG), iniciou-se no final do século XVII em decorrência da descoberta de uma jazida de ouro aluvionar no local. O povoado, então, se desenvolveu em torno da prática minerária, assim como grande parte das demais comunidades da região (FUNDAÇÃO RENOVA, 2018).

A paróquia de Nossa Senhora da Conceição de Camargos tem data de fundação estimada por volta de 1690 e a construção da capela teria sido iniciada em 1707. Seu reconhecimento como distrito ocorreu posteriormente em 1836. Atualmente, o adensamento local é caracterizado por uma pequena vila e por propriedades rurais, como casas de campo e fazendas. A Igreja local faz parte do circuito histórico regional, sendo de relevância para a cultura e identidade da região (FUNDAÇÃO RENOVA, 2018).

A comunidade está inserida no chamado Caminho dos Diamantes, da Estrada Real. A economia local é baseada, principalmente, no turismo, na agricultura, na produção leiteira e no comércio. Antes do rompimento da barragem de Fundão, Camargos era um destino de jipeiros, mochileiros, ciclistas e caminhantes da Estrada Real, sendo que a Cachoeira Camargos constituía um importante atrativo cultural (FUNDAÇÃO RENOVA, 2018).

## 1.3 Origem da Demanda

A Cachoeira Camargos, ou somente Cachoeirinha, é considerada uma importante área de lazer da comunidade sendo também um atrativo turístico regional. A onda de cheia de rejeitos comprometeu sua porção inferior, região do “poço”, inviabilizando seu uso para banho.

O diálogo com a comunidade de Camargos se iniciou-se em novembro de 2015, a recuperação da Cachoeirinha foi considerada uma das principais medidas reparatórias solicitadas, assim como o monitoramento da qualidade da água superficial. Nas reuniões de diálogo e oficinas realizadas, os moradores apontaram que a recuperação daquele local é uma ação fundamental para retomada dos modos de vida da comunidade trazendo resultados positivos no lazer e na retomada do turismo local. Entretanto a comunidade de Camargos tem clareza de que o monitoramento na Cachoeira Camargos não é de responsabilidade da Fundação Renova, uma vez que a maior preocupação em relação à qualidade da água superficial está relacionada ao lançamento de esgoto in natura por algumas residências da localidade, e que a própria associação comunitária pode conduzir esta questão (FUNDAÇÃO RENOVA, 2018).

Para atender tantos as exigências da comunidade como as medidas ambientais necessárias, a alternativa de manejo considerada mais adequada foi a remoção mecânica de rejeitos na região do poço principal.

Em reunião com a comunidade local, ficou estabelecido que o desassoreamento seria feito somente na área do entorno do poço principal da cachoeira, tendo em vista a regeneração natural e a consolidação da cobertura verde realizada com *mix* de sementes já ocorrida no local, por ocasião do semeio emergencial (EMFLORTEC, 2018).

## 2 Objetivo

O presente Relatório Técnico tem como principal objetivo descrever o processo de revitalização executado na Cachoeira Camargos, bem como apresentar as ações propostas de caracterização e monitoramento ambiental da área.

Será avaliado a evolução dos dados de qualidade da água da Cachoeira Camargos, coletados pela *Mérieux NutriSciences* (out/18 a mar/20) e ALS Ambiental (ago/20 a set/21), empresas contratadas pela Fundação Renova. Bem como os dados de água, solo e sedimentos coletados na fase de caracterização inicial.

Além disso, este documento busca atender as requisições solicitadas na Nota Técnica CT-GRSA nº 16/2021.

Para tanto, o documento foi dividido nos seguintes assuntos:

- Contextualização (Seção 3):

Nesta seção, é apresentado o histórico das tratativas do projeto de revitalização, abordando os diálogos com a comunidade, processos de licenciamento e trâmites junto à CT-Rejeitos.

- Ações de Manejo (Seção 4):

Aqui são apresentadas as ações de manejo e recuperação ambiental executadas para a revitalização da cachoeira, bem como suas devidas comprovações.

- Caracterização inicial da área da Cachoeira Camargos (Seção 6):

Esta seção apresenta uma descrição sucinta da caracterização dos solos, sedimentos e águas superficiais do poço da cachoeira e área adjacente.

- Programa de Monitoramento Hídrico da Cachoeira Camargos (Seção 7):

E por fim, esta seção apresenta a evolução dos dados do programa do monitoramento hídrico da Cachoeira Camargos, bem como a análise estatística desses dados.

## 3 Contextualização

A seguir é apresentado o histórico de tratativas para o projeto de revitalização da Cachoeira Camargos. Os fatos são apresentados em ordem cronológicas e divididos, de acordo com os principais acontecimentos do período, em: (i) Plano de Manejo de Rejeito; (ii) Diálogos com a comunidade; (iii) Apresentação do Plano Conceitual; (iv) Licenciamento Ambiental e (v) Execução e Conclusão.

Através da linha do tempo apresentada na Figura 3.1 é possível acompanhar os principais eventos.

### Plano de Manejo de Rejeito

As áreas físicas diretamente afetadas pelos rejeitos oriundos do rompimento foram caracterizadas em um Plano de Manejo de Rejeito (PMR), específico para os diversos contextos encontrados e segmentados em trechos, a fim de encontrar as melhores alternativas para a restauração ambiental.

Após identificação dos impactos, definiram-se objetivos específicos para adequação de cada cenário. Estes objetivos nortearam o processo de tomada de decisão da alternativa de manejo que melhor se encaixava em um determinado contexto, considerando: efetividade; viabilidade técnica e administrativa; impacto e riscos causados pelo manejo; e tempo de implementação.

A Fundação Renova se propôs também a avaliar e considerar as demandas das comunidades atingidas durante o processo de tomada de decisão. Neste sentido, a recuperação da Cachoeira Camargos, localizada no limite de montante da área afetada no Trecho 6, foi uma das principais medidas reparatórias

solicitadas pela comunidade nas reuniões de diálogo promovidas pela Fundação Renova. Assim, as alternativas de manejo desta localidade foram tratadas de forma particular em processos à parte no PMR deste trecho.

A primeira versão do PMR para os Trechos 6 e 7 foi protocolada em janeiro de 2018, através do ofício OFI.NII.012018.2187, porém não contemplava a demanda da comunidade de Camargos. Uma segunda versão, incluindo o projeto de revitalização da cachoeira, foi elaborada em agosto de 2018 e protocolada através do ofício OFI.NII.082018.3725. Esta versão foi aprovada, como consta na NT CT-GRSA 08/2018 e Deliberação CIF Nº 245, em novembro de 2018, apresentada no **Apêndice A**.

### **Diálogos com a Comunidade**

Mesmo antes da criação da Fundação Renova, ainda em 2016, a comunidade já havia solicitado para que fosse realizada uma limpeza na área da cachoeira. A então responsável, Samarco, explicou que não possuía autorização para entrar nos terrenos de propriedade privada que davam acesso à área e, dessa forma, a limpeza estava impossibilitada (HERKENHOFF & PRATES, 2020).

Em meados de 2018, a Associação de Moradores de Camargos voltou à pauta da revitalização da Cachoeira, ressaltando a importância desta para o turismo e economia local. Neste momento, a Fundação Renova se propôs a realizar os estudos ambientais necessários e avaliar a melhor alternativa para as áreas atingidas.

EMFLORTEC (2018) informou que a remoção total do rejeito poderia trazer um impacto negativo à comunidade, uma vez que o rejeito ali depositado já estava estabilizado, tendo em vista a regeneração natural e a consolidação da cobertura verde. A retirada do rejeito estabilizado pela cobertura verde e o intenso trânsito de caminhões no local poderiam gerar um novo desequilíbrio. Desta forma, a melhor alternativa encontrada foi a remoção do rejeito acumulado no poço principal da cachoeira.

Foi proposto à comunidade, em reunião ocorrida em 21/06/2018, por intermédio da consultoria da Herkenhoff & Prates (HP), uma dinâmica para construção coletiva de um mapa da cachoeira e seus arredores.

### **Apresentação do Plano Conceitual**

Durante a 23ª Reunião Ordinária da CT-GRSA, ocorrida em 13/07/2018, a Fundação Renova informou à CT-Rejeitos e ao CIF a respeito da demanda da comunidade de Camargos para a revitalização da cachoeira. Também foi informado que a equipe de Engenharia já estava trabalhando no desenvolvimento de um projeto básico/conceitual. A coordenação da Câmara Técnica solicitou à Fundação Renova que a CT-GRSA e a Prefeitura de Mariana fossem incluídas nas reuniões com a comunidade para discussão do assunto, e que o Projeto Conceitual fosse protocolado.

O Projeto Conceitual, protocolado junto à CT-Rejeitos, através do ofício OFI.NII.082018.3908, foi então elaborado considerando o mapa construído pela comunidade e apresentado à mesma na reunião ocorrida em 15/09/2018. A partir de então, iniciou-se a elaboração do Projeto Executivo e o processo de licenciamento ambiental.

A apresentação do primeiro Projeto Executivo da revitalização da Cachoeira Camargos à comunidade ocorreu em 22/02/2019, em formato audiovisual, oportunidade na qual, o projeto foi validado, como consta na Ata da Reunião de Diálogo.

Os documentos citados podem ser encontrados no **Apêndice A**.

### **Licenciamento Ambiental**

A Fundação Renova iniciou o processo de licenciamento referente ao desassoreamento da Cachoeira Camargos apresentando à Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), em 17/09/2018, o Formulário de Caracterização do Empreendimento (FCE Nº S163725/2018), através do ofício SEQ 4520-106/2018/GJU. Na sequência, foi emitido o Formulário de Orientações Básicas (FOB Nº 0663628/2018), informando os documentos necessários para a regularização de tais intervenções.

A revitalização da cachoeira esteve em pauta na 26ª Reunião Ordinária da CT-GRSA, em outubro de 2018, onde se discutiu a respeito da disposição final dos sedimentos retirados da área da cachoeira. A Fundação Renova informou que pretendia utilizar, para este fim, a área da ADME01, de propriedade da Samarco, a pouco mais de 5 km do local. Porém, a SEMAD ressaltou que tal área não poderia receber rejeitos, uma vez que estava licenciada no âmbito da LOC do Complexo de Germano. A SEMAD ainda informou que regularizações referentes às áreas de disposição final poderiam ser feitas pela própria prefeitura de Mariana e sugeriu que o material retirado da cachoeira fosse depositado na ADME da Nova Bento Rodrigues, a cerca de 15,5 km do empreendimento.

A formalização do processo para solicitação do Documento Autorizativo para Intervenção Ambiental (DAIA) ocorreu em 22/11/2018, onde a Fundação Renova apresentou, através do ofício SEQ 4520-121/2018/GJU, a documentação necessária indicada anteriormente. Na mesma data, também foi solicitado o pedido de outorga para desassoreamento e reconstituição da Cachoeira Camargos pelo ofício SEQ 4520-122/2018/GJU.

Em resposta à solicitação referente ao DAIA, em 29/11/2018, foi emitido o primeiro pedido de informação complementar pelo ofício SUPPRI-SURAM-SEMAD-SISEMA Nº 243 2018. A Fundação Renova apresentou as complementações solicitadas no ofício SEQ 4520-123 2018/GJU. O processo de obtenção do DAIA seguiu, então, pela regional do Instituto Estadual de Florestas (IEF) de Ouro Preto, através do Protocolo 09090000153-19.

Durante a 30ª Reunião Ordinária da CT-GRSA, em 01/02/2019, foi relatado o andamento dos projetos, com registros fotográficos de antes e depois do rompimento, e imagens do projeto a ser aplicado. Após apresentação, representantes do IBAMA fizeram críticas ao projeto, principalmente sobre as áreas construídas em APP, ressaltando a inadequação ambiental. Na ocasião, a CT-Rejeitos ressaltou que o projeto seguia protocolado no IEF para avaliação da aderência da proposta à legislação ambiental.

A outorga referente a dragagem, limpeza e desassoreamento (Portaria de Outorga nº 1102282 2019) foi concedida em 26/02/2019 e sua validade é até 26/02/2024.

Todavia, o processo de obtenção do DAIA continuava em andamento. Em 27/05/2019, foi realizado um primeiro pedido de Informação Complementar do processo sob tutela do IEF de Ouro Preto, através do ofício Nº 016 2019/AAMA de Ouro Preto, solicitando diversos esclarecimentos técnicos sobre o processo.

Nesse cenário, o projeto ora apresentado contemplava diversas estruturas dentro da área de APP, não previstos na legislação, como ressaltado na 30ª Reunião Ordinária da CT-GRSA. Em razão disso, a área de Licenciamento da própria Fundação Renova solicitou temporariamente a suspensão da análise, em 02/07/2019, para a devida adequação do projeto e atendimento ao que é previsto na legislação, como consta no ofício OFI NII 062019 6905.

No ofício Nº 020 2019/AAMA de Ouro Preto de 09/07/19, o IEF teceu algumas considerações a respeito da solicitação de suspensão temporária, ressaltando que se tratava de um processo prioritário e que a Associação dos Moradores esperava um posicionamento daquele órgão ambiental. Assim, o pedido de suspensão não foi aceito e foi solicitada à Renova uma versão adequada do projeto, com a atualização dos respectivos estudos ambientais no prazo de 30 dias.

A Fundação Renova decidiu então trabalhar com um novo cenário de planejamento, considerando as seguintes premissas:

- A execução do gramado com areia na margem esquerda não seria passível de licenciamento por se tratar de área de compensação e APP. Por outro lado, seria possível realizar a manutenção dos acessos existentes.
- A remoção do rejeito, acesso e trânsito de máquinas na margem direita é passível de licenciamento, com posterior recuperação da APP.

O pedido de Informação Complementar foi, então, integralmente atendido no dia 08/08/2019 através do ofício OFI NII 062019 6905-03.

Na 36ª Reunião Ordinária da CT-GRSA, ocorrida em 20/08/2019, a Fundação Renova informou à Câmara que o projeto apresentado inicialmente para Cachoeira Camargos foi considerado inviável por restrições do Código Florestal (Lei Estadual 20.922/2013). Informou também que a comunidade estava sendo conscientizada da decisão. Na ocasião, todos os membros concordaram que o projeto de revitalização da Cachoeira Camargos havia criado grande expectativa junto à comunidade. A Fundação Renova relatou que o projeto havia sido apresentado muitas vezes para a comunidade, inclusive com representantes dos órgãos ambientais, e que não houve esclarecimentos para a comunidade de que o projeto não poderia ser executado daquela forma.

O processo de obtenção do DAIA (nº 37880-D) foi concluído em 27/11/2019, com validade até 27/11/2021. Em 28/02/2020 foi solicitado à Secretaria de Meio Ambiente de Mariana e COMAR, a dispensa de licença para desassoreamento do curso d'água, no ofício OFI NII 022020 6905 11. A Secretaria Meio Ambiente de Mariana emitiu a Certidão de Dispensa nº 25/2020, em 16/03/2020, dispensando a atividade de desassoreamento do curso d'água de Licenciamento Ambiental e concluindo os trâmites legais para dar-se início à execução do projeto.

Os documentos para o Licenciamento Ambiental, citados neste item, são apresentados no **Apêndice B**.

### **Execução e Conclusão do Projeto**

Na 41ª Reunião Ordinária da CT-GRSA, ocorrida 20/02/2020, foi informado pela Fundação Renova que a contratação da empresa executora para os serviços de remoção de rejeito já estava em andamento. Todavia, devido às chuvas as obras ainda não poderiam ser iniciadas.

O projeto de revitalização foi apresentado à comunidade em 28/02/2020. Neste momento, a Fundação Renova reforçou que o novo projeto contemplou apenas as ações de recuperação da cachoeira que tivessem aderência com a legislação ambiental, isto é: dragagem do rejeito, conformação do poço principal atingido e roçada/limpeza da área para garantia do acesso pela trilha já existente. Em reunião ocorrida em 13/07/2019, a Fundação Renova já havia informado à comunidade que o projeto de recuperação da cachoeira, tal qual havia sido construído coletivamente, não poderia ser licenciado pelos órgãos ambientais responsáveis, que solicitaram um novo projeto levando em consideração apenas a reparação do bem coletivo.

As atividades para a recuperação da cachoeira tiveram início em 06/03/2020, com mobilização e treinamento da mão de obra, construção do canteiro e locação da obra e acessos. Somente após a dispensa ambiental concedida pela Prefeitura de Mariana, em 16/03/2020, as atividades relacionadas ao desassoreamento poderiam ser iniciadas. Todavia, devido ao contexto de pandemia pela COVID-19, todas as atividades foram paralisadas entre as datas de 18/03/2020 a 13/05/2020. A retomada ocorreu seguindo todas as recomendações apontadas pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e da Secretaria Municipal de saúde de Mariana e as obras foram finalizadas em 22/06/2020, com a desmobilização do canteiro. Detalhes das ações executadas serão abordados na Seção 4 deste Relatório Técnico.

A obra foi entregue à prefeitura de Mariana, em 29/06/2020, como parte das ações de reparação previstas nas cláusulas 150 a 157 do Termo de Transação e Ajustamento de Conduta ("TTAC").

Durante a 47ª Reunião Ordinária da CT-GRSA, de 18/08/2020, foi apresentado pela Fundação Renova o histórico do projeto até sua conclusão. Informou-se também que foram removidas aproximadamente 68 toneladas de material, que após caracterização (discutida em detalhes na Seção 5.1.2), foi enviado ao aterro sanitário compatível com o recebimento de resíduo Classe II A, de responsabilidade da empresa Essencis Soluções Ambientais. Também nesta reunião, a CT foi informada de que a Fundação Renova estava executando o monitoramento da qualidade de água superficial desde outubro de 2018.

Todavia, representantes da FEAM/CT-GRSA ressaltaram que o projeto da recuperação da Cachoeira Camargos se encontra no âmbito do PG-23, e como tal, todas as ações deveriam ser validadas pelo CIF, com respaldo da CT-Rejeitos. Assim, foi definido que a Fundação Renova deve enviar todas as informações, em forma de um relatório técnico, constando o passo a passo da recuperação ambiental da área, para avaliação da adequação das ações e proposições de novas intervenções, caso necessário. Também deve ser apresentado a proposta de monitoramento e caracterização do solo e sedimento nas áreas do poço e adjacentes.

Tais solicitações estão descritas nos Encaminhamentos 47.4 e 47.5 da Minuta da ata da 47ª Reunião Ordinária da CT-GRSA (Revisão 03) e constituem a principal motivação do presente Relatório Técnico.

Os documentos citados encontram-se reproduzidos no **Apêndice A**.

### **Programa de Monitoramento Hídrico**

Em reunião ocorrida em 21/06/2018, a comunidade solicitou como alternativa de manejo a remoção mecânica de rejeitos, na área do poço principal da cachoeira e o monitoramento da qualidade da água. O monitoramento teve início em outubro de 2018, sendo paralisado apenas entre abril de 2020 e julho de 2020, período no qual estavam sendo realizadas as atividades de recuperação do poço principal da cachoeira.

A comunidade de Camargos tem clareza de que o monitoramento na Cachoeira Camargos não é de responsabilidade da Fundação Renova, uma vez que a maior preocupação em relação à qualidade da água superficial está relacionada ao lançamento de esgoto in natura por algumas residências da localidade, e que a própria associação comunitária pode conduzir esta questão.

O desenvolvimento deste Relatório Técnico considerou os dados até então disponibilizados, que abrangem o período de outubro de 2018 a setembro de 2021, incluindo o cenário anterior e posterior à intervenção na cachoeira, que ocorreu entre março e junho de 2020. As amostras coletadas foram analisadas pela empresa *Mérieux NutriSciences*, entre outubro de 2018 e março de 2020 e pela empresa ALS Ambiental a partir de agosto de 2020. Ambos os laboratórios são acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO) em conformidade com a norma ABNT ISO IEC 17025/2017, e possuem sistema de gestão de qualidade analítica.

As amostras da água a montante e jusante da Cachoeira foram submetidas à caracterização físico-química e microbiológica e incluiu a determinação dos seguintes parâmetros:

- **Metais:** Alumínio (Al), Bário (Ba), Chumbo (Pb), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Arsênio (As), Cádmio (Cd), Níquel (Ni), Ferro (Fe) e Selênio (Se);
- **Parâmetros biológicos:** Coliformes Totais, *Escherichia coli*, *Streptococcus fecalis*;
- **Parâmetros químicos:** pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo (P), Sulfato, Sulfeto e Sulfeto de Hidrogênio não Dissociado (H<sub>2</sub>S), Cloreto, Cianeto total;
- **Parâmetros físicos:** Cor Aparente, Turbidez, Temperatura, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT).

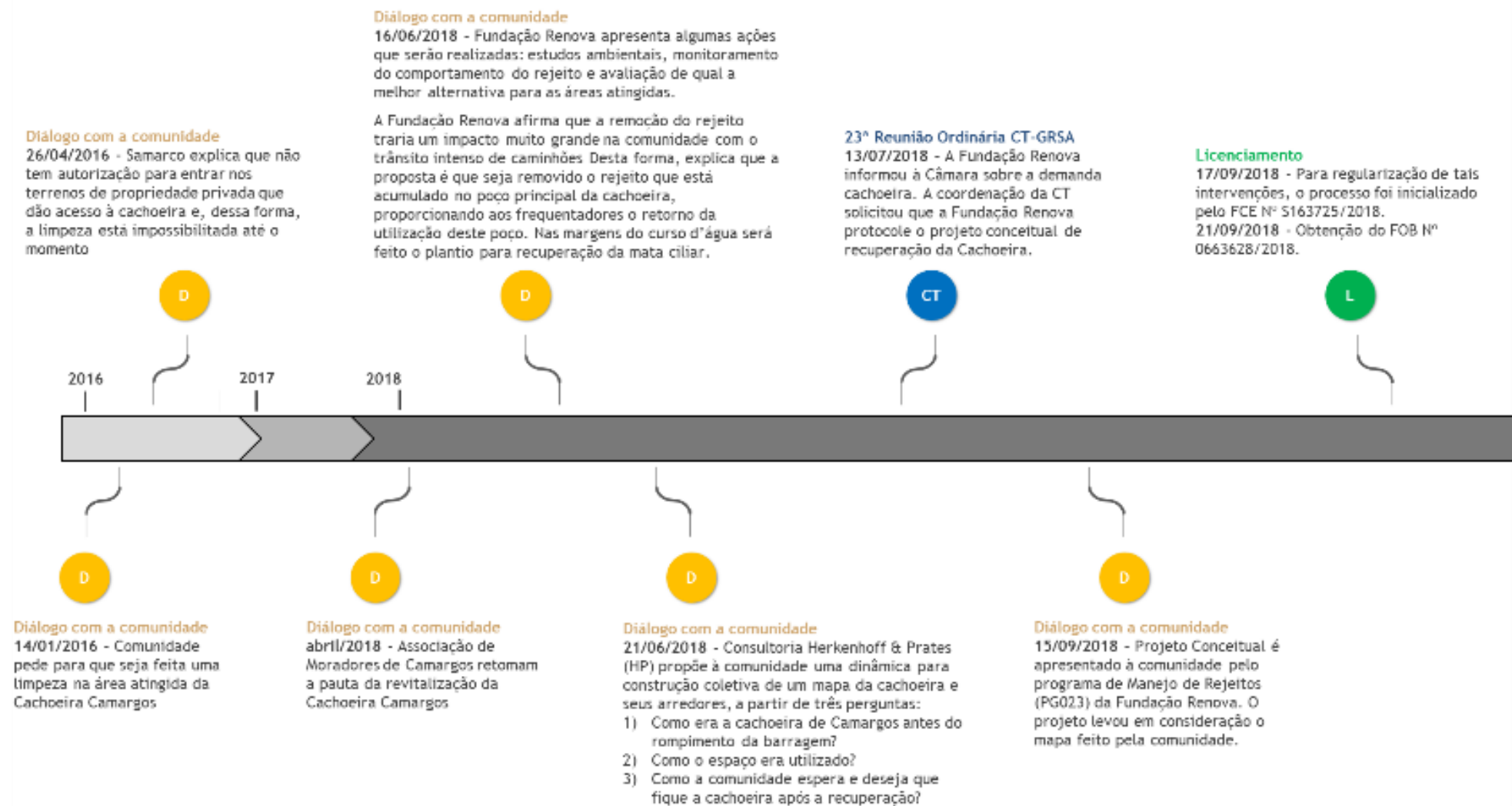


Figura 3.1: (Parte 1/4) Linha do tempo do projeto de revitalização da Cachoeira Camargos, abordando os principais acontecimentos envolvendo os diálogos com a comunidade, licenciamento ambiental e trâmites na CT-Rejeitos. (Fonte: SRK, 2020)

#### 26ª Reunião Ordinária CT-GRSA

05/10/2018 - Fundação Renova informa que ficou definido a retirada de todo o rejeito do poço impactado e revitalização do entorno com a criação de uma praia artificial e melhorias da revegetação.

A disposição final dos sedimentos retirados da área da cachoeira foi discutida. Inicialmente, a Fundação sugere a utilização da ADMEQ01. Porém, a SEMAD ressalta a impossibilidade e sugere que o material retirado da cachoeira seja depositado na área de disposição da nova Bento Rodrigues, já licenciado.

#### Licenciamento

29/11/2018 - 1º pedido de informação complementar (OFI SUPPRI-SURAM SEMAD-SISEMA N° 243/2018) em resposta à solicitação do DAIA.  
10/12/2018 - Resposta ao pedido de informação complementar, através do ofício SEQ 4520 123 2018/GJU.

#### Diálogo com a comunidade

22/02/2019 - Apresentação do projeto executivo da recuperação da cachoeira de Camargos em formato audiovisual. A comunidade validou o projeto

#### Licenciamento

26/02/2019 - Obtenção da Outorga (Portaria de Outorga n° 1102282-2019 referente a Dragagem, Limpeza e Desassoreamento), válida até 26/02/2024.

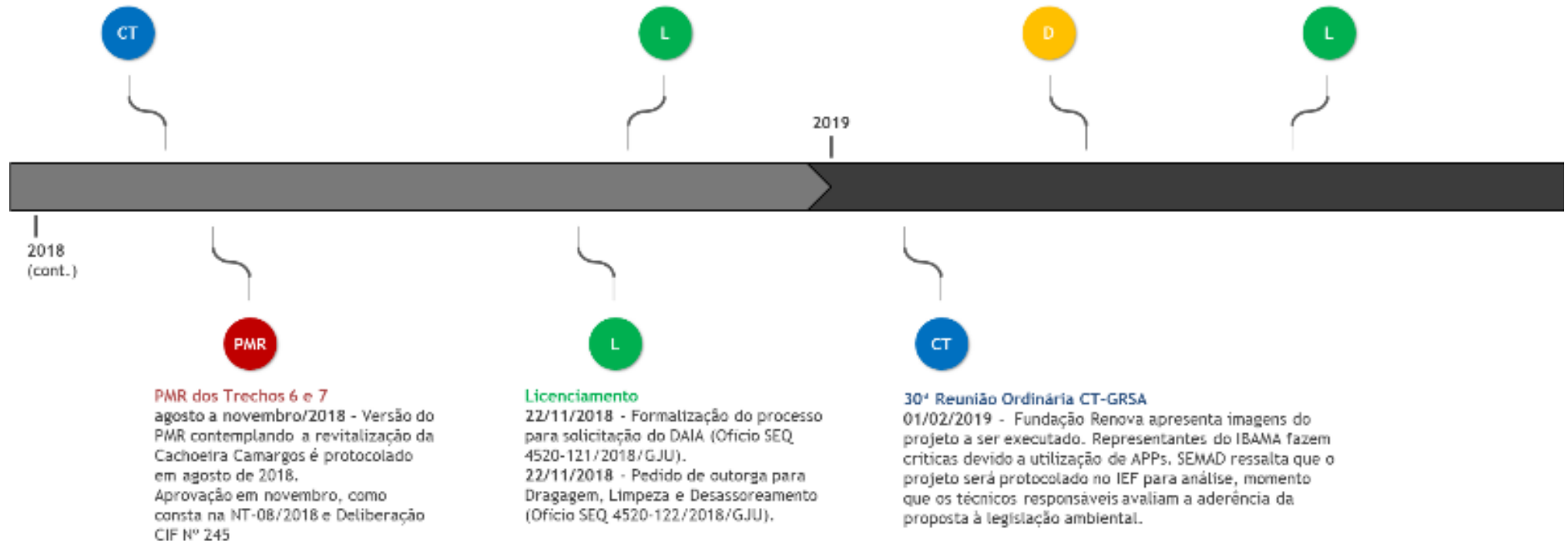


Figura 3.1: (Parte 2/4) Linha do tempo do projeto de revitalização da Cachoeira Camargos, abordando os principais acontecimentos envolvendo os diálogos com a comunidade, licenciamento ambiental e trâmites na CT-Rejeitos. (Fonte: SRK, 2020)

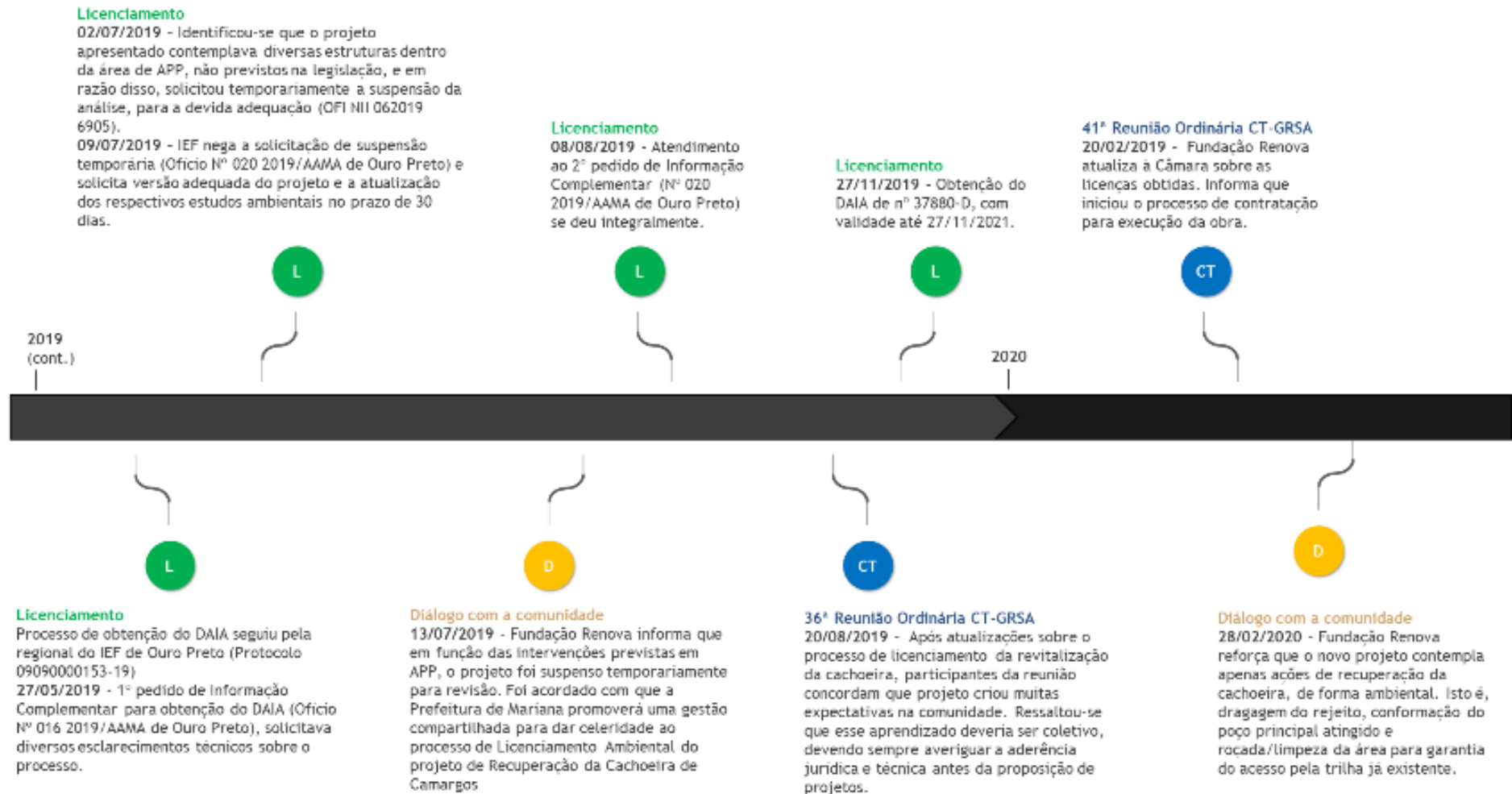


Figura 3.1: (Parte 3/4) Linha do tempo do projeto de revitalização da Cachoeira Camargos, abordando os principais acontecimentos envolvendo os diálogos com a comunidade, licenciamento ambiental e trâmites na CT-Rejeitos. (Fonte: SRK, 2020)

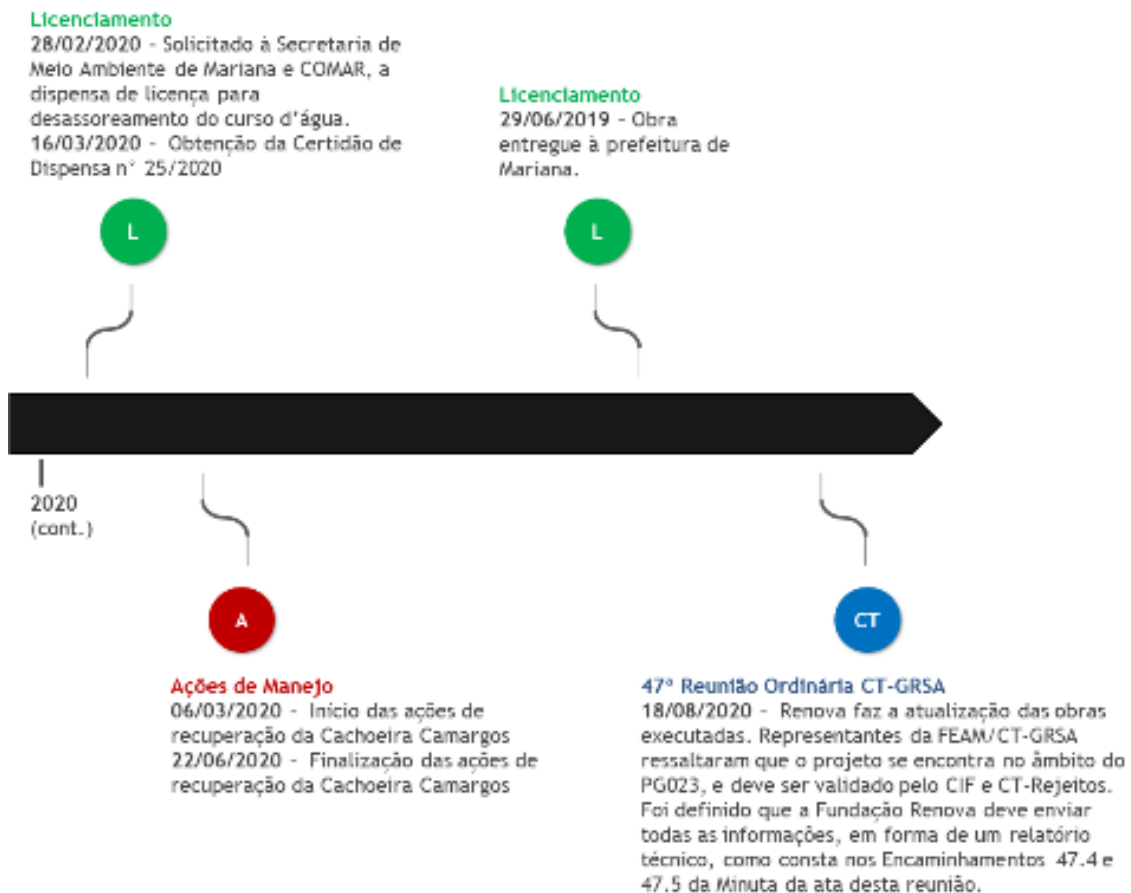


Figura 3.1: (Parte 4/4) Linha do tempo do projeto de revitalização da Cachoeira Camargos, abordando os principais acontecimentos envolvendo os diálogos com a comunidade, licenciamento ambiental e trâmites na CT-Rejeitos. (Fonte: SRK, 2020)

## 4 Ações de Manejo

Esta cachoeira possuía uma queda d'água de cerca de 0,5 m, vários pequenos lagos, e um escorregador natural. Seu poço principal possuía aproximadamente 35 m de perímetro, com profundidade média de 1 m. Após o rompimento, a altura da queda d'água não foi alterada, porém o poço estava assoreado, com sua área de recreação comprometida.

Os tópicos a seguir apresentam as ações de revitalização da Cachoeira Camargos, abordando desde a concepção do projeto, a execução das ações de intervenção até a disposição final do material retirado.

### 4.1 Levantamento de campo

A inspeção de campo teve como principal objetivo o levantamento dos dados inerentes aos projetos. Para a execução dos trabalhos de recuperação da cachoeira em questão, o levantamento planialtimétrico e dados de sondagem foram necessários para o reconhecimento dos perfis de rebaixamento do solo e estimativa de volume de sedimento a ser retirado do local.

#### 4.1.1 Topobatimetria

O levantamento topobatimétrico na Cachoeira Camargos foi realizado entre os dias 27/05/2018 e 05/06/2018 pela empresa ENGENHARIA CF Topografia e Aerofotometria.

Iniciaram-se os trabalhos pela batimetria, com utilização de GPS Geodésico Javad, modalidade RTK (*Real Time Kinematic*). Utilizaram-se alvos de cal em solo para garantir o georreferenciamento no processamento das imagens aéreas. Em seguida, foi executado o voo com o drone Phantom 4 Pro.

As imagens foram pós-processadas através do software Pix4D obtendo como produto ortofoto e Modelo Digital de Superfície (MDS). Após essa etapa os dados foram refinados; a vegetação foi filtrada e foram adicionados os dados da batimetria, gerando o Modelo Digital de Terreno (MDT). O sistema de coordenadas utilizado foi o SIRGAS 2000, 23S, altitude ortométrica Imbituba-SC. Alguns destes produtos são apresentados no **Apêndice B**.

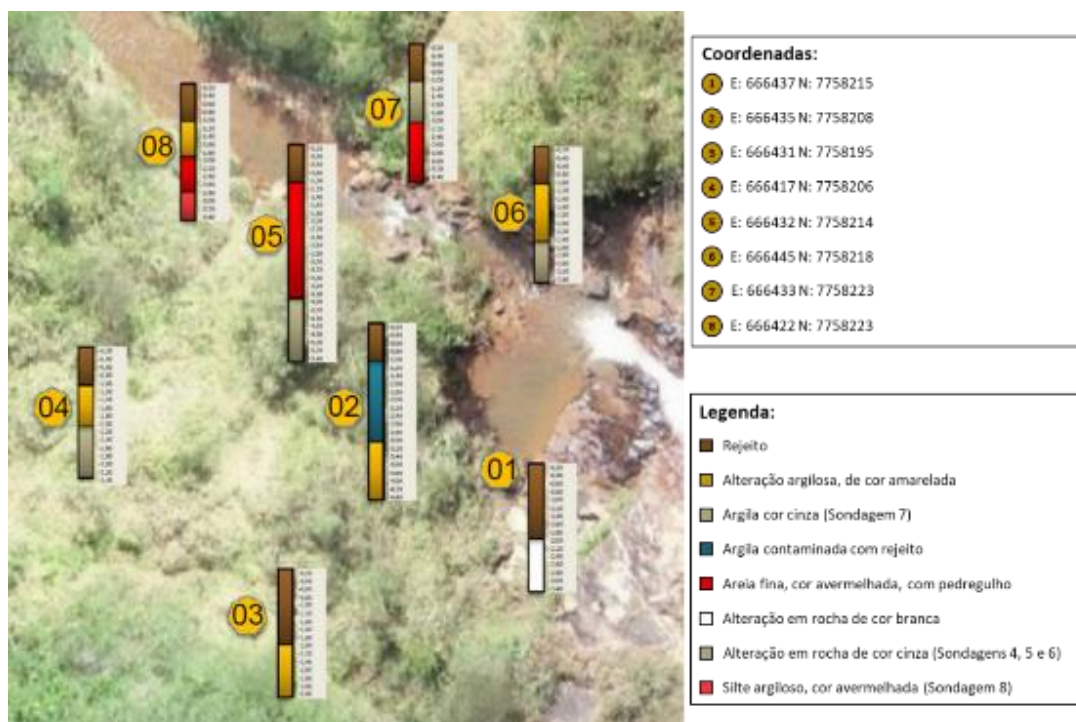
#### 4.1.2 Sondagem

As atividades de sondagem de simples reconhecimento com SPT (*Standard Penetration Test*) foram realizadas entre os dias 24/07/2018 e 26/07/2018 pela empresa SOLOS ENGENHARIA a pedido de EMFLORTEC.

Os procedimentos utilizados durante a realização de sondagem e ensaio SPT foram conduzidos com base nos procedimentos descritos pela NBR 6484/2001 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio.

Os ensaios foram realizados a cada metro de profundidade através do amostrador padrão, onde após a recuperação de testemunhos as amostras foram acondicionadas em recipientes próprios e armazenadas para consulta futura. As perfurações foram interrompidas quando o furo ultrapassou cerca de um metro abaixo da base do sedimento, isto é, após perfurar todo o rejeito, a sonda aprofundou mais um metro, já no solo natural. O objetivo foi determinar a profundidade atingida pela mistura rejeito/sedimento, depositada no local em decorrência do rompimento da barragem de Fundão.

Ao todo, foram realizados 8 (oito) furos de sondagem em uma área de cerca de 400 m<sup>2</sup>. Verificou-se que a camada de rejeito alcançou uma altura média de 1 m nos pontos realizados, abaixo dela, encontrou-se o solo primitivo existente antes do assoreamento, como apresentado na Figura 4.1



**Figura 4.1: Representação dos perfis de sondagem realizados no poço da Cachoeira Camargos. Fonte: EMFLORTEC, 2018 (Adaptado por SRK Consulting)**

De posse da profundidade média do rejeito no entorno da cachoeira e o estabelecimento da área de alargamento do lago, estimou-se que o volume de rejeito retirado seria da ordem de 80 m<sup>3</sup>.

Detalhes das sondagens realizadas e fotografias das inspeções de campo podem ser visualizados no **Apêndice B**.

## 4.2 Projeto Conceitual

O Projeto Conceitual foi elaborado com o intuito de apresentar à comunidade e aos órgãos ambientais as etapas previstas para reconstituição socioambiental da Cachoeira Camargos, de forma a atender tanto os requisitos ambientais legais quanto às solicitações da população.

A seguir, são apresentados brevemente os procedimentos idealizados para a execução da revitalização da Cachoeira Camargos e que compuseram o Projeto Conceitual (EMFLORTEC, 2018):

### 1. Estudo da área:

Através do levantamento planialtimétrico e de sondagem foram gerados os perfis de rebaixamento do solo dentro da área analisada e estimado o volume de sedimento a ser retirado. Os dados de sondagem também foram utilizados para estabelecer as declividades ideais dos taludes;

### 2. Estudo do lago e seus entornos:

Constatou-se que a margem direita possuía uma composição de rochas e que assim deveria permanecer. A margem esquerda era composta por camada de rejeito estabilizado e deveria receber recomposição com

areia, na forma de espriamento. A partir da margem da areia seguiria uma área de gramas batatais entre o lago e a vegetação natural do local.

### **3. Retirada do rejeito:**

Propôs-se dois procedimentos para a retirada do rejeito: o rejeito aquoso, localizado no fundo e nas laterais do lago, seria conduzido para a caçamba dos caminhões, por bombas de sucção; o rejeito sólido, retirado do entorno da lagoa, seria removido com o uso de retroescavadeira.

#### **Observações:**

- 1) Ressalta-se que durante a execução do projeto, devido a dificuldades técnicas, optou-se pela retirada do rejeito mole também por retroescavadeiras.
- 2) Ao fim, após a caracterização do rejeito, o rejeito foi destinado para aterro sanitário licenciado pela empresa Essencis. A licença ambiental encontra-se no **Apêndice D**.

### **4. Reconformação dos taludes, recomposição do fundo do lago e tratamento da área do entorno:**

Planejou-se a reconformação dos taludes nas margens, com suave inclinação para que as feições fossem mais próximas possível do natural. Quanto à recomposição do fundo do lago, o material rochoso deveria ser retirado e aproveitado para reforçar o estancamento da água na saída do lago formando assim um enrocamento de rocha natural. Além da retirada das pedras, propôs-se a retirada de uma camada de cerca de 50 cm de material para se chegar na profundidade proposta.

A áreas dos entornos receberiam um *mix* de semente, aplicados manualmente, composto por gramíneas e leguminosas. A área mais afastada do lago, receberia o plantio de nativas e frutíferas.

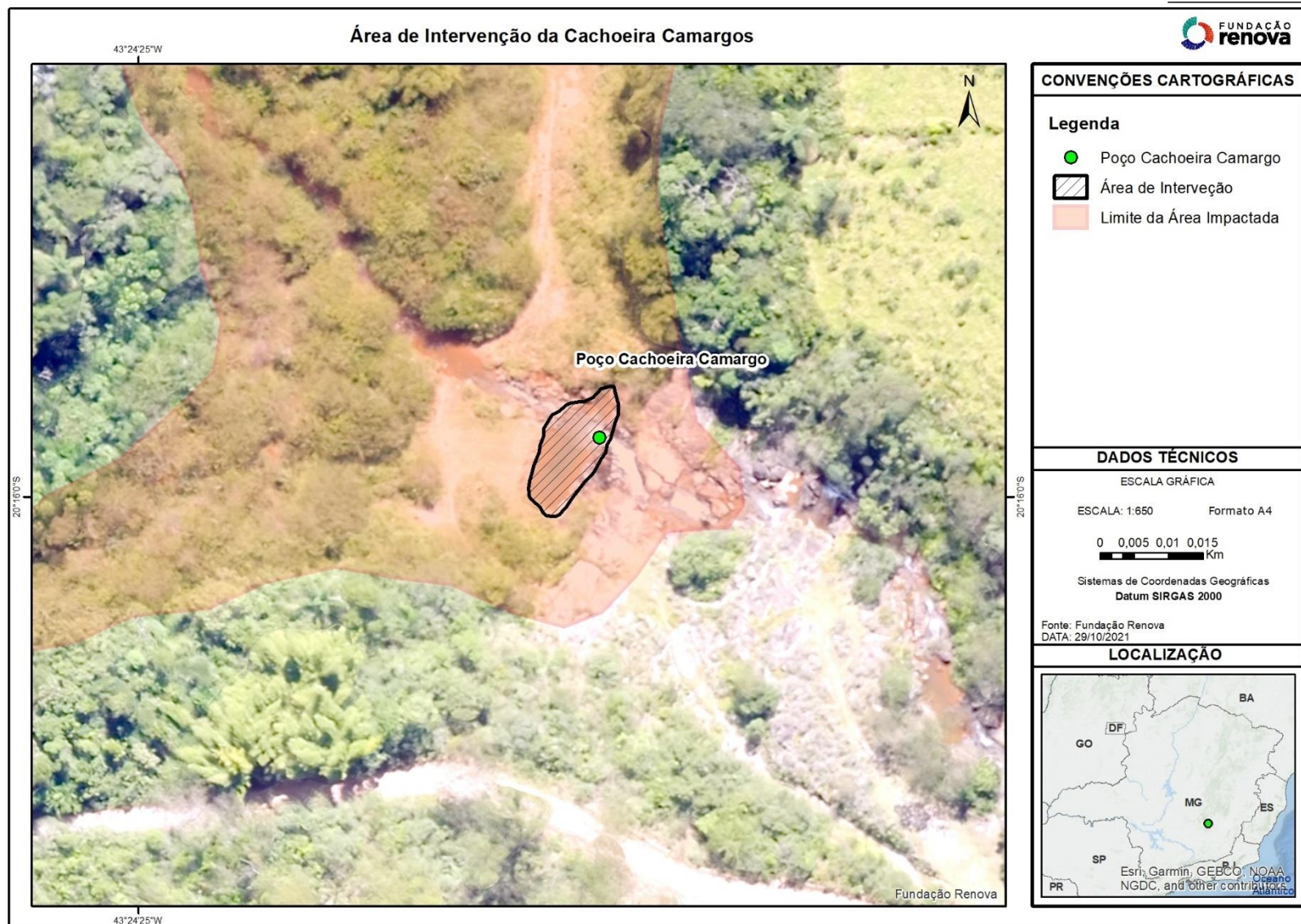
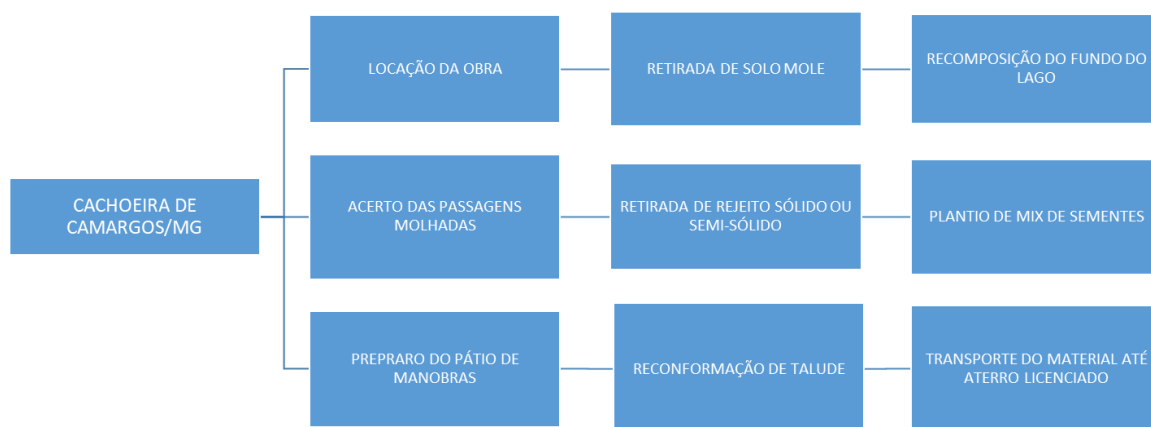


Figura 4.2: Área de intervenção da Cachoeira Camargos. Fonte: Fundação Renova

## 4.3 Ações executadas

As ações de recuperação da Cachoeira Camargos são apresentadas na Figura 4.3.



**Figura 4.3: Apresentação das ações de recuperação da Cachoeira Camargos. (Fonte: Fundação Renova, 2020)**

O serviço de revitalização foi executado pela empresa JM REFLORESTAMENTO entre os dias 06/03/20 e 22/06/20. O cronograma de execução da obra sofreu paralisação no período de 18/03/20 a 13/05/20, devido ao contexto de pandemia do COVID-19. A retomada das atividades deu-se atendendo integralmente às recomendações da OMS e Secretaria de Saúde de Mariana para evitar o contágio dos trabalhadores e da comunidade local.

Nos tópicos a seguir são detalhadas as ações de recuperação, bem como as atividades necessárias para a execução das obras.

### 4.3.1 Limpeza dos acessos

O acesso ao local se deu por uma passagem de aproximadamente 200 m, já existente dentro da propriedade, conforme indicado nas Figura 4.4 e Figura 4.5.

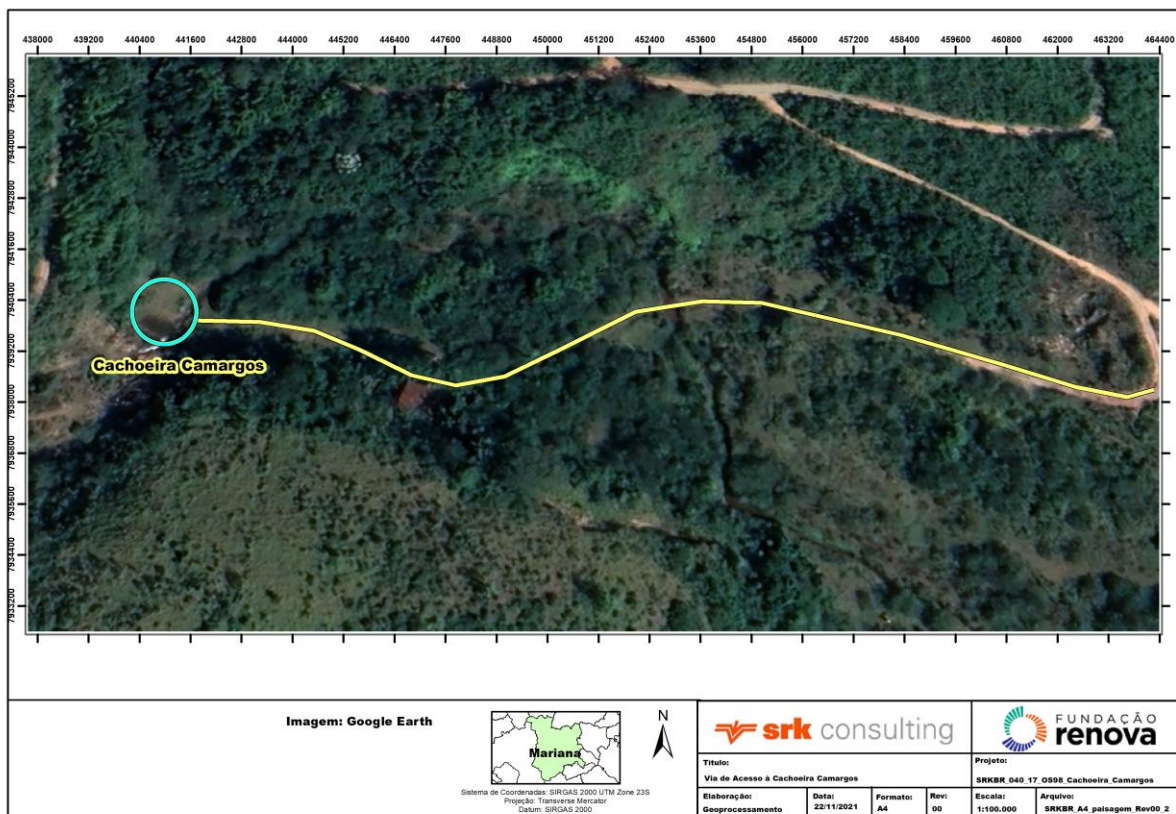


Figura 4.4: Via de acesso à Cachoeira Camargos



Figura 4.5: Fotografias da via de acesso à Cachoeira Camargos, antes do serviço de limpeza (Fonte: EMFLORTEC, 2019)

As vias de acesso se encontravam cobertas por gramíneas e leguminosas resultados do mix de sementes do período emergencial, sendo necessário uma limpeza para garantir o acesso de veículos e máquinas ao local da obra. Assim, iniciou-se a limpeza dos acessos, com auxílio de máquina carregadeira, em março de 2020. Devido à pandemia do COVID-19, as atividades foram paralisadas e retomadas dois meses depois, com todos os cuidados necessários. O serviço de limpeza foi concluído em 14/05/2020. Alguns registros fotográficos são apresentados na Figura 4.6.

O material retirado era composto principalmente de folhas e galhos secos, e foi depositado no próprio terreno por se tratar de matéria orgânica natural de fácil decomposição. O caminho a ser limpo não suprimiu quaisquer tipos de árvores, respeitando o traçado já existente.



**Figura 4.6:** Fotografias da execução do serviço de limpeza dos acessos (Fonte: Fundação Renova, 2020a)

### 4.3.2 Acerto da passagem molhada

Para garantir o acesso dos veículos, máquinas e caminhões foi necessário realizar a conformação de uma passagem molhada, isto é, uma via de acesso cortada pelo córrego. A passagem molhada já era usada pelo próprio proprietário do terreno, uma vez que se trata da única forma de acesso à sede da propriedade. A Figura 4.7 apresenta a indicação da localização da Passagem 01.



**Figura 4.7:** Ortofoto da Cachoeira Camargos indicando o local da passagem molhada (Fonte: EMFLORTEC, 2019)

A Passagem 01 possuía cerca de 60 m<sup>2</sup>, com aproximadamente 4 m de largura e 15 m de comprimento. A Figura 4.8 apresenta a situação desta passagem molhada antes das intervenções.



**Figura 4.8: Situação da Passagem 01 antes da conformação (Fonte: EMFLORTEC, 2019)**



**Figura 4.9: Passagem molhada durante conformação (Fonte: JM REFLORESTAMENTOS, 2020)**

O serviço de conformação foi realizado entre os dias 13/05/2020 e 18/05/2020. Para a execução desta atividade foi utilizada máquina carregadeira. Os registros fotográficos são apresentados na Figura 4.9.

### 4.3.3 Preparo do Pátio de Manobras

Para manobrar os caminhões e carregá-los com material retirado do fundo do lago, preparou-se um pátio provisório de cerca de 400 m<sup>2</sup>. A área escolhida estava localizada próximo à margem direita do córrego, entre a cachoeira e a sede da propriedade, como apresentado na Figura 4.10.

O pátio passou por uma limpeza, de forma semelhante à via de acesso, com auxílio de pá carregadeira sem a necessidade de supressão de vegetação de grande porte. Esta atividade ocorreu entre os dias 14 e 19/03/2020. Os registros fotográficos são apresentados na Figura 4.11.



Figura 4.10: Localização do pátio provisório de manobra (Fonte: EMFLORTEC, 2019)

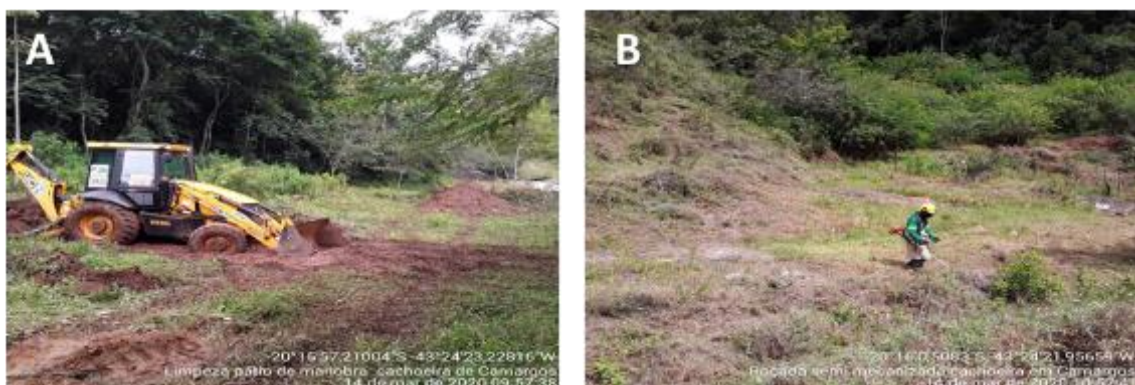


Figura 4.11: Limpeza do pátio provisório de manobra (Fonte: Fundação Renova, 2020a)

### 4.3.4 Locação da obra

A locação da obra é a primeira etapa de execução, onde ocorre a transferência dos elementos da planta baixa de uma edificação para o terreno em que será realizada a obra. Com base nas definições de projeto

e observando toda a ocupação dos espaços da cachoeira e seu entorno, o serviço de topografia realizou a locação da área ocupada em 13/05/2020.

A Figura 4.12 apresenta os registros fotográficos da execução desta atividade.



**Figura 4.12: Locação da Obra. (Fonte: Fundação Renova, 2020a)**

### 4.3.5 Retirada do Rejeito e Desassoreamento

A retirada do rejeito foi planejada de acordo com a umidade em que se encontrava, isto é, (i) rejeito aquoso (solo mole) e (ii) rejeito sólido ou semi-sólido. Após a remoção do rejeito, foi realizada a recomposição dos taludes nas margens do lago principal. O processo de desassoreamento encontra-se descrito nos itens a seguir.

#### **Retirada do rejeito aquoso**

Para evitar que o revolvimento do material depositado no fundo do lago fosse carregado para outras localidades, elevando a turbidez nas localidades a jusante da cachoeira, foram construídos duas pequenas contenções de finos, conforme indicado na Figura 4.13, um na parte mais alta, logo abaixo do poço, e outro próximo à passagem molhada. Esta atividade foi executada entre os dias 13 e 18/05/2020.

Na sequência, no dia 19/05/2020, iniciou-se a retirada do rejeito localizado no fundo e nas laterais do lago. Inicialmente, estava previsto no Memorial Descritivo, o uso de bombas de sucção para a retirada do rejeito. Todavia, devido às dificuldades técnicas de execução, optou-se pela retirada com auxílio de escavadeiras e retroescavadeiras, como indicado na Figura 4.14.

Juntamente com a retirada do rejeito, realizou-se uma recomposição do fundo do lago com a retirada de uma camada de 50 cm de sedimento natural. O material retirado foi acondicionado às margens do poço, onde permaneceu até que toda água misturada ao rejeito fosse escoada, e posteriormente foi levado até o pátio de manobra, para carregamento dos caminhões e transporte até o aterro licenciado.

A parte mais baixa da área de manobra continha um sulco triangular (do tipo sarjeta) em nível, como esquematizado na Figura 4.15, capaz de reter a água escoada, caso o rejeito não estivesse completamente seco. Desta forma, evitou-se que a estrada fosse impactada pelo caldo do rejeito que poderia escorrer pelos caminhões.



**Figura 4.13: Construção do dique para retenção do material fino (Fonte: JM REFLORESTAMENTO, 2020)**



Figura 4.14: Retirada do rejeito da cachoeira e recomposição do fundo do lago (Fonte: Fundação Renova, 2020a)

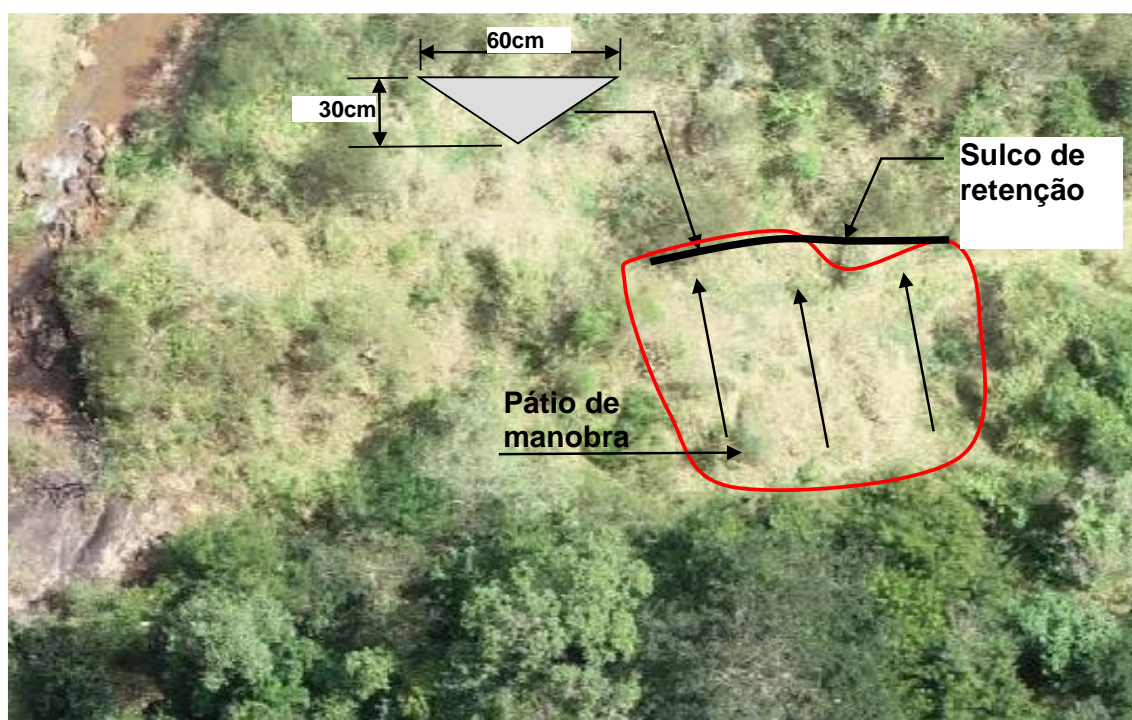
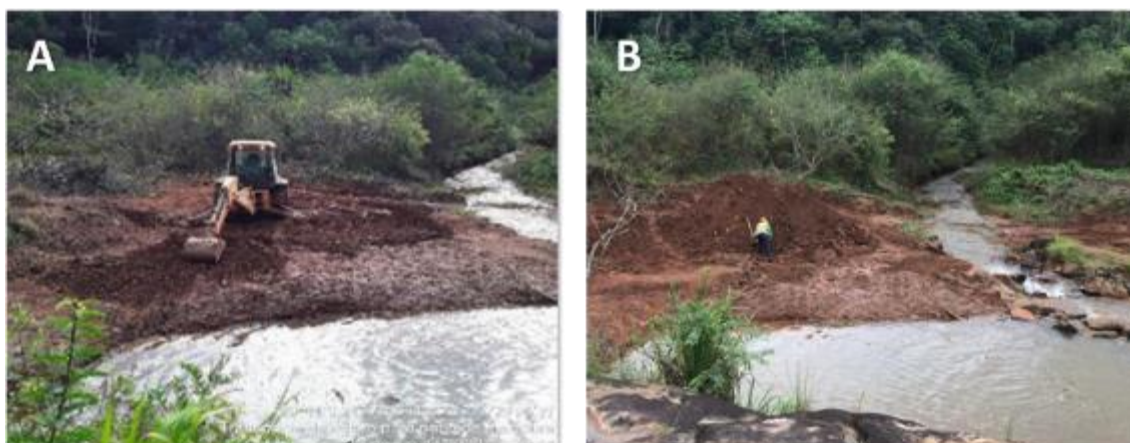


Figura 4.15: Sulco triangular (do tipo sarjeta) para contenção do caldo do rejeito aquoso escorrido dos caminhões (Fonte: EMFLORTEC, 2019)

#### Retirada do rejeito sólido e/ou semi-sólido

Em maio de 2020, o rejeito localizado fora do poço, classificado como sólido e/ou semi-sólido, foi retirado com uso de ferramentas manuais como enxadas, enxadões, pás, picaretas ou com o uso de máquinas retroescavadeiras, como na Figura 4.16. Na sequência, foi acondicionado às margens e, posteriormente, conduzido para o pátio de manobras, de modo semelhante à retirada de solo mole, até a destinação final.



**Figura 4.16: Retirada do rejeito sólido ou semi-sólido (Fonte: Fundação Renova, 2020a)**

### **Reconformação do talude**

Nas margens do curso d'água onde o rejeito foi retirado, foi realizada a reconformação do talude com inclinação média de 1:2 (V:H), considerada uma inclinação suave e próxima do natural. A localização do talude é indicada na Figura 4.17.

O trabalho foi realizado em maio de 2020, de forma manual, com auxílio de pás e enxadas. A Figura 4.18 apresenta alguns registros fotográficos desta atividade.



**Figura 4.17: Direção do talude formado (Fonte: EMFLORTEC, 2019)**

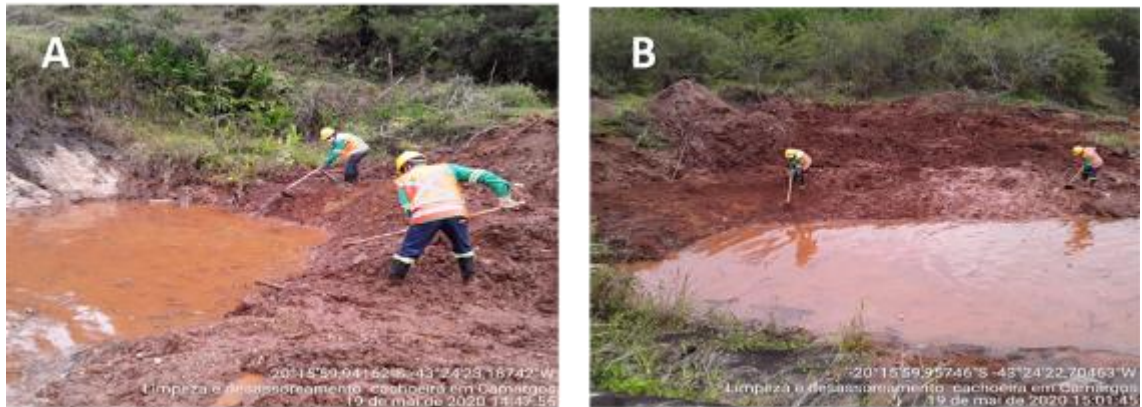


Figura 4.18: Reconformação manual do talude (Fonte: Fundação Renova, 2020a)

### 4.3.6 Plantio de *mix* de sementes

Os taludes e áreas do entorno do lago foram recobertos com *mix* de sementes, composto por gramíneas e leguminosas. Inicialmente, estava previsto o plantio de mudas nativas. Todavia, realizou-se a troca por *mix* de sementes, a pedido do Sr. Adriano, proprietário da área.

Realizou-se, em 19/06/2020, a aplicação de biomantas e preparação do solo, com correção de acidez. Na sequência, no dia 22/06/2020, o *mix* de semente foi manualmente aplicado. Nas primeiras semanas após a aplicação, foi feita a manutenção da área semeada para garantir a germinação. Em visita ao local no dia 06/07/2020 foi possível observar o resultado da revegetação, com o aparecimento da cobertura vegetal.

A Figura 4.19 apresenta alguns registros fotográficos desta atividade.



**Figura 4.19: Correção do solo (A), plantio de mix de sementes (B), manutenção (C) e germinação (D). Fonte: Fundação Renova, 2020a**

### 4.3.7 Canteiro de obras

Para que toda a obra fosse realizada de forma organizada e em respeito às leis trabalhistas, um canteiro de obras contendo refeitório, mictório, almoxarifado e área de higienização, foi providenciado no local.

Pela facilidade de acesso e o espaço suficiente, instalou-se em 06/03/2020 a área de vivência da JM REFLORESTAMENTOS na parte superior da Cachoeira de Camargos. A desmobilização da área de vivência ocorreu no dia 22/06/2020. A Figura 4.20 apresenta o canteiro de obra instalado.



Figura 4.20: Área de vivência da JM REFLORESTAMENTOS (Fonte: Fundação Renova, 2020b)

Quando a empresa chegou no local não existia passivo ambiental. No momento da desmobilização, a área continuava livre de passivos ambientais, conforme apresentado na Figura 4.21.

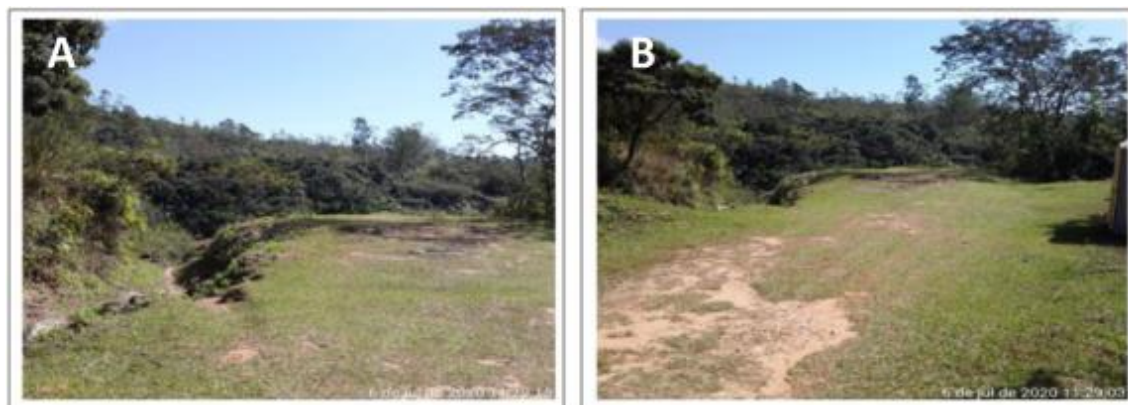


Figura 4.21: Desmobilização da área de vivência (Fonte: Fundação Renova, 2020b)

## 4.4 Disposição Final de Rejeitos

O material retirado permaneceu acondicionado próximo às margens do poço e, posteriormente, quando já se encontrava adequadamente adensado para o transporte, foi levado ao pátio de manobras. Na sequência, carregou-se a caçamba de caminhões “toco” com o material retirado, considerado o mais apropriado devido às especificações do acesso à cachoeira, como inclinação de terreno, uso de passagem molhada e manobras em locais pequenos.

A Figura 4.22 apresenta a disposição do rejeito no pátio de manobras e o carregamento dos caminhões. A retirada do material do pátio de manobra ocorreu entre os dias 17 e 19/06/2020. Após a retirada do material, prosseguiu-se com a revegetação da área, como abordado na Seção 4.3.6.



**Figura 4.22: Carregamento da caçamba de caminhão “toco” com o rejeito retirado da Cachoeira Camargos (Fonte: JM REFLORESTAMENTOS, 2020)**

Ficou acordado que o material dragado seria destinado para um aterro licenciado. Realizou-se a caracterização do rejeito conforme a normativa ABNT 10.004 – Resíduos sólidos – Classificação, classificado como resíduo Classe II-A, discutido em detalhes na Seção 6.3. Assim, após o carregamento dos caminhões, o rejeito pode ser encaminhado ao Aterro Sanitário localizado na cidade de Betim (MG), de responsabilidade da empresa Essencis Soluções Ambientais S/A, que está apto a receber resíduos de Classe II- A e II-B. Ao todo, foi retirado um total aproximado de 68 toneladas de rejeito.

O rejeito foi transportado para o aterro em três carregamentos, recebidos no local entre os dias 19 e 22/06/2020. A Tabela 4.1 a seguir, apresenta o quantitativo de rejeito transportado e seus respectivos números de registros dos documentos comprobatórios. Os comprovantes com evidências da destinação, bem como documentos de licenciamento do aterro utilizado, encontram-se no **Apêndice D**.

**Tabela 4.1: Quantitativos de rejeito transportados**

Nº Manifesto de Transporte	Quantidade estimada (kg)	Nº Certificado de Destinação Final	Quantidade pesada (kg)	Data de saída	Data de chegada
2006084722	19995	242187/2020	21790	18/06/2020	19/06/2020
2006096265	19995	242187/2020	23750	20/06/2020	20/06/2020
2006096393/ 20006146590	19995	247246/2020	22940	22/06/2020	22/06/2020

## 4.5 Entrega da obra

Após a finalização da obra e destinação do rejeito removido, a cachoeira revitalizada foi entregue à prefeitura de Mariana, no dia 29/06/2020.

Esta ação do manejo faz parte das ações de reparação previstas nas cláusulas 150 a 157 do Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (“TTAC”). O Termo de Entrega e Recebimento da Cachoeira Camargos encontra-se reproduzido no **Apêndice A**.

A Figura 4.23 apresenta a Cachoeira Camargos após a execução das obras de revitalização.

No **Apêndice E** é apresentado o projeto executivo da obra de revitalização. Devido a necessidade de campanhas de campos e coletas de novos dados para a elaboração do relatório AS IS, o prazo de entrega do mesmo foi estendido para 15 de fevereiro de 2022.



**Figura 4.23: Cachoeira Camargos após a conclusão das obras de revitalização (Fonte: fornecido pela Fundação Renova)**

## 5 Metodologia Avaliação QA/QC

As primeiras etapas para a elaboração deste estudo buscaram garantir a consistência do banco de dados através da avaliação da garantia da qualidade/controlar a qualidade (QAQC) dos dados primários levantados e identificação e exclusão de valores anômalos. A garantia da qualidade - QA (“*Quality Assurance*”) refere-se ao planejamento de métodos e técnicas e a sistematização das etapas que visam garantir a confiança no processo analítico. As atividades de controle da qualidade – QC (“*Quality Control*”) objetivam avaliar os processos de medição, análise e geração de resultados. Por diferenças sutis entre QA e QC e, muitas vezes complementares, os processos são utilizados em conjunto (QA/QC).

Inicialmente, para avaliação QA/QC do presente estudo, como parte do protocolo QAQC usualmente aplicado pela SRK, foram selecionados alguns critérios que tem como base as seguintes relações:

1. Cadeia de Custódia/Fichas de campo;
2.  *Holding Time*/Prazo de validade;
3. Brancos;
4. Duplicatas e Replicatas de campo;
5. Parâmetros Totais vs. Parâmetros Dissolvidos;
6. Limites de Quantificação (LQ) vs. Limites da Legislação;
7. QA/QC interno do laboratório: brancos e ensaio de recuperação.

Apesar de ser parte do protocolo QAQC usualmente aplicado pela SRK, para o presente estudo, devido à ausência de algumas informações e dados, não foi abordada integralmente a avaliação da abrangência e

qualidade analítica dos dados. Assim, para esta avaliação não foram avaliados os critérios: (i) Balanço Iônico, (ii) Relação STD x Condutividade Elétrica e (iii) Razão STD Medidos x STD Calculados.

A descrição de cada critério de validação é apresentada em detalhes nos tópicos a seguir.

No **Apêndice G** são apresentadas as planilhas com os resultados dessa avaliação.

## 5.1 Cadeia de Custódia/Fichas de campo

No contexto dos registros de campo, o formulário Cadeia de Custódia, é um requisito normativo de laboratório descrito em guias analíticos universais como o *Standard Methods* (APHA/WWA/WEF, 2017) assim como é um requisito da ABNT NBR ISO IEC 17025/2017. Este formulário é indispensável para garantir a correspondência entre o programa analítico planejado, e o programa de amostragem executado no campo. Ele também é indispensável para garantir a rastreabilidade das remessas de amostras do campo ao laboratório.

Ainda como documentação de registro existem as fichas de campo. Estas fichas são documentos essenciais para registrar a localização do ponto amostral, e a descrição de condições ambientais que interferem com a coleta e com a própria amostra, incluindo a eventual não realização de uma amostragem. As descrições realizadas nas Fichas de Campo são fundamentais para a produção do Relatório de Campo, em si, bem como subsidiar o entendimento de determinado resultado analítico.

Como procedimento do laboratório contratado, as fichas de campo são utilizadas também como cadeia de custódia, ou seja, ambas as informações são reportadas em um único documento.

É importante que assim que as cadeias de custódia sejam recebidas, os seguintes dados sejam tabulados para verificação: (i) Parâmetros de campo; e (ii) Temperatura de recebimento.

- a. Parâmetros de campo: pH, Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido, Potencial Redox, Turbidez
  - Atenção deve ser dada a unidades reportadas.
- b. Temperatura de recebimento
  - Registrar a temperatura das amostras no momento do recebimento pelo laboratório e apontar quais apresentaram temperatura superior a  $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  (APHA/WWA/WEF, 2017);
  - Para o caso de amostras recebidas em temperatura superior a  $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  todos os resultados daquela amostra devem ser descartados.

## 5.2 Holding Time/Prazo de validade

Embora as técnicas de preservação possam reduzir as taxas de degradação, elas não interrompem completamente essas mudanças. Todos os analitos, portanto, têm um *Holding Time*, que é o tempo máximo que pode decorrer entre a amostragem e a análise, no qual é improvável que a amostra seja significativamente modificada nas condições de preservação recomendadas.

Os resultados analíticos foram revisados para determinar se as análises foram realizadas dentro *Holding Time* (prazo de validade) de cada parâmetro, tendo como base a referência apresentada em *Standard Methods* (APHA/WWA/WEF, 2017), seguindo as premissas abaixo:

- Apontar quais amostras apresentaram *Holding Time* superior a 24 horas;
  - Parâmetros Turbidez, *Escherichia Coli* e Coliformes totais, devem ser interpretados com ressalvas quanto sua representatividade caso excedida as 24 horas.

- Apontar quais amostras apresentaram  *Holding Time*  superior a 48 horas;
  - Por não haver possibilidade de reanálise os parâmetros Sólidos Sedimentáveis, Nitrito, Nitrato, Cor aparente e DBO devem ser interpretados com ressalvas quanto sua representatividade caso excedida as 48 horas.
- Verificar e apontar se o  *Holding Time*  está em conformidade com os respectivos prazos de validade para cada parâmetro.
  - Recomenda-se a adoção dos critérios de preservação e prazo de análises mencionados no  *Standard Methods*  (APHA/WWA/WEF, 2017).

### 5.3 Duplicatas e Replicatas de campo

A coleta de duplicatas e replicatas, apesar de possuir semelhança, implica em conceitos e resultados distintos para a interpretação. Uma duplicata é uma amostra coletada duas vezes no mesmo local, em sequência. Uma replicata se trata de uma amostra coletada contendo um volume/massa maior e esta é homogeneizada e dividida em 2 alíquotas. Dessa forma, é possível avaliar a qualidade dos procedimentos de amostragem e do amostrador com o uso de duplicatas e a qualidade do laboratório com o uso de replicatas (USEPA, 2016).

A adoção do procedimento de replicatas e duplicatas cegas eleva significativamente a confiabilidade dos dados, portanto é de extrema importância que as amostras replicatas e duplicatas não sejam identificados como tal e que não recebam identificação que torna evidente tais condições (EPA, 2007).

A verificação dos resultados de amostras duplicatas e/ou replicatas passa pelo cálculo da Diferença Percentual Relativa (RPD – *Relative Percent Difference*), conforme equações abaixo (USEPA, 2010):

$$DPR (\%) = \frac{|\text{original} - \text{duplicata}|}{(\text{original} + \text{duplicata})/2} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

$$DRP (\%) = \text{original} - \text{duplicata} \quad (\text{Equação 2})$$

- Para resultados maior ou igual cinco vezes o limite de quantificação ( $\geq 5 \times \text{LQ}$ ), a DPR (%) foi calculada de acordo com a Equação 1.
- Para resultados até cinco vezes o limite de quantificação ( $< 5 \times \text{LQ}$ ), a DPR (%) foi calculada de acordo com a Equação 2.

Foram aplicados os critérios para avaliação da precisão das duplicatas conforme USEPA (2010). Os resultados foram considerados precisos quando:

- Maior ou igual a cinco vezes o limite de quantificação ( $\geq 5 \times \text{LQ}$ ), o valor de DPR foi menor que 20% para análises de matrizes líquidas e menor do que 35%, no caso de análises de amostras de matrizes sólidas.
- Até cinco vezes o limite de quantificação ( $< 5 \times \text{LQ}$ ), foi considerado que a diferença entre os valores (original e duplicata) deve ser menor ou igual do que uma vez o limite de quantificação ( $\leq \text{LQ}$ ) para amostras de matrizes líquidas, ou duas vezes o limite de quantificação ( $\leq 2 \times \text{LQ}$ ) para amostras de matrizes sólidas;

Para fins da análise, adotou-se as seguintes premissas:

- Em caso de diferentes LQs, foi adotado o LQ de maior valor como referência para a avaliação segundo os critérios acima mencionados.
- Se a diferença entre ambos os valores (original e duplicata) for menor ou igual que uma ou duas vezes o limite de quantificação ( $\leq$ LQ ou  $\leq$ 2xLQ), o resultado do DPR (%) foi relatado como <LQ ou <2xLQ; e
- Se a diferença entre ambos os valores (original e duplicata) for maior que uma ou duas vezes o limite de quantificação (>LQ ou >2xLQ), o resultado do DPR (%) foi relatado como >LQ ou >2xLQ.

Em outras palavras, na ocasião em que os resultados da amostra original e da duplicata foram menores que cinco vezes o limite de quantificação (<5xLQ), quando a diferença entre os resultados foi menor ou igual a uma vez o LQ (<LQ) para amostras de matrizes líquidas, ou duas vezes o LQ (<2xLQ), para amostras de matrizes sólidas, os resultados foram considerados precisos. Em contrapartida, quando a diferença entre a amostra original e a duplicata foi maior, os dados foram qualificados. Para estes qualificadores, os critérios não invalidam os dados, mas identificam os valores anômalos que são identificados em **negrito** no banco de dados, assim, são diferenciados dos demais. Do mesmo modo, quando os resultados da amostra original e da duplicata foram maiores ou iguais a cinco vezes o limite de quantificação ( $\geq$ 5xLQ) e a DPR foi maior que 20% para matrizes líquidas e 35% para matrizes sólidas, os resultados foram qualificados. A tabela a seguir exemplifica os critérios de qualificação dos dados:

**Tabela 5.1: Tabela resumo com os critérios de qualificação das análises das duplicatas**

<b>Critério</b>	<b>DPR</b>	<b>Ação</b>
Resultados acima de cinco vezes o limite de quantificação (>5xLQ)	>20% para matrizes líquidas e >35% para matrizes sólidas	Dado qualificado
Resultados até cinco vezes o limite de quantificação (<5xLQ)	>LQ para matrizes líquidas e >2xLQ para matrizes sólidas	Dado qualificado

Com relação ao número de duplicatas/replicatas a ser coletado em cada campanha, o Guia Nacional de coleta (CETESB e ANA, 2011) define frequência mínima de 5%. Portanto, no caso do monitoramento da Cachoeira Camargos, o ideal seria uma duplicata por campanha, assim como também sugerido pelo PMQQS (GOLDER, 2017).

## 5.4 Brancos

O uso de brancos, em seus variados tipos, é extremamente importante para confirmar a inexistência de contaminação das amostras coletadas e assim garantir a representatividade dos dados gerados. Em teoria, qualquer branco deve ser isento de qualquer elemento químico. Dessa forma, resultados de análises de qualquer branco devem ser reportados como menor que o limite de quantificação para aquele elemento analisado. Os limites de quantificação praticados têm que, obrigatoriamente, ser iguais ou menores que as legislações aplicáveis.

Os principais tipos de branco utilizados são (USEPA, 2014):

- Branco de campo e de viagem: o branco de campo é usado para a verificação de contaminações ambientais que podem estar adicionadas às amostras durante os procedimentos de coleta. O branco de viagem verifica a ocorrência de contaminação durante o transporte (laboratório – campo – laboratório);

- Branco de equipamento: pode ser usado para avaliar a eficiência da lavagem dos equipamentos de coleta em laboratório ou em campo. No caso da realização em campo, serve para verificar a eficiência da lavagem realizada nos equipamentos entre os pontos de coleta, minimizando a possibilidade de contaminação cruzada.

Assim como a utilização de duplicatas cegas eleva significativamente a confiabilidade dos dados, conforme, referenciado por USEPA (2016) e CETESB e ANA (2011), é importante que os brancos realizados em campo, seja qual for o tipo, não sejam identificados como tal e que não recebam identificação que torna evidente se tratar de um branco.

Para os casos de brancos preparados em campo (qualquer tipo), resultados acima do limite de quantificação, para qualquer parâmetro, sugerem, em princípio, possível contaminação da amostra durante o processo de amostragem, devendo ser investigadas as possíveis razões e consequente uso destes dados com as devidas ressalvas durante as análises. Em último caso deve-se proceder com a rejeição dos resultados.

Os brancos de laboratório serão tratados no item 5.7 QA/QC interno (laboratório).

## 5.5 Parâmetros Totais e Parâmetros Dissolvidos

Basicamente, a fração dissolvida é parte da fração total, desta forma, espera-se observar valores de qualquer fração dissolvida inferiores aos valores reportados para a fração total. Além disso, os limites inferiores de quantificação devem ser iguais ou estar abaixo dos valores para o parâmetro dissolvido, conforme equação abaixo retirada da Nota Técnica nº 80 do GTA-PMQQS (CIF, 2021).

$$\text{Limite de Quantificação} \leq [\text{Parâmetro(dissolvido)}] \leq 1,2x[\text{Parâmetro(total)}] \quad (\text{Equação 3})$$

Se a equação não for atendida, os dados de concentração do parâmetro (dissolvido) e do parâmetro (total) deverão ser descartados.

## 5.6 Limites de Quantificação (LQ) vs. Legislação

Segundo a Resolução-RE nº 899, de 29 de maio de 2003 da Anvisa, o limite de detecção (LD) é a menor concentração de um analito que o procedimento bioanalítico consegue diferenciar confiavelmente do ruído de fundo. O Limite Inferior de Quantificação (LIQ) é a menor quantidade de um analito numa amostra que pode ser determinada quantitativamente com precisão e exatidão aceitáveis. E o Limite Superior de Quantificação (LSQ) - maior quantidade de um analito numa amostra que pode ser determinada quantitativamente com precisão e exatidão.

Obrigatoriamente, os limites inferiores de quantificação devem ser iguais ou estar abaixo dos limites estabelecidos na legislação de referência adotada nos trabalhos de monitoramento ambiental.

Para efeito dos cálculos estatísticos, nos casos em que o valor do parâmetro foi menor ou igual ao limite inferior de quantificação (LIQ), assumiu-se o valor do limite de quantificação dividido por dois (LIQ/2). Por exemplo, um dado cujo limite de quantificação do parâmetro seja 0,002mg/L, e o resultado analítico para a amostra foi [parâmetro] < 0,002mg/L, o dado deverá assumir o valor [parâmetro]=0,001mg/L, seguindo as orientações do “Guia técnico sobre estratégia de amostragem e interpretação de resultados de avaliações quantitativas de agentes químicos em ambientes de trabalho” do FUNDACENTRO (2018).

Foram também identificados resultados acima do limite superior de quantificação (LSQ) para os parâmetros Coliformes Totais e *Escherichia Coli*. Como exemplo, para um resultado igual a > 1600 NMP/100 mL, assumiu-se o valor do LSQ (1600 NMP/100 mL).

Resultados abaixo do limite inferior de quantificação (<LIQ), quando este for superior ao limite legal, para qualquer parâmetro, devem ser rejeitados ou solicitado ao laboratório a reanálise posterior à calibração do equipamento considerando LQ adequado.

## 5.7 QA/QC interno (laboratório)

Em geral, laboratórios acreditados contam com procedimentos QA/QC para monitorar a validade dos resultados. Alguns desses procedimentos são os brancos de método, duplicatas de laboratório e ensaios de recuperação.

Os brancos de método são utilizados para avaliar a ocorrência de contaminações durante a preparação da amostra e análise. O branco de método pode ser definido como “amostra de matriz similar ao lote de amostras associado (quando disponível), livre dos analitos de interesse, processado simultaneamente com e sob as mesmas condições que as amostras submetidas ao procedimento analítico, e na qual analitos alvo ou interferências não estão presentes em concentrações que impactam os resultados analíticos” (NELAC, 2003). Todos os laudos deverão ser checados para verificar se os brancos estiveram com os parâmetros abaixo do limite de quantificação.

O resultado das duplicatas de laboratório é utilizado para avaliar a precisão analítica ou de medição. Consiste em alíquotas de uma amostra tomada a partir do mesmo recipiente em condições de laboratório e processadas e analisadas de forma independente (NELAC, 2003). Os laboratórios utilizados neste trabalho informaram que as duplicatas são realizadas para controle interno, e que os resultados não são fornecidos nos laudos.

O ensaio de recuperação é reportado em valores percentuais e a faixa de aceitação geral deve ser  $\pm 30\%$  de variação (USEPA, 2017). Todos os laudos deverão ser checados para verificar se o ensaio de recuperação atendeu a faixa aceitável. Se verificada alguma inconsistência, esclarecimentos deverão ser solicitados ao laboratório e a confirmação ou não do conjunto de dados gerados dependerá do julgamento técnico do responsável pela verificação QA/QC.

## 6 Caracterização inicial da área da Cachoeira Camargos (Grupo EPA, 2020)

Inicialmente, foi realizada uma investigação ambiental para avaliar a qualidade do solo, sedimento e água superficial na região do entorno da Cachoeira Camargos, como uma atividade anterior ao projeto de recuperação socioambiental da referida cachoeira. Esta atividade buscou compreender os impactos gerados pelo evento do rompimento da barragem de Fundão nesta área, bem como determinar os cursos das intervenções a serem realizadas. As coletas foram realizadas entre 08 e 09 de maio de 2020.

A investigação englobou a amostragem de solo, sedimento e água superficial, para a avaliação da qualidade desses compartimentos ambientais na região da cachoeira, principalmente o que é referente à presença de metais (Tabela 6.1 e Figura 6.1). Também foi realizada a amostragem de sedimento segundo a normativa ABNT NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação, para orientação da disposição final do rejeito a ser removido.

**Tabela 6.1: Indicação da localização dos pontos de amostragem para caracterização inicial do solo, sedimentos e água superficiais da Cachoeira Camargos**

Matriz	ID	ESTE	NORTE
Sedimento	SED-01 (referência)	666448	7758203
	SED-02	666443	7758215
	SED-03	666437	7758213
	SED-04	666436	7758207
	SED-05	666433	7758217
	SED-06	666424	7758221
Sedimento para classificação	SED-01-NBR	666442	7758214
	SED-02-NBR	666436	7758214
Solo	SSP-01	666434	7758219
	SSP-02	666445	7758212
	SSP-03	666435	7758203
Água Superficial	ASP-01 (referência)	666447	7758203
	ASP-02	666441	7758215
	ASP-03	666435	7758213
	ASP-04	666435	7758207
	ASP-05	666432	7758217
	ASP-06	666424	7758221

Notas: Datum: UTM SIRGAS 2000, Fuso 23K

Vale destacar que os pontos SED-01 e ASP-01 serão utilizados como pontos de referência, uma vez que estão fora da área afetada pela lama.

Foi realizada a avaliação de QA/QC dos resultados e em seguida foram apresentados a metodologia utilizada para a amostragem, bem como os resultados obtidos são brevemente apresentados a seguir. Para maiores detalhes, é possível consultar os documentos referenciados.

No **Apêndice H** são apresentadas as cadeias de custódias e os laudos das amostras coletadas nessa etapa de caracterização inicial da área da Cachoeira Camargos.

Em outubro de 2020 foi realizada uma nova coleta de caracterização da área da Cachoeira Camargos pela empresa EPA. Os novos dados serão reportados assim que finalizadas as análises laboratoriais.



Figura 6.1: Pontos de monitoramento – Caracterização Inicial.

## 6.1 Resultados da Avaliação QA/QC

Nesta seção serão apresentados os resultados da avaliação QA/QC de acordo com os critérios de análise selecionados, conforme apresentado na Seção 5. Devido à ausência de determinados resultados e documentos não foi possível realizar algumas avaliações QA/QC, a saber:

- Brancos de campo e/ou equipamento – Não foram reportados laudos de branco;

A avaliação quanto aos demais critérios os quais foi possível realizar análise serão descritos nos tópicos a seguir. No **Apêndice G** são apresentadas as tabelas de avaliação do QA/QC.

### 6.1.1 Cadeias de Custódia/Fichas de campo

Todas as fichas de campo e/ou cadeia de custódia foram checadas pela SRK para verificar a temperatura de recebimento da amostra pelo laboratório e os parâmetros *in situ*. As amostras da fase de caracterização inicial (água superficial, solo e sedimento coletados em maio de 2020 antes da intervenção) apresentaram cadeia de custódia com informação geral da temperatura de recebimento de duas caixas pelo laboratório (uma caixa a 1,0 °C e outra a 2,1 °C).

Após avaliação das temperaturas disponíveis, foi verificado que, no recebimento das amostras pelo laboratório, os resultados variaram entre 4 e 6°C, em conformidade com o estabelecido pelo Guia Nacional de Coleta (CETESB e ANA, 2011), 4°C ± 2°C.

A SRK avalia positivamente as temperaturas de recebimento das amostras pós-intervenção. O **Apêndice G** traz os resultados da análise.

### 6.1.2 Holding Time/Prazo de validade

Nos laudos emitidos pela *Mérieux NutriSciences*, são informados a data e horário da análise de cada parâmetro, os quais foram verificados, segundo os prazos estabelecidos pela *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 23ª Edição (APHA/WWA/WEF, 2017). Durante a fase de caracterização inicial, para as amostras de água superficial, solo e sedimento apenas metais foram analisados, os quais possuem um prazo de validade de 180 dias.

Nessa fase nenhum parâmetro ultrapassou o limite de validade tanto para água superficial, quanto para solo e sedimento.

### 6.1.3 Duplicatas de campo

As amostras da fase de caracterização inicial apresentaram duplicatas de campo. As Tabela 6.2, Tabela 6.3 e Tabela 6.4 apresentam os resultados do cálculo da DPR para as amostras de água superficial, solo e sedimento, respectivamente. Resultados destacados na Tabela 6.8, Tabela 6.9 e Tabela 6.10 significam que os dados foram qualificados.

**Tabela 6.2: Resultado do cálculo da diferença percentual relativa (DPR) para as amostras original e sua respectiva duplicata para amostras de água superficial coletadas na fase de caracterização inicial (maio de 2020).**

Parâmetro	Unidade	LQ/Faixa	ASP-05	ASP-DUP-01 (coletado junto ao ASP-05)	Resultado DPR
Alumínio Total	µg/L	1	326	329	0,92%
Antimônio Total	µg/L	1	1	1	<LQ
Arsênio Total	µg/L	1	1	1	<LQ

Parâmetro	Unidade	LQ/Faixa	ASP-05	ASP-DUP-01 (coletado junto ao ASP-05)	Resultado DPR
Bário Total	µg/L	1	11,6	11,1	4,41%
Boro Total	µg/L	1	1	1	<LQ
Cádmio Total	µg/L	1	1	1	<LQ
Chumbo Total	µg/L	1	1	1	<LQ
Cobalto Total	µg/L	1	1	1	<LQ
Cobre Total	µg/L	1	1	1	<LQ
Cromo Total	µg/L	1	1	1	<LQ
Ferro Total	µg/L	1	1810	1790	1,11%
Manganês Total	µg/L	1	62,6	62,4	0,32%
Mercúrio Total	µg/L	0,1	0,1	0,1	<LQ
Molibdênio Total	µg/L	1	1	1	<LQ
Níquel Total	µg/L	1	1	1	<LQ
Prata Total	µg/L	1	1	1	<LQ
Selênio Total	µg/L	1	1	1	<LQ
Vanádio Total	µg/L	1	1	1	<LQ
Zinco Total	µg/L	1	1	1	<LQ
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,001	0,0135	0,0129	4,55%
Antimônio Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ
Arsênio Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ
Bário Dissolvido	mg/L	0,001	0,01	0,01	0,00%
Boro Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ
Cádmio Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ
Chumbo Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ
Cobalto Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ
Cobre Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ
Cromo Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ
Ferro Dissolvido	mg/L	0,001	0,206	0,209	1,45%
Manganês Dissolvido	mg/L	0,001	0,0544	0,0533	2,04%
Mercúrio Dissolvido	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	<LQ
Molibdênio Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ
Níquel Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ
Prata Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ
Selênio Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ
Vanádio Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ
Zinco Dissolvido	mg/L	0,001	0,001	0,001	<LQ

**Tabela 6.3: Resultado do cálculo da diferença percentual relativa (DPR) para as amostras original e sua respectiva duplicata para amostras de solo coletadas na fase de caracterização inicial (maio de 2020).**

Parâmetro	Unidade	LQ Lab	SSP-01-B1	SSP-DUP-01-B1	SSP-01-B2	SSP-DUP-01-B2	DPR (%) SSP-01-B1	DPR (%) SSP-01-B2
Alumínio Total	mg/kg	1	13400	29400	16700	1770	74,77%	161,67%
Antimônio Total	mg/kg	1	1	1	1	1	<2xLQ	<2xLQ
Arsênio Total	mg/kg	1	1,69	5,13	1	1	<2xLQ	<2xLQ
Bário Total	mg/kg	1	35,8	154	59,6	14	124,55%	123,91%

Parâmetro	Unidade	LQ Lab	SSP-01-B1	SSP-DUP-01-B1	SSP-01-B2	SSP-DUP-01-B2	DPR (%) SSP-01-B1	DPR (%) SSP-01-B2
Boro Total	mg/kg	1	96,9	43,1	15,5	115	76,86%	152,49%
Cádmio Total	mg/kg	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	<2xLQ	<2xLQ
Chumbo Total	mg/kg	1	9,03	28,5	4,9	18	103,76%	<2xLQ
Cobalto Total	mg/kg	1	6,94	4,64	5,7	10,2	>2xLQ	56,60%
Cobre Total	mg/kg	1	13,3	31,6	32,5	5,88	81,51%	138,72%
Cromo Total	mg/kg	1	57,3	132	22,4	37,3	78,92%	49,92%
Ferro Total	mg/kg	1	60600	39100	13000	42200	43,13%	105,80%
Manganês Total	mg/kg	1	272	62,2	51,6	50,7	125,55%	1,76%
Mercúrio Total	mg/kg	0,05	0,0619	0,0983	0,05	0,05	<2xLQ	<2xLQ
Molibdênio Total	mg/kg	1	1	1	1	1	<2xLQ	<2xLQ
Níquel Total	mg/kg	1	13,1	27,4	9,8	7,16	70,62%	31,13%
Prata Total	mg/kg	1	1	1	1	1	<2xLQ	<2xLQ
Selênio Total	mg/kg	1	1	1	1	1	<2xLQ	<2xLQ
Vanádio Total	mg/kg	1	42,5	82,3	20,9	27,8	63,78%	28,34%
Zinco Total	mg/kg	1	17	33,6	22,2	7,11	65,61%	102,97%

**Tabela 6.4: Resultado do cálculo da diferença percentual relativa (DPR) para as amostras original e sua respectiva duplicata para amostras de sedimento coletadas na fase de caracterização inicial (maio de 2020).**

Parâmetro	Unidade	LQ Lab	SED-01-B1	SED-DUP-01-B1	DPR (%) SED-01-B1
Alumínio Total	mg/kg	1	11100	8240	29,58%
Antimônio Total	mg/kg	1	1	1	<2xLQ
Arsênio Total	mg/kg	1	9,24	4,19	>2xLQ
Bário Total	mg/kg	1	16,7	30,4	58,17%
Boro Total	mg/kg	1	383	160	82,14%
Cádmio Total	mg/kg	0,1	0,1	0,1	<2xLQ
Chumbo Total	mg/kg	1	19,2	8,47	77,56%
Cobalto Total	mg/kg	1	10,3	4,09	>2xLQ
Cobre Total	mg/kg	1	12,9	8,07	46,07%
Cromo Total	mg/kg	1	213	29	152,07%
Ferro Total	mg/kg	1	434000	143000	100,87%
Manganês Total	mg/kg	1	500	410	19,78%
Mercúrio Total	mg/kg	0,05	0,147	0,054	<2xLQ
Molibdênio Total	mg/kg	1	1,38	1	<2xLQ
Níquel Total	mg/kg	1	17,5	8,67	67,48%
Prata Total	mg/kg	1	1	1	<2xLQ
Selênio Total	mg/kg	1	1	1	<2xLQ
Vanádio Total	mg/kg	1	89,3	17,9	133,21%
Zinco Total	mg/kg	1	14,9	13,5	9,86%

Como pode ser observado, para as amostras de água, nenhum dado foi qualificado, já para as amostras de solo e sedimento a maior parte dos dados foram qualificados, ou seja, colocados em negrito no banco de dados.

#### 6.1.4 Brancos

As amostras da fase de caracterização inicial apresentaram brancos de campo e de equipamento. A Tabela 6.5, Tabela 6.6 e Tabela 6.7 apresentam os resultados de brancos para as amostras de água superficial,

solo e sedimento, respectivamente. Resultados destacados na Tabela 6.8, Tabela 6.9 e Tabela 6.10 significam que os dados foram qualificados.

**Tabela 6.5: Resultados de branco de campo e de equipamentos – água superficial**

Metais	Unidade	ASP-BC-01	ASP-BE-01
Alumínio Total	µg/L	< 1	< 1
Antimônio Total	µg/L	< 1	< 1
Arsênio Total	µg/L	< 1	< 1
Bário Total	µg/L	< 1	< 1
Boro Total	µg/L	< 1	< 1
Cádmio Total	µg/L	< 1	< 1
Chumbo Total	µg/L	< 1	< 1
Cobalto Total	µg/L	< 1	< 1
Cobre Total	µg/L	< 1	< 1
Cromo Total	µg/L	< 1	< 1
Ferro Total	µg/L	< 1	<b>11,8</b>
Manganês Total	µg/L	< 1	< 1
Mercurio Total	µg/L	< 0,1	< 0,1
Molibdênio Total	µg/L	< 1	< 1
Níquel Total	µg/L	< 1	< 1
Prata Total	µg/L	< 1	< 1
Selênio Total	µg/L	< 1	< 1
Vanádio Total	µg/L	< 1	< 1
Zinco Total	µg/L	< 1	< 1
Alumínio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Antimônio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Arsênio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Bário Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Boro Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Cádmio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Chumbo Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Cobalto Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Cobre Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Cromo Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Ferro Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Manganês Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Mercurio Dissolvido	mg/L	<0,0001	<0,0001
Molibdênio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Níquel Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Prata Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Selênio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Vanádio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001

Metais	Unidade	ASP-BC-01	ASP-BE-01
Zinco Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001

**Tabela 6.6: Resultados de branco de campo e de equipamentos – solo**

Metais	Unidade	SSP-BC-01	SSP-BE-01
Alumínio Total	µg/L	< 1	< 1
Antimônio Total	µg/L	< 1	< 1
Arsênio Total	µg/L	< 1	< 1
Bário Total	µg/L	< 1	< 1
Boro Total	µg/L	< 1	< 1
Cádmio Total	µg/L	< 1	< 1
Chumbo Total	µg/L	< 1	< 1
Cobalto Total	µg/L	< 1	< 1
Cobre Total	µg/L	< 1	< 1
Cromo Total	µg/L	< 1	< 1
Ferro Total	µg/L	< 1	<b>42,3</b>
Manganês Total	µg/L	< 1	<b>4</b>
Mercúrio Total	µg/L	< 0,1	< 0,1
Molibdênio Total	µg/L	< 1	< 1
Níquel Total	µg/L	< 1	< 1
Prata Total	µg/L	< 1	< 1
Selênio Total	µg/L	< 1	< 1
Vanádio Total	µg/L	< 1	< 1
Zinco Total	µg/L	< 1	< 1
Alumínio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Antimônio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Arsênio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Bário Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Boro Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Cádmio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Chumbo Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Cobalto Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Cobre Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Cromo Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Ferro Dissolvido	mg/L	<0,001	<b>0,015</b>
Manganês Dissolvido	mg/L	<0,001	<b>0,0031</b>
Mercúrio Dissolvido	mg/L	<0,0001	<0,0001
Molibdênio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Níquel Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Prata Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001

Metais	Unidade	SSP-BC-01	SSP-BE-01
Selênio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Vanádio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Zinco Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001

**Tabela 6.7: Resultados de branco de campo e de equipamentos – sedimento**

Metais	Unidade	SED-BC-01	SED-BE-01
Alumínio Total	µg/L	< 1	< 1
Antimônio Total	µg/L	< 1	< 1
Arsênio Total	µg/L	< 1	< 1
Bário Total	µg/L	< 1	< 1
Boro Total	µg/L	< 1	< 1
Cádmio Total	µg/L	< 1	< 1
Chumbo Total	µg/L	< 1	< 1
Cobalto Total	µg/L	< 1	< 1
Cobre Total	µg/L	< 1	< 1
Cromo Total	µg/L	< 1	< 1
Ferro Total	µg/L	< 1	<b>23,2</b>
Manganês Total	µg/L	< 1	<b>1,9</b>
Mercúrio Total	µg/L	< 0,1	< 0,1
Molibdênio Total	µg/L	< 1	< 1
Níquel Total	µg/L	< 1	< 1
Prata Total	µg/L	< 1	< 1
Selênio Total	µg/L	< 1	< 1
Vanádio Total	µg/L	< 1	< 1
Zinco Total	µg/L	< 1	< 1
Alumínio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Antimônio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Arsênio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Bário Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Boro Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Cádmio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Chumbo Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Cobalto Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Cobre Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Cromo Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Ferro Dissolvido	mg/L	<0,001	<b>0,0228</b>
Manganês Dissolvido	mg/L	<0,001	<b>0,017</b>
Mercúrio Dissolvido	mg/L	<0,0001	<0,0001
Molibdênio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001

Metais	Unidade	SED-BC-01	SED-BE-01
Níquel Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Prata Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Selênio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Vanádio Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001
Zinco Dissolvido	mg/L	<0,001	<0,001

Como esperado a grande maioria dos resultados foram iguais aos limites de quantificação do método laboratorial, indicando a inexistência de contaminação das amostras coletadas. As exceções ocorreram nos brancos de equipamento para o parâmetro ferro total na água superficial, ferro total e dissolvido e manganês total e dissolvido para solo e sedimento.

Os resultados desses parâmetros serão marcados em em itálico no banco de dados.

### 6.1.5 Parâmetros Totais vs. Parâmetros Dissolvidos

Não foram verificadas inconsistências quando comparados os resultados obtidos da relação entre a fração total e dissolvida tanto para as amostras de água superficial da fase de caracterização inicial (maio de 2020). Os valores reportados para a fração dissolvida, em todos os casos, foram menores ou iguais aos valores identificados para a fração total. A SRK entende que a resposta da avaliação aponta para uma boa qualidade e confiabilidade dos dados.

### 6.1.6 Limites de Quantificação (Q) vs. Legislação

Todos os limites de quantificação (LQ) foram checados para verificar se estavam abaixo ou igual ao valor máximo permitido (VMP) das legislações resolução CONAMA nº 357/2005 (água doce classe 2) para água superficial, resolução CONAMA nº 454/2012 (água doce nível 1) para sedimentos e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº02/2010 para solos. O resultado da análise demonstrou que todos os limites de quantificação dos laboratórios utilizados estavam abaixo do valor máximo permitido pelas respectivas legislações, para todos os parâmetros, para água superficial, solo e sedimento.

### 6.1.7 QA/QC interno (laboratório)

Todos os laudos foram checados pela SRK para verificar se os brancos internos ao laboratório estavam abaixo do limite de detecção e se os resultados do ensaio de recuperação se encontravam na faixa esperada. Como resultado da análise, verificou-se que todos os brancos estiveram abaixo do limite de quantificação e todos os ensaios de recuperação estiveram na faixa aceitável.

Considerando que o laboratório contratado pela Fundação Renova possui acreditação ABNT NBR ISO/IEC 17.025/2017, a SRK avalia positivamente a qualidade e confiabilidade do conjunto de dados a partir deste critério.

## 6.2 Amostras de solo

### 6.2.1 Metodologia

Foram alocados três pontos para coleta de solo, conforme apontado no “Plano de trabalho para avaliação da qualidade do solo, sedimento e água superficial na região da cachoeira de Camargos – Mariana - MG” (Grupo EPA, 2020). A localização dos pontos está indicada na Tabela 6.1 e na Figura 6.1.

Procedeu-se a amostragem através de sondagens de trado manual. A técnica de amostragem de solo aplicada foi a *Direct Push*, com cravamento de amostrador descartável (*liner*). Após a retirada da amostra coletada, cortou-se uma abertura longitudinal no amostrador, de forma a permitir a identificação visual das camadas de solo.

Para cada ponto, foram coletadas uma amostra de solo superficial (até 50 cm) e outra próxima à franja capilar. Em um dos pontos, denominado SSP-03, também foram coletadas amostras em duplicata. Além das amostras de solo, foram coletadas duas amostras utilizadas como brancos de campo e de equipamento para controle da qualidade da amostragem.

As amostras foram enviadas para análises dos parâmetros químicos de interesse, sendo eles: Alumínio, Antimônio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Prata, Selênio, Vanádio, Zinco. O preparo das amostras foi realizada de acordo com o método EPA 3051 A.

### 6.2.2 Normas aplicáveis

Para os metais foram utilizados os limites presentes na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02, de 08 de setembro de 2010, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas, para o estado de Minas Gerais. No caso dos parâmetros alumínio, boro, ferro, manganês e vanádio, que não estão contemplados na referida Deliberação Normativa, optou-se pela utilização dos valores orientadores da listagem RSL (*Regional Screening Level*), de maio de 2020, advindos da *United States Environmental Protection Agency* – USEPA.

### 6.2.3 Resultados e considerações

Os resultados para a caracterização inicial dos solos são apresentados na Tabela 6.8. Como pode-se observar, somente os parâmetros Cromo e Ferro apresentaram concentrações acima dos valores de investigação (VI) da COPAM nº 02 ou da listagem da RSL.

No caso do Cromo, apenas uma amostra subsuperficial do ponto SSP-03 apresentou concentração (186 mg/kg) acima do VI agrícola (150 mg/kg), não alcançando o VI residencial (300 mg/kg). Contudo, a amostra em duplicata, que também foi coletada no ponto SSP-03, não apresentou concentração de Cromo acima do VI.

Para o Ferro, as amostras superficiais dos pontos SSP-01 (60.600 mg/kg) e SSP-02 (169.000 mg/kg) e subsuperficial do ponto SSP-03 (105.000 mg/kg) apresentaram concentrações superiores ao limite presente na RSL (55.000 mg/kg).

Como a cachoeira está localizada em uma região caracterizada por intensas atividades mineradoras, que ocorrem há décadas ou até mesmo séculos, é comum encontrar em solo ou em águas superficiais e subterrâneas elementos químicos como ferro, manganês, bário e arsênio em maiores quantidades. Tais elementos fazem parte da constituição geológica e litológica local, isto é, constituem o *background* da área (LACTEC, 2017).

Para a análise dos resultados obtidos, além da comparação com os valores orientadores determinados pelas normas apresentadas, deve se considerar o *background* geoquímico para estabelecer uma relação denexo causal com o rompimento da barragem de Fundão. Assim, foram comparados os resultados analíticos das máximas concentrações obtidas em solo para Alumínio, Arsênio, Cromo, Ferro e Manganês, elementos de interesse presentes na constituição do rejeito, com teores de background apresentados em um estudo desenvolvido pelo Instituto Lactec (2017), assim como os valores da caracterização do rejeito (Lactec, 2020).

**Tabela 6.8: Resultado da Caracterização Inicial de Solo**

Ponto amostrado		Lista Orientadora				SSP-01		SSP-02		SSP-03		SSP-DUP-03	
Identificação da amostra	Uni.	Valor de Prevenção (VP) - COPAM nº 02	Valor de Investigação (VI) Agrícola - COPAM nº 02	Valor de Investigação (VI) Residencial - COPAM nº 02	Valor de Investigação (VI) Residencial - RSL	SSP-01-B1	SSP-01-B2	SSP-02-B1	SSP-02-B2	SSP-03-B1	SSP-03-B2	SSP-DUP-01-B1	SSP-DUP-01-B2
Profundidade da coleta (m)						0,3	1,2	0,3	1	0,3	1	0,3	1,2
Alumínio Total	mg/kg	-	-	-	77000	13400	16700	7350	23700	23300	8060	29400	1770
Antimônio Total	mg/kg	2	5	10	-	< 1	< 1	4,33	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Arsênio Total	mg/kg	15	35	55	-	1,69	< 1	28,9	< 1	5,76	2,69	5,13	< 1
Bário Total	mg/kg	150	300	500	-	35,8	59,6	27,9	53,7	94	24	154	14
Boro Total	mg/kg	-	-	-	16000	96,9	15,5	181	30,7	35,8	115	43,1	115
Cádmio Total	mg/kg	1,3	3	8	-	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Chumbo Total	mg/kg	72	180	300	-	9,03	4,9	9,8	9,01	19,5	8,06	28,5	18
Cobalto Total	mg/kg	25	35	65	-	6,94	5,7	3,17	10	3,47	5,38	4,64	10,2
Cobre Total	mg/kg	60	200	400	-	13,3	32,5	37,6	57,4	28	12,4	31,6	5,88
Cromo Total	mg/kg	75	150	300	-	57,3	22,4	85,9	123	122	186	132	37,3
Ferro Total	mg/kg	-	-	-	55000	60600	13000	169000	40000	31300	105000	39100	42200
Manganês Total	mg/kg	-	-	-	1800	272	51,6	381	158	42,6	103	62,2	50,7
Merúrio Total	mg/kg	0,5	12	36	-	0,0619	< 0,05	0,0835	< 0,05	0,0916	< 0,05	0,0983	< 0,05
Molibdênio Total	mg/kg	30	50	100	-	< 1	< 1	< 1	1,98	< 1	< 1	< 1	< 1
Níquel Total	mg/kg	30	70	100	-	13,1	9,8	10,7	36,3	21,6	13,7	27,4	7,16
Prata Total	mg/kg	2	25	50	-	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Selênio Total	mg/kg	5	-	-	-	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Vanádio Total	mg/kg	-	-	-	390	42,5	20,9	19,8	91,8	70,6	42,3	82,3	27,8
Zinco Total	mg/kg	300	450	1000	-	17	22,2	15,7	13,9	32,9	11,5	33,6	7,11

Para Alumínio obteve-se um máximo de 29.400 mg/kg nas amostras de solo da Cachoeira Camargos. O *background* geoquímico da área aponta para concentrações nas faixas entre 104.050 mg/kg e 126.910 mg/kg, indicando que a máxima concentração obtida não atingiu as faixas de concentrações comuns para *background* na área de interesse (LACTEC, 2017).

Para o Arsênio, a maior concentração obtida foi de 28,9 mg/kg, enquanto a faixa de concentrações apontadas pelo *background* geoquímico é de aproximadamente 16,09 mg/kg a 28,82 mg/kg na área de interesse (LACTEC, 2017). A concentração de Arsênio máxima obtida nas amostras de solo está muito próxima da faixa de *background*, apontando para uma concentração natural da área.

A máxima concentração de Cromo obtida nas amostras de solo coletadas foi de 186,0 mg/kg, sendo que a faixa de concentrações de *background* geoquímico está entre 97,04 mg/kg e 137,38 mg/kg (LACTEC, 2017), indicando que a máxima concentração obtida é superior à faixa de concentração considerada natural da região. Segundo Lactec (2020), a concentração média de cromo reportada para o rejeito é de 79,91 mg/kg, e em alguns pontos atingidos a concentração foi menor que este valor (SSP-01-B1, SSP-01-B2 e SSP-DUP-01-B2) e em outros a concentração foi maior (SSP-02-B1, SSP-02-B2, SSP-03-B1, SSP-03-B2 e SSP-DUP-01-B1), não fica evidente o impacto do rejeito nesse parâmetro, ou seja, não há como afirmar que o rejeito diminuiu ou aumentou a concentração de Alumínio nos pontos atingidos, passando-se quase 5 anos depois do rompimento.

No caso do Ferro, a máxima concentração das amostras de solo coletadas foi de 169.000 mg/kg. Já as faixas de concentrações da região variam entre aproximadamente 24.160 mg/kg e 34.650 mg/kg. O valor máximo de concentração de Ferro em todas as faixas de concentrações observadas no *background* geoquímico foi de 101.710 mg/kg. Assim, a concentração de Ferro obtida para as amostras de solo é superior ao *background* geoquímico. Segundo Lactec 2020, o valor de ferro no rejeito barrado em Fundão é de 115.474,55 mg/kg. O ponto SSP-02-B1 e o SSP-03-B2 foram os únicos com concentração na mesma ordem de grandeza do rejeito ( $10^5$ ), estando os demais 6 pontos na mesma ordem de grandeza dos valores de *background*.

O Manganês apresentou para as amostras coletadas uma concentração máxima de 381,00 mg/kg. Na região de interesse, as concentrações deste parâmetro variam em média entre 119,00 mg/kg e 180,63 mg/kg, isto é, a maior concentração obtida para esse parâmetro nas amostras coletadas é maior que o *background* geoquímico da região, entretanto inferior ao valor de manganês no rejeito, o qual foi de 606,23 mg/kg (Lactec, 2020). Tal fato pode indicar influência do rejeito na área, mas vale destacar, que com exceção dos pontos SSP-01-B1 e SSP-02-B1, todos os demais tiveram concentração de manganês inferior à 158 mg/kg, estando compreendidos na faixa de *background* ou em alguns casos, até mesmo abaixo dessa faixa.

Conclui-se que, para Cromo, Ferro e Manganês pode haver uma indicação denexo causal com o evento do rompimento da barragem de Fundão, uma vez que suas concentrações máximas ficaram acima das faixas de concentrações consideradas naturais para a região.

## 6.3 Amostras de sedimento

### 6.3.1 Metodologia

Foram alocados 8 pontos para coleta de sedimento, também apontado no “Plano de trabalho para avaliação da qualidade do solo, sedimento e água superficial na região da cachoeira de Camargos – Mariana - MG”, (Grupo EPA, 2020), sendo 6 pontos destinados à coleta de amostras para análise de metais presentes na listagem da Resolução CONAMA nº 420 e os outros 2 pontos destinados à amostragem de sedimento para

a análise segundo a normativa ABNT NBR 10.004 – Resíduos sólidos – Classificação. A localização dos pontos está indicada na Tabela 6.1 e na Figura 6.1.

As amostragens de sedimento foram realizadas em locais de baixa velocidade de fluxo das águas superficiais (pontos de “remanso”), uma vez que nestes ambientes costuma ocorrer a deposição de particulado de granulometria mais fina. Foram realizadas algumas tentativas de amostragens através da técnica do *Direct Push*, como ocorreu com as amostras de solo. Entretanto, não foi possível recuperar as amostras, pois estas não permaneciam dentro do amostrador. Assim, utilizou-se a draga para amostragem de sedimento.

A metodologia analítica para a extração dos metais e semimetais das amostras de sedimento consistiu em ataque com ácidos minerais e aquecimento, de acordo com EPA método 3051A conforme informado nos laudos analíticos apresentados no **Apêndice H**.

Além das amostras de sedimento, também foram coletadas 2 amostras utilizadas como brancos de campo e de equipamento para controle da qualidade da amostragem. Também, coletou-se amostras em duplicata, junto ao ponto de sondagem identificado como SED-03.

As alíquotas coletadas de sedimento foram transferidas para frascos apropriados cedidos pelo laboratório responsável pela análise dos parâmetros químicos de interesse, sendo eles: Alumínio, Antimônio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Prata, Selênio, Vanádio, Zinco ou os presentes na normativa da ABNT NBR 10.004.

### 6.3.2 Normas aplicáveis

Para o comparativo de resultados analíticos nas amostras de sedimento, utilizou-se os valores de metais presentes na Resolução CONAMA nº 454/12, de 1º de novembro de 2012, a qual estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.

No caso dos parâmetros antimônio, bário, cobalto, prata e selênio, não contemplados na referida Resolução, optou-se pela utilização dos valores orientadores obtidos através do documento intitulado *Region 4 Ecological Risk Assessment Supplemental Guidance* (USEPA, 2018).

Complementarmente, utilizou-se o documento *Screening Quick Reference Table – SquiRT* (BUCHMAN, 2008), o qual estabelece valores de referência para parâmetros inorgânicos e orgânicos, dentre eles o manganês.

Alguns parâmetros analisados, caso do alumínio e ferro, não possuem valores orientadores para sedimento nos documentos citados, na mesma unidade de medida que dos dados apresentados neste relatório.

### 6.3.3 Resultados e considerações

Os resultados para os sedimentos analisados são apresentados na Tabela 6.9. Observa-se que os parâmetros Antimônio, Arsênio, Bário, Cromo, Manganês e Níquel ultrapassaram os limites das normas consultadas e estão descritos a seguir. No caso do Alumínio e Ferro, embora não estejam contemplados pelas normas, por estarem associados ao rejeito, também foram descritos na sequência.

**Tabela 6.9: Resultado da Caracterização Inicial de Sedimento**

Ponto amostrado		Lista Orientadora				SED-01	SED-02	SED-03	SED-04	SED-05	SED-06	SED-DUP-01	
Identificação da amostra	da amostra	Uni.	CONAMA 454/2012 - Água Doce Nível 1	CONAMA 454/2012 - Água Doce Nível 2	Freshwater Sediment Screening Value - ESV	NOAA SQRT 2008	SED-01-B1	SED-02-B1	SED-03-B1	SED-04-B1	SED-05-B1	SED-06-B2	SED-DUP-01-B1
							0,1	0,2	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2
Alumínio Total	mg/kg	-	-	-	-	11100	7050	14000	4870	12500	4710	8240	
Antimônio Total	mg/kg	-	-	2	-	< 1	< 1	< 1	2,6	< 1	< 1	< 1	
Arsênio Total	mg/kg	5,9	17	-	5,9	9,24	15,8	7,42	2,36	6,7	3,09	4,19	
Bário Total	mg/kg	-	-	20	-	16,7	15,9	48,1	20,1	21	21,6	30,4	
Boro Total	mg/kg	-	-	-	-	383	408	185	61	273	155	160	
Cádmio Total	mg/kg	0,6	3,5	-	0,59	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	
Chumbo Total	mg/kg	35	91,3	-	35	19,2	20,3	12,5	4,13	15,4	8,77	8,47	
Cobalto Total	mg/kg	-	-	50	50	10,3	11,1	5,93	2,85	18,2	2,69	4,09	
Cobre Total	mg/kg	35,7	197	-	35,7	12,9	12,8	34,4	26,8	28,7	30,6	8,07	
Cromo Total	mg/kg	37,3	90	-	37,3	213	193	42,6	22,3	53,4	20,9	29	
Ferro Total	mg/kg	-	-	-	-	434000	449000	193000	56200	301000	147000	143000	
Manganês Total	mg/kg	-	-	-	460	500	482	652	81,4	460	389	410	
Mercurio Total	mg/kg	0,2	0,5	-	0,17	0,147	0,106	0,0937	< 0,05	0,0615	0,0501	0,054	
Molibdênio Total	mg/kg	-	-	-	-	1,38	1,68	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Níquel Total	mg/kg	18	35,9	-	18	17,5	18,6	13,5	7,57	21,9	5,88	8,67	
Prata Total	mg/kg	-	-	1	0,5	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Selênio Total	mg/kg	-	-	0,7	-	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Vanádio Total	mg/kg	-	-	-	-	89,3	91,1	24,7	12,6	58	13,8	17,9	
Zinco Total	mg/kg	123	315	-	123	14,9	15,1	18,2	12,8	21,6	12,6	13,5	

Vale destacar que o ponto SED-01 encontra-se a montante da área impactada pelo rejeito, portanto pode ser utilizado como um ponto de referência.

**Alumínio:** A maior concentração obtida para esse parâmetro foi de 14.000,00 mg/kg na amostra coletada no ponto SED-03. Concentrações com ordem de grandeza de  $10^4$  ocorreram em outras amostras coletadas, dentre eles, o ponto SED-01, o qual não teve impacto do rejeito. Como segundo Lactec (2020) a concentração média de Alumínio no rejeito barrado em Fundão é de 5.145,64 mg/kg e em alguns pontos atingidos a concentração foi maior que SED-01 (SED-03 e SED-05) e em outros a concentração foi menor (SED-02, SED-04, SED-06), não fica evidente o impacto do rejeito nesse parâmetro, ou seja, não há como afirmar que o rejeito diminuiu ou aumentou a concentração de Alumínio nos pontos atingidos, passando-se quase 5 anos depois do rompimento.

**Ferro:** No caso do Ferro, a maior concentração obtida ocorreu na amostra do ponto SED-02, alcançando 449.000,00 mg/kg. Com exceção da amostra do ponto SED-04, todas as demais apresentaram concentrações de Ferro com ordem de grandeza igual a  $10^5$ . Como segundo Lactec (2020) a concentração média de Ferro no rejeito barrado em Fundão é de 115.474,55 mg/kg e como no ponto SED-02 (atingido) a concentração foi maior que SED-01 e em outros a concentração foi menor (SED-03, SED-04, SED-05 e SED-06), não fica evidente o impacto do rejeito nesse parâmetro.

**Antimônio:** Somente a amostra de sedimento do ponto SED-04 (2,60 mg/kg) apresentou concentração de Antimônio superior ao limite da USEPA. As demais amostras apresentaram concentrações inferiores ao limite de quantificação (LQ) do método laboratorial utilizado. Como segundo Lactec (2020) a concentração média de Antimônio no rejeito barrado em Fundão é de 0,84 mg/kg é difícil de afirmar que o rejeito possa ter elevado a concentração somente no ponto SED-04, ainda mais para uma concentração maior que a sua.

**Arsênio:** As amostras dos pontos SED-01 (9,24 mg/kg), SED-02 (15,80 mg/kg), SED-03 (7,42 mg/kg) e SED-05 (6,70 mg/kg) apresentaram concentrações acima do valor de Nível 1 (limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota) da Resolução CONAMA nº 454 e do NOAA SQuiRT para o Arsênio. Nenhuma amostra coletada ultrapassou o limite de Nível 2 (limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota). Como segundo Lactec (2020) a concentração média de Arsênio no rejeito barrado em Fundão é de 11,72 mg/kg, que é uma concentração muito próxima da concentração do ponto SED-01 é de se esperar que a chegada do rejeito não altere significativamente a concentração desse parâmetro. De fato, as concentrações dos pontos atingidos são da mesma ordem de grandeza do ponto não atingido, ora mais baixas (SED-03, SED-04, SED-05 e SED-06), ora mais alta (SED-02). Sendo assim, não há como afirmar que o rejeito diminuiu ou aumentou a concentração de As nos pontos atingidos.

**Bário:** As amostras dos pontos SED-03 (48,10 mg/kg, e 30,40 mg/kg, em sua duplicata), SED-04 (20,10 mg/kg), SED-05 (21,00 mg/kg) e SED-06 (21,60 mg/kg) apresentaram concentrações acima do limite da USEPA. Como segundo Lactec (2020) a concentração média de Bário no rejeito barrado em Fundão é de 22,1 mg/kg, que é uma concentração muito próxima da concentração do ponto SED-01 (16,7 mg/kg) é de se esperar que a chegada do rejeito não altere significativamente a concentração desse parâmetro. De fato, as concentrações dos pontos atingidos são da mesma ordem de grandeza do ponto não atingido, ora mais altas (SED-03, SED-04, SED-05 e SED-06), ora mais baixa (SED-02). Sendo assim, não há como afirmar que o rejeito diminuiu ou aumentou a concentração de Bário nos pontos atingidos.

**Cromo:** As amostras dos pontos SED-03 (42,60 mg/kg) e SED-05 (53,40 mg/kg) apresentaram concentrações acima do valor de Nível 1 da Resolução CONAMA nº 454 e do NOAA SQuiRT para o Cromo. Já as amostras dos pontos SED-01 (213,00 mg/kg) e SED-02 (193,00 mg/kg) ultrapassaram também o limite de Nível 2. O ponto de referência (SED-01), apresentou a maior concentração de cromo entre os pontos coletados, indicando que o rejeito pode ter diluído a concentração de Cromo nos outros pontos,

afinal, segundo Lactec (2020), o rejeito barrado em Fundão tem uma concentração média de Cromo de 79,91 mg/kg, concentração essa, menor que a concentração do ponto SED-01 (213,00 mg/kg).

**Manganês:** As amostras dos pontos SED-01 (500 mg/kg), SED-02 (482 mg/kg) e SED-03 (652 mg/kg) apresentaram concentrações acima do valor de referência estabelecido por NOAA SQuiRT. O ponto SED-05 apresentou concentração de manganês igual ao valor de referência, 460 mg/kg. Como segundo Lactec (2020) a concentração média de Mn no rejeito barrado em Fundão é de 606,23 mg/kg, que é uma concentração maior que a concentração do ponto SED-01, seria esperado que a chegada do rejeito elevasse a concentração de Mn nos pontos atingidos. Entretanto a concentração nos pontos atingidos ora é menor, e, ora é maior que SED-01, não evidenciando assim, impacto na concentração desse parâmetro.

**Níquel:** As amostras dos pontos SED-02 (18,60 mg/kg) e SED-05 (21,90 mg/kg) apresentaram concentrações acima do valor de Nível 1 da Resolução CONAMA nº 454 para o Níquel e do NOAA SQuiRT. Nenhuma amostra coletada ultrapassou o limite de Nível 2. Como segundo Lactec (2020) a concentração média de Mn no rejeito barrado em Fundão é de 19,54 mg/kg e a concentração de SED-01 é de 17,5 mg/kg, não é esperada alteração significativa da concentração desse parâmetro, de fato, nos pontos não atingidos, as concentrações foram ora maior e ora menor que a concentração no ponto SED-01.

### 6.3.4 Classificação do rejeito

Referente às duas amostras de sedimento em que foram analisados os parâmetros contidos na normativa ABNT NBR 10.004, os resultados obtidos são comentados a seguir.

Esta norma subdivide os parâmetros em quatro grupos, sendo eles: orgânicos, inorgânicos, físico-químicos e POC (pesticidas organoclorados). Para os compostos orgânicos e POC, nenhuma amostra apresentou concentrações superiores aos limites presentes na norma, tanto para os extratos lixiviados quanto para solubilizados. Também não foram quantificados, em nenhuma amostra, os parâmetros físico químicos cianeto e sulfeto.

Para os parâmetros inorgânicos, no extrato lixiviado nenhum dos parâmetros com limite normativo na NBR 10.004 apresentou concentrações superiores ao estipulado pela norma. Já para o extrato solubilizado, o Alumínio, o Ferro e o Manganês Total apresentaram concentrações superiores aos limites presentes na norma.

Assim, considerando as seguintes classificações dispostas da norma ABNT NBR 10.004, os resíduos podem ser classificados em:

- a) resíduos classe I - Perigosos;
- b) resíduos classe II – Não perigosos;
  - b1) resíduos classe II A – Não inertes.
  - b2) resíduos classe II B – Inertes.

Os resíduos de classe I – Perigosos devem apresentar ao menos uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. O sedimento analisado não possui as características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade ou patogenicidade. Em relação à toxicidade, embora os parâmetros Alumínio, Ferro e Manganês apresentaram concentrações acima dos limites da norma ABNT NBR 10.004 para o extrato solubilizado, a toxicidade de um resíduo é fornecida através do extrato lixiviado. Como este não apresentou concentrações acima dos valores orientadores presentes na própria norma, considerou-se que os sedimentos analisados não são tóxicos.

Assim, de acordo com os resultados analíticos obtidos através dos ensaios realizados considerando a norma ABNT NBR 10.004, bem como pelo contexto apresentado por esta mesma norma, as duas amostras

de sedimento analisadas podem ser caracterizadas como pertencentes à Classe II A - Resíduo Não perigosos e Não Inerte.

Os laudos analíticos encontram-se no **Apêndice H**.

## 6.4 Amostras de água superficial

### 6.4.1 Metodologia

Ao longo da área de estudo, foram alocados 6 pontos para coleta de água superficial, conforme apontado no *“Plano de trabalho para avaliação da qualidade do solo, sedimento e água superficial na região da cachoeira de Camargos – Mariana - MG”* (Grupo EPA, 2020). Além das amostras de água superficial, também foram coletadas 2 amostras utilizadas como brancos de campo e de equipamento para controle da qualidade da amostragem e uma amostra em duplicata, junto ao ponto identificado como ASP-05. A localização dos pontos está indicada na Tabela 6.1 e na Figura 6.1.

A amostragem de água superficial seguiu os procedimentos apresentados no Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos (ANA & CETESB, 2011), bem como as normas ABNT NBR 9.897:1987 – Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores, e ABNT NBR 9.898:1987 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

As alíquotas coletadas de água superficial foram transferidas para frascos apropriados cedidos pelo laboratório responsável pela análise dos parâmetros químicos de interesse, sendo eles Metais Totais e Dissolvidos: Alumínio, Antimônio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmiio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Prata, Selênio, Vanádio, Zinco.

### 6.4.2 Normas aplicáveis

Para o comparativo de resultados analíticos nas amostras de água superficial, utilizou-se os valores de metais presentes na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, a qual dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Essa Resolução estabelece alguns valores orientadores para os metais em sua fração total e outros para a fração dissolvida.

**Tabela 6.10: Resultado da Caracterização Inicial de Água Superficial**

Identificação da amostra	Uni.	CONAMA 357/2005 - Classe 2	ASP-01	ASP-02	ASP-03	ASP-04	ASP-05	ASP-06	ASP-DUP-01 (coletado junto ao ASP- 05)
Alumínio Total	mg/L	-	0,851	0,756	0,365	0,407	0,326	0,484	0,329
Antimônio Total	mg/L	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Arsênio Total	mg/L	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bário Total	mg/L	0,7	0,0158	0,0149	0,0117	0,012	0,0116	0,0118	0,0111
Boro Total	mg/L	0,5	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cádmio Total	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Chumbo Total	mg/L	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cobalto Total	mg/L	0,05	0,0011	0,0012	0,001	0,0011	0,001	0,001	0,001
Cobre Total	mg/L	-	0,001	0,0045	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cromo Total	mg/L	0,05	0,0017	0,0014	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ferro Total	mg/L	-	4,26	2,95	2,09	2,37	1,81	1,98	1,79
Manganês Total	mg/L	0,1	0,0626	0,0857	0,0691	0,0737	0,0626	0,063	0,0624
Mercurio Total	mg/L	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Molibdênio Total	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Níquel Total	mg/L	0,025	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Prata Total	mg/L	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Selênio Total	mg/L	0,01	0,0017	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Vanádio Total	mg/L	0,1	0,0012	0,0011	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Zinco Total	mg/L	0,18	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,1	0,0219	0,0125	0,0105	0,0083	0,0135	0,001	0,0129
Antimônio Dissolvido	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Arsênio Dissolvido	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bário Dissolvido	mg/L	-	0,0108	0,0103	0,0114	0,0103	0,01	0,0106	0,01
Boro Dissolvido	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cádmio Dissolvido	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Chumbo Dissolvido	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cobalto Dissolvido	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Identificação da amostra	Uni.	CONAMA 357/2005 - Classe 2	ASP-01	ASP-02	ASP-03	ASP-04	ASP-05	ASP-06	ASP-DUP-01 (coletado junto ao ASP- 05)
Cobre Dissolvido	mg/L	0,009	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cromo Dissolvido	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ferro Dissolvido	mg/L	0,3	3,51	0,468	0,518	0,38	0,206	0,257	0,209
Manganês Dissolvido	mg/L	-	0,0466	0,0564	0,0614	0,0632	0,0544	0,0615	0,0533
Mercúrio Dissolvido	mg/L	-	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Molibdênio Dissolvido	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Níquel Dissolvido	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Prata Dissolvido	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Selênio Dissolvido	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Vanádio Dissolvido	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Zinco Dissolvido	mg/L	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

### 6.4.3 Resultados e considerações

Para os metais totais que apresentam limites normativos na citada Resolução, nenhum parâmetro apresentou concentração superior à norma. Já no caso dos metais dissolvidos, somente o Ferro apresentou concentrações acima do limite da norma nas amostras de água superficial coletadas nos pontos ASP-01 (3,51 mg/L), ASP-02 (0,468 mg/L), ASP-03 (0,518 mg/L) e ASP-04 (0,38 mg/L). Importante ressaltar que a maior concentração desse parâmetro foi no ponto ASP-01 (não atingido), demonstrando que passados quase 5 anos do rompimento, o rejeito não está impactando diretamente a concentração dos parâmetros analisados na área atingida da cachoeira.

Com base nos resultados obtidos no estudo apresentado, concluiu-se que a área investigada, apesar das concentrações dos parâmetros não terem sido significativamente alteradas quando se compara os pontos não atingidos com os pontos atingidos, passando-se quase 5 anos do rompimento, estava apta a passar por um processo de recuperação ambiental, com harmonia paisagística e construção/adaptação de espaços para lazer, a fim de atender a população do entorno.

## 6.5 Plano de caracterização após a revitalização (SRK, 2020)

Após a execução das intervenções, faz-se necessário uma segunda caracterização ambiental da área, de forma a comparar os cenários e comprovar a eficácia das ações de recuperação selecionadas.

A Fundação Renova elaborou uma proposta do Plano de Caracterização de solo, sedimentos e águas superficiais para a área da Cachoeira Camargos, para aprovação da CT-GRSA e Comitê Interfederativo, que se encontra integralmente transcrito no **Apêndice F**.

# 7 Programa de monitoramento hídrico da Cachoeira Camargos

## 7.1 Resultados da Avaliação QA/QC

Nesta seção serão apresentados os resultados da avaliação QA/QC de acordo com os critérios de análise selecionados, conforme apresentado na Seção 5. Devido à ausência de determinados resultados e documentos não foi possível realizar algumas avaliações QA/QC, a saber:

- Duplicatas – Não foram reportados laudos de duplicatas;
- Brancos de campo e/ou equipamento – Não foram reportados laudos de branco.

A avaliação quanto aos demais critérios os quais foi possível realizar análise serão descritos nos tópicos a seguir. No **Apêndice G** são apresentadas as tabelas de avaliação do QA/QC.

### 7.1.1 Cadeias de Custódia/Fichas de campo

Todas as fichas de campo e/ou cadeia de custódia foram checadas pela SRK para verificar a temperatura de recebimento da amostra pelo laboratório e os parâmetros *in situ*.

As amostras de água superficial do programa de monitoramento hídrico da Cachoeira Camargos, tanto no período pré intervenção, quanto no período pós intervenção apresentaram fichas de campo. Entretanto, nas fichas de campo disponibilizadas pela *Mérieux NutriSciences/Bioagri Ambiental* (out/2018 a mar/2020), não há informação sobre a temperatura de recebimento das amostras. Nas fichas de campo disponibilizadas pelo laboratório ALS Ambiental (ago/20 a set/21) constam as temperaturas de recebimento da amostra, com exceção das amostragens feitas em 18/09/2020 e 28/06/2021, que não foi informado a temperatura.

Após avaliação das temperaturas disponíveis, foi verificado que, no recebimento das amostras pelo laboratório, os resultados variaram entre 4 e 6°C, em conformidade com o estabelecido pelo Guia Nacional de Coleta (CETESB e ANA, 2011), 4°C ± 2°C.

A SRK avalia positivamente as temperaturas de recebimento das amostras pós-intervenção. Entretanto, a falta dessa informação para as amostras coletadas no período pré intervenção são falhas, não sendo possível verificar a qualidade dos dados segundo este critério. O **Apêndice G** traz os resultados da análise.

Com relação aos parâmetros mensurados *in situ*, durante o período pré intervenção, os seguintes parâmetros foram medidos em campo: Oxigênio Dissolvido, pH e Temperatura da Amostras. Após a intervenção, incluiu-se a esta lista, o parâmetro turbidez. Vale destacar que no período pré intervenção a turbidez era analisada em laboratório.

### 7.1.2 Holding Time/Prazo de validade

Nos laudos emitidos pela *Mérieux NutriSciences*, entre outubro de 2018 e março de 2020, são informados a data e horário da análise de cada parâmetro, os quais foram verificados, segundo os prazos estabelecidos pela *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23ª Edição* (APHA/WWA/WEF, 2017).

O mesmo procedimento foi realizado para os laudos emitidos entre agosto de 2020 e setembro de 2021, pela ALS Ambiental.

A Tabela 7.1 indica a porcentagem de análises realizadas fora do prazo determinado pelo *Standard Methods* (APHA/WWA/WEF, 2017) para cada parâmetro das amostras analisadas pela *Mérieux NutriSciences* e ALS Ambiental.

**Tabela 7.1: Resultado das análises fora do prazo por parâmetro de ambos os laboratórios Mérieux NutriSciences (out/19 a mar/20) e ALS Ambiental (ago/2020 a set/2021).**

Parâmetro	Prazo limite em dias (APHA/WWA/WEF, 2017)	Nº de dados	Nº de Falhas	% de Falhas
Alumínio	180	94		0
Alumínio Dissolvido	180	94		0
Arsênio	180	94		0
Arsênio Dissolvido	180	94		0
Bário	180	94		0
Cádmio	180	94		0
Cádmio Dissolvido	180	94		0
Chumbo	180	94		0
Cianeto	14	92		0
Cloreto	28	88		0
Coliformes Totais	1	94	1	1
Cor Aparente	2	94	3	3
DBO	2	94	2	2

Parâmetro	Prazo limite em dias (APHA/WWA/WEF, 2017)	Nº de dados	Nº de Falhas	% de Falhas
DQO	28	94		0
<i>Escherichia coli</i>	1	94	1	1
Estreptococos fecais	-	94		0
Ferro	180	94		0
Ferro Dissolvido	180	94		0
Fósforo Total	28	94		0
Manganês	180	94		0
Manganês Dissolvido	180	94		0
Mercúrio	28	94		0
Mercúrio Dissolvido	28	92		0
Níquel	180	94		0
Nitrato (como N)	2	94		0
Nitrito (como N)	2	94		0
Nitrogênio Amoniacal	28	94		0
Selênio	180	94		0
Sólidos Dissolvidos Totais	7	94	12	13
Sólidos Sedimentáveis	2	94	2	2
Sólidos Suspensos Totais	7	94	12	13
Sólidos Totais	7	94	12	13
Sulfato	28	94		0
Sulfeto	28	66		0

Para os parâmetros Coliformes Totais, *Escherichia Coli*, Cor Aparente, Sólidos Sedimentáveis e DBO as falhas observadas representam uma pequena porção da série histórica, inferior a 10%. Para o DBO, Sólidos Sedimentáveis e cor aparente além do número de falhas ser muito baixo, a média e mediana são fundamentalmente idênticas, o que indica que essas poucas falhas não afetam o perfil dos dados e, além disso, todos os resultados estão conformes com a legislação. Na hipótese destas falhas, na realidade, apresentarem concentrações acima dos limites de qualidade, seriam claramente outliers e bastante distintos do perfil geral dos dados, o que não é esperado no contexto que temos.

Como a *Escherichia Coli* e Coliformes Totais apresentam apenas uma única falha, não há qualquer prejuízo ao monitoramento.

Já para a série de sólidos (Sólidos Dissolvidos Totais, Sólidos Totais e Sólidos Suspensos Totais), não é esperada alteração significativa pelo tempo de análise, desde que garantidos os procedimentos em laboratório, por se tratar de uma avaliação gravimétrica e in natura.

### 7.1.3 Duplicatas de campo

Não houve duplicata de campo.

### 7.1.4 Brancos

Não houve brancos de campo ou de equipamento. Os brancos de laboratório foram tratados no item 7.1.7 a seguir.

### 7.1.5 Parâmetros Totais vs. Parâmetros Dissolvidos

Não foram verificadas inconsistências quando comparados os resultados obtidos da relação entre a fração total e dissolvida tanto para as amostras de água superficial. Os valores reportados para a fração dissolvida, em todos os casos, foram menores ou iguais aos valores identificados para a fração total. A SRK entende que a resposta da avaliação aponta para uma boa qualidade e confiabilidade dos dados.

### 7.1.6 Limites de Quantificação (Q) vs. Legislação

Todos os limites de quantificação (LQ) foram checados para verificar se estavam abaixo ou igual ao valor máximo permitido (VMP) das legislações resolução CONAMA nº 357/2005 (água doce classe 2) para água superficial. O resultado da análise demonstrou que todos os limites de quantificação dos laboratórios utilizados estavam abaixo do valor máximo permitido pela legislação, para todos os parâmetros da água superficial.

### 7.1.7 QA/QC interno (laboratório)

Todos os laudos foram checados pela SRK para verificar se os brancos internos ao laboratório estavam abaixo do limite de detecção e se os resultados do ensaio de recuperação se encontravam na faixa esperada. Como resultado da análise, verificou-se que todos os brancos estiveram abaixo do limite de quantificação e todos os ensaios de recuperação estiveram na faixa aceitável tanto na fase de caracterização inicial quanto na fase de monitoramento dos pontos a montante e a jusante.

Importante ressaltar que nos laudos da ALS Ambiental (fase de monitoramento a montante e a jusante), não constavam análises de QA/QC interno (brancos e ensaio de recuperação) da amostra COL\_CMG\_80 (de 03/08/2020) até a amostra COL\_CMG\_111 (de 28/06/2021), passando a apresentar os dados da amostra COL\_CMG\_112 (de 29/07/2021) até a amostra COL\_CMG\_117 (de 23/09/2021).

Considerando que ambos os laboratórios contratados pela Fundação Renova possuem acreditação ABNT NBR ISO/IEC 17.025/2017, a SRK avalia positivamente a qualidade e confiabilidade do conjunto de dados a partir deste critério, porém, recomenda que a Fundação Renova solicite ao laboratório ALS Ambiental que apresente os resultados de seus controles internos aplicados ao conjunto de análises relacionadas às amostras da fase de monitoramento dos pontos a montante e a jusante nos laudos faltantes. Ademais, espera-se que os novos laudos continuem vindo de forma completa.

## 7.2 Metodologia

De posse do banco de dados consolidado foi realizada a análise do conjunto de dados representativos ao contexto pré e pós-intervenção na Cachoeira Camargos.

A análise considerou toda a gama de parâmetros do monitoramento. Inicialmente, foram avaliados os parâmetros em função dos padrões de qualidade de água estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005. Foram estabelecidos como parâmetros de interesse aqueles que apresentaram ao menos uma extrapolação ao respectivo padrão de qualidade.

Posteriormente, procede-se com a subdivisão do conjunto global de dados em subconjuntos referentes à distribuição espacial dos resultados (montante e jusante), período hidrológico (seco e chuvoso) e período de monitoramento (pré e pós-intervenção). A subdivisão adotada permitiu compreender cada contexto específico e suas relações a partir da análise da estatística descritiva dos dados.

Compreendidos os contextos e os resultados da análise preliminar a partir das estatísticas descritivas, procedeu-se com análises das medidas de tendência central (média e/ou mediana) para verificar se os subgrupos de dados apresentavam diferença estatística significativa. Para esta análise foram consideradas as relações entre os diferentes subgrupos que refletissem sentido físico e fossem consistentes com o objetivo destes estudos.

Como última etapa da análise de dados, foi realizada análise de correlação entre os parâmetros, inclusive aqueles que se mostraram em conformidade com os padrões de qualidade de água superficial com o objetivo de se identificar eventuais relações que possam justificar os resultados obtidos com a análise das estatísticas descritivas e medidas de tendência central.

### 7.2.1 Consolidação do Banco de Dados

Através dos laudos disponibilizados pela Fundação Renova, foi possível realizar a compilação dos dados de monitoramento.

Identificou-se que algumas fichas de campo e laudos não possuíam as coordenadas do ponto de coleta. Dessa forma, foram consideradas primeiramente as coordenadas reportadas nas fichas de campo, por ser um dado reportado pelos técnicos de campo no momento da coleta, mas na ausência dessa informação nas fichas de campo, eram verificadas as fichas eletrônicas, laudos e, complementada com dados fornecidos pela Fundação Renova. No **Apêndice I** é apresentado uma tabela com as coordenadas de cada ponto e sua respectiva fonte.

Verificou-se que os pontos COL\_CMG\_04, coletado em 24 de outubro de 2018 e o ponto COL\_CMG\_08, amostrado em 20 de dezembro de 2018, estão localizados na própria Cachoeira Camargos, não se enquadrando na classificação dos demais pontos, montante e jusante. Portanto, com a finalidade de realização de avaliações correlatas quanto à localização, foi orientado pela Fundação Renova, a não incorporação desses resultados no presente estudo.

Já os pontos COL\_CMG\_58, COL\_CMG\_64, COL\_CMG\_65, COL\_CMG\_66 possuem coordenadas que os localizam a jusante da Cachoeira Camargos, entretanto fora do corpo hídrico. Dessa forma, foi feito um ajuste manual das coordenadas e seus resultados serão tratados com as devidas ressalvas. Na Figura 7.1 é apresentada a localização de cada ponto, assim como a própria Cachoeira Camargos.

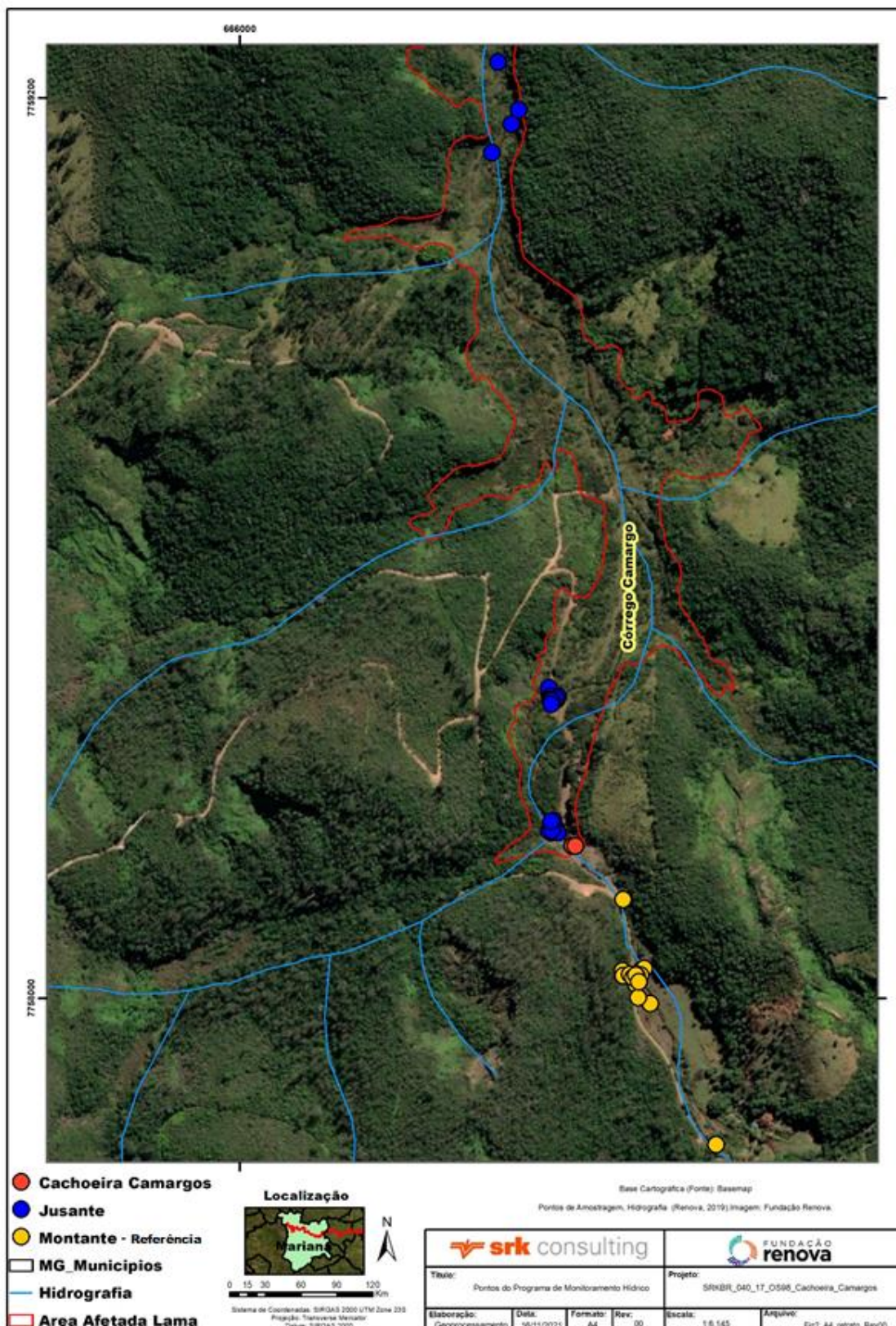


Figura 7.1: Localização dos Pontos do Programa de Monitoramento Hídrico

## 7.2.2 Critérios Regulatórios

Uma vez que o local é utilizado para banho de moradores locais e turistas (FUNDAÇÃO RENOVA, 2018), o desenvolvimento deste estudo considerou os valores máximos permitidos nas Resoluções CONAMA 357/2005 como referência qualitativa dos parâmetros avaliados. A Resolução citada é brevemente descrita a seguir.

- Resolução CONAMA nº 357/2005

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”.

De acordo com o Art. 42 da supracitada resolução, “as águas doces são consideradas Classe 2, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos”. Uma vez que o curso d’água em questão não apresenta enquadramento segundo seus usos prioritários (ANA, 2015), suas águas são, então, classificadas conforme mencionado anteriormente.

Segundo essa resolução, em seu Art. 4, as águas da classe 2 se destinam:

- a. Ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b. À proteção das comunidades aquáticas;
- c. À recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d. À irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e. À aquicultura e à atividade de pesca.

Destaca-se que o monitoramento da qualidade da água realizado pela Fundação Renova, desde 24 outubro de 2018, foi pautado em atender a DN Copam 01/2008 e a resolução Conama 357/2005 qualidade da água para classe 02, qualidade das águas superficiais dos locais onde a Fundação Renova atua, alinhado às responsabilidades da Fundação Renova no que tange a reparação, em consonância com o objetivo deste monitoramento, que não foi o de atender aos critérios de balneabilidade.

Porém, para as ações futuras, está descrito no Plano de Caracterização (**Apêndice F**), em conformidade com o solicitado na NT16.2021, avaliação das condições de balneabilidade, norteada pela Resolução Normativa CONAMA nº274/2000, do Ministério do Meio Ambiente, que define os critérios para a classificação de águas destinadas à recreação de contato primário.

## 7.3 Concentrações Comparadas aos Critérios Regulatórios

De acordo com os laudos reportados, foram identificados, para diferentes parâmetros, resultados abaixo do Limite de Quantificação (LQ). A Tabela 7.2 indica a porcentagem destes resultados considerando as 92 amostragens realizadas a montante e jusante da Cachoeira Camargos entre outubro de 2018 e setembro de 2021. Os parâmetros que apresentaram a totalidade dos resultados abaixo do limite de quantificação não foram considerados na comparação aos critérios regulatórios, estando estes destacados em negrito nesta mesma tabela.

**Tabela 7.2: Sumário de resultados abaixo do Limite de Quantificação por parâmetro**

Parâmetro	Unidade	LQ / Faixa <sup>1</sup>		Resultados abaixo do LQ (%)
		Mérieux NutriSciences	ALS Ambiental	
Alumínio (Al)	mg/L	0,001 / 0,005	0,025	10%
Alumínio, dissolvido (Al)	mg/L	0,001	0,025	67%
Arsênio (As)	mg/L	0,001	0,0005	98%
<b>Arsênio, dissolvido (As)</b>	mg/L	0,001	0,0005	100%
Bário (Ba)	mg/L	0,001	0,005	0%
<b>Cádmio (Cd)</b>	mg/L	0,001	0,0005	100%
<b>Cádmio, dissolvido (Cd)</b>	mg/L	0,001	0,0005	100%
Chumbo (Pb)	mg/L	0,001	0,005	97%
Cianeto Total	µg/L	1	1	82%
Cloreto	mg/L	0,5 / 1	0,5	92%
Coliformes Totais	NMP/100 mL	100 / 10	18	0%
Cor Aparente	CU	5	5	10%
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio	mgO2/L	3 / 2	2	99%
DQO - Demanda Química de Oxigênio	mgO2/L	5	10	95%
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	1 / 10 / 100	18	1%
Estreptococos	UFC/100 mL	1	1	1%
Ferro (Fe)	mg/L	0,01 / 0,02	0,05	0%
Ferro, dissolvido (Fe)	mg/L	0,005 / 0,01	0,05	0%
Fósforo (P)	mg/L	0,001 / 0,005 / 0,01	0,005 / 0,0075	81%
Manganês (Mn)	mg/L	0,001	0,005	0%
Manganês, dissolvido (Mn)	mg/L	0,001	0,005	0%
<b>Mercúrio (Hg)</b>	mg/L	0,0001	0,00005	100%
<b>Mercúrio, dissolvido (Hg)</b>	mg/L	0,0001	0,00005	100%
Níquel (Ni)	mg/L	0,001	0,005	97%
Nitrato como N	mg/L	0,5	0,11	86%
Nitrito como N	mg/L	0,01	0,006	82%
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,1	0,05	90%
Oxigênio Dissolvido in situ	mg/L	0,1	0,1	0%
pH in situ	-	2 a 13	-	0%
Selênio (Se)	mg/L	0,001	0,0005	99%
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	05/10/2025	5	1%
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	0,3	0,1	97%
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	05/10/2025	5	73%
Sólidos Totais	mg/L	05/10/2025	5	0%
Sulfato	mg/L	0,5 / 5	0,5	90%
<b>Sulfeto</b>	mg/L	0,05	-	100%
<b>Sulfeto de Hidrogênio não Dissociado (H2S)</b>	mg/L	-	0,002	100%
Temperatura Amostra in situ	°C	1 a 50	-	0%
Turbidez in situ	NTU	0,1	0,1	0%

**Notas:**

<sup>1</sup> Valores de Limite de quantificação definidos nos laudos

Tendo como referência apenas os parâmetros que não apresentaram 100% dos resultados abaixo da faixa de trabalho (<LQ), avaliou-se a ocorrência de violações dos padrões de qualidade de águas da Resolução CONAMA nº 357/2005. Esta avaliação é apresentada no tópico a seguir.

### 7.3.1 Análise de Dados

#### Avaliação da conformidade pela Resolução CONAMA 357/2005

Considerando a série total de informações foram avaliados os resultados de forma a identificar aqueles que não atenderam à legislação para as variáveis físicas, químicas e biológicas caracterizadas quanto aos valores máximos permitidos para Classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005. O banco de dados é apresentado no **Apêndice J** e os laudos no **Apêndice K**.

Alguns parâmetros excederam o valor máximo permitido preconizado pela resolução, sendo eles: **Alumínio Dissolvido, Manganês Total, Ferro Dissolvido, Fósforo Total, Turbidez, Escherichia coli, pH e Oxigênio Dissolvido**. Os resultados desses parâmetros são representados de forma gráfica (Figura 7.2 a Figura 7.9), apresentando os pontos coletados a montante e jusante, as respectivas evoluções no tempo, assim como o valor máximo definido pela legislação.

Todos os demais parâmetros apresentaram conformidade com os limites determinados pela CONAMA 357/2005. São eles:

- Arsênio Total, Bário Total, Cádmio Total, Chumbo Total, Cloreto, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Mercúrio Total, Níquel Total, Nitrato como N, Nitrito como N, Nitrogênio Amoniacal, Selênio Total, Sólidos Dissolvidos Totais, Sulfato e Sulfeto de Hidrogênio.

Na Tabela 7.3 é indicada a quantidade de não conformidades em relação a Resolução CONAMA 357/2005 por parâmetro, período hidrológico (seco e chuvoso), local em relação à Cachoeira Camargos (Montante e Jusante) e período de monitoramento (Pré e Pós-intervenção). Os parâmetros não contemplados na tabela não apresentaram concentrações acima dos valores preconizados pela legislação.

**Tabela 7.3: Quantidade de não conformidades em relação a Resolução CONAMA 357/2005 por parâmetro, período hidrológico, local e período de monitoramento (pré e pós intervenção).**

Período	Local	Intervenção	N° amostras	Al D.	E. Coli	Fe D.	P T.	Mn T.	O.D.	pH	Turbidez	Total de não conformidades	
Seco	Montante	Pré	11	0	1	2	0	0	1	0	0	4	
		Pós	10	1	3	4	1	0	0	2	0	11	
	Jusante	Pré	11	0	0	1	0	0	1	0	0	2	
		Pós	10	0	4	4	0	0	0	0	0	8	
Chuvoso	Montante	Pré	13	1	3	6	0	1	1	0	0	12	
		Pós	9	0	1	5	0	0	2	3	0	11	
	Jusante	Pré	19	1	4	4	0	1	1	0	1	12	
		Pós	Pré	9	0	3	8	1	0	1	1	0	14
			Pós	9	0	3	8	1	0	1	1	0	14
<b>Geral</b>			<b>92</b>	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>34</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>74</b>	

A seguir são sumarizados os resultados frente à análise contra os padrões de qualidade.

- Metais - o parâmetro ferro dissolvido foi o que apresentou maior quantidade de resultados (37%) acima do limite preconizado (0,3 mg/L Fe), seguido de alumínio dissolvido (0,1 mg/L Al) e manganês total (0,1 mg/L Mn), com extrapolação de 3% e 2%, respectivamente.

- Parâmetros biológicos - a variável *Escherichia coli* apresentou não conformidades com a legislação (>1000 NMP / 100mL), em 21% das amostras.
- Parâmetros químicos - o oxigênio dissolvido apresentou 8% dos resultados abaixo de 5 mg/L, valor mínimo preconizado pela resolução, o pH apresentou-se fora da faixa permitida (6 a 9) em 7% das amostras e as concentrações de Fósforo estiveram acima do permitido pela legislação (0,1 mg/L), em 2% das amostras.
- Parâmetros físicos - com menor índice, a turbidez apresentou 1% dos resultados em desconformidade com o VMP (100 NTU) definido pela CONAMA 357/2005.

Ao se avaliar os dados considerando os períodos hidrológicos, é possível perceber que das 74 não conformidades ocorridas em toda a série histórica, 49 ocorreram no período chuvoso, o que representa 61% das extrapolações.

Na Tabela 7.4 são apresentados os dados da estatística descritiva dos parâmetros não conformes à legislação. No **Apêndice L** são apresentados os *boxplots* dos parâmetros não conformes, bem como a estatística descritiva para todos os parâmetros.

**Tabela 7.4: Estatística descritiva dos parâmetros não conformes à legislação.**

Parâmetro	Alumínio dissolvido	<i>Escherichia coli</i>	Ferro dissolvido	Fósforo	Manganês	Oxigênio Dissolvido in situ	pH in situ	Turbidez
CONAMA 357/2005 - Classe 2	0,1	1000	0,3	0,11	0,1	> 5,0	6,0 a 9,0	100
Nº amostras	92	88	92	92	92	86	92	92
Máximo	0,3090	86640	0,806	0,354	0,17	9,7	8,0	118,0
Mínimo	0,0005	9	0,002	0,001	0,02	2,7	5,5	0,1
Média	0,0206	2707	0,304	0,012	0,04	7,6	6,8	9,0
Mediana	0,0125	191	0,264	0,004	0,04	8,3	6,8	4,0
Desvio Padrão	0,0439	10182	0,168	0,041	0,02	1,6	0,5	18,1
Percentil 75	0,0125	490	0,397	0,005	0,05	8,8	7,2	5,7
Percentil 95	0,0799	16000	0,651	0,032	0,08	9,1	7,5	48,3

**Notas:**

<sup>1</sup> Ambiente Lótico

A seguir será apresentada a evolução temporal dos dados de monitoramento para cada um dos parâmetros que apresentaram ao menos uma não conformidade em comparação com os limites da legislação CONAMA 357/2005.

### Alumínio Dissolvido

De acordo com a Figura 7.2, nota-se das 92 análises para este parâmetro, apenas 3 estiveram acima do valor máximo permitido pela legislação, o que representa apenas 3% das amostras. O alumínio dissolvido esteve não conforme à CONAMA 357/2005 – Classe 2 no dia 24 de janeiro de 2020, sendo que à montante da Cachoeira Camargos a concentração de alumínio dissolvido foi de 0,198 mg/L, enquanto para jusante, foi de 0,309 mg/L. Já em 23 de setembro de 2021, apenas o ponto a montante apresentou extrapolação em relação a legislação, com valor de 0,18 mg/L

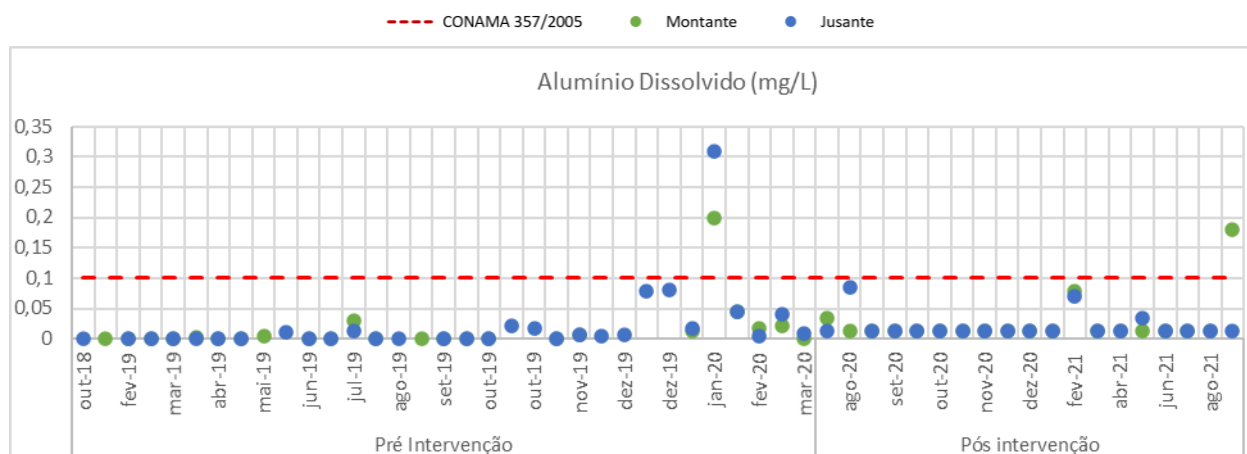


Figura 7.2: Resultados do parâmetro alumínio dissolvido comparado com a CONAMA 357/05.

### Escherichia Coli

Conforme apresentado na Figura 7.3, 19 das 88 análises de Escherichia Coli excederam o limite da legislação (22%). Essas extrapolações ocorreram, em sua maioria, no período chuvoso. Destaca-se a análise de 20 de março de 2020, com concentração de 86640 NMP/100 mL. Segundo a ficha de coleta, houve a ocorrência de chuvas nas últimas 24 horas, observou-se pastagem no entorno e presença de animais. Nesta mesma data, a jusante, observa-se uma redução de 640% na concentração de E. Coli (135 NMP/100 mL).

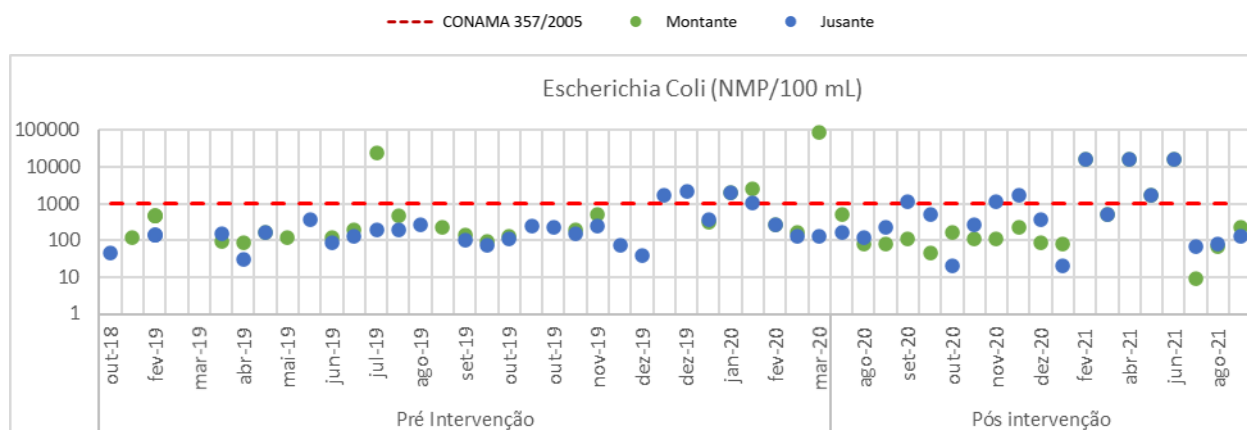


Figura 7.3: Resultados do parâmetro Escherichia Coli comparado com a CONAMA 357/05.

### Ferro Dissolvido

No geral, houve 34 extrapolações, o que representa 37% das 92 amostras. No início do monitoramento, entre outubro de 2018 e abril de 2019, ocorreram 6 extrapolações de ferro dissolvido, com valores de até 0,545 mg/L (Figura 7.4). Após abril de 2019, houve um período de aproximadamente 9 meses sem nenhuma não conformidade. A partir de fevereiro de 2020, observa-se uma tendência no aumento das concentrações do parâmetro, tanto a montante quanto a jusante, com 27 extrapolações. Os valores mais elevados foram verificados em 31 de março de 2021, com valor de 0,806 mg/L a montante e de 0,747 mg/L a jusante.

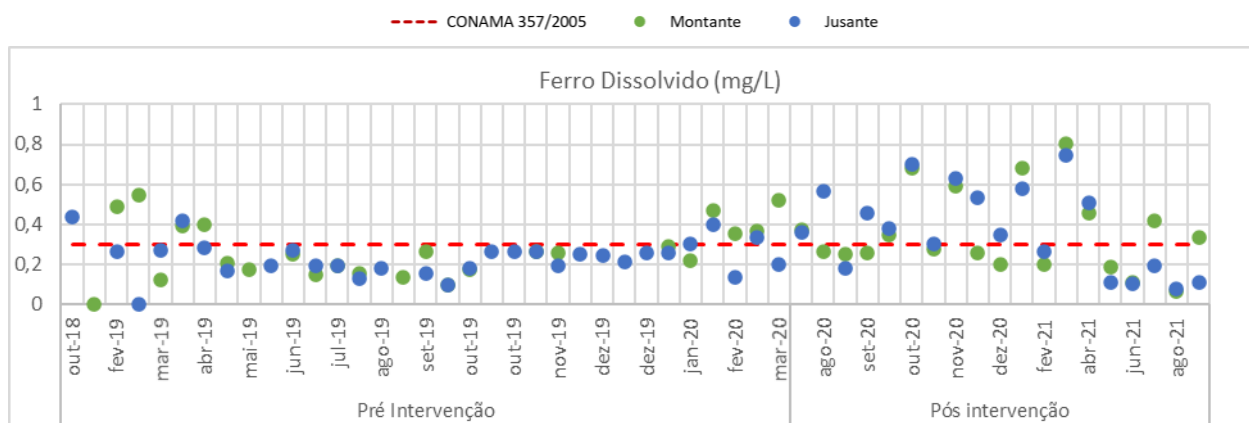


Figura 7.4: Resultados do parâmetro ferro dissolvido comparado com a CONAMA 357/05.

### Fósforo Total

Ao longo do monitoramento da Cachoeira Camargos, apenas duas análises excederam o valor máximo permitido pela legislação. Essas duas não conformidades representam apenas 2% das 92 amostras analisadas. A primeira ocorrência foi em 03 de setembro de 2020, no ponto a montante da cachoeira, com concentração de 0,153 mg/L e a segunda, em 04 de dezembro de 2020, a jusante da cachoeira, com valor de 0,354 mg/L.

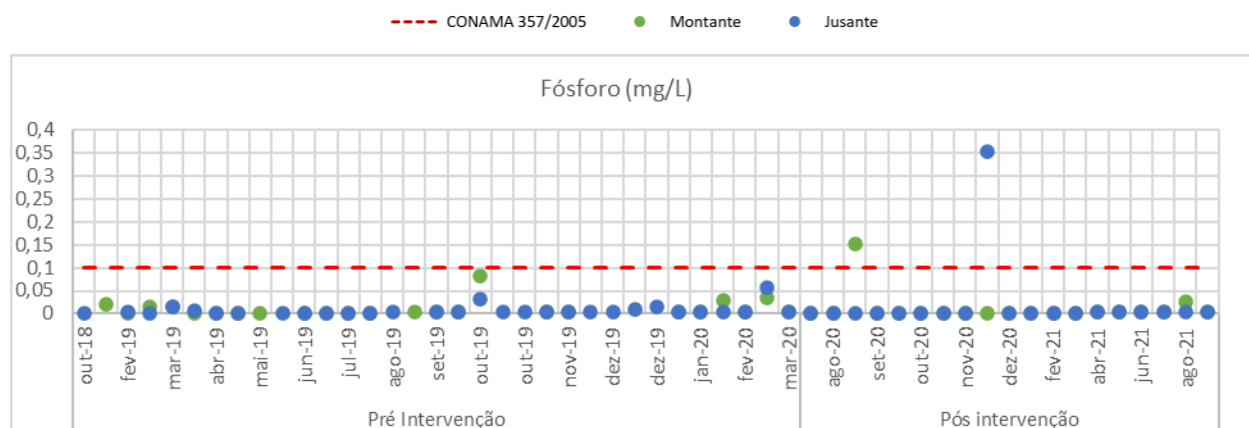
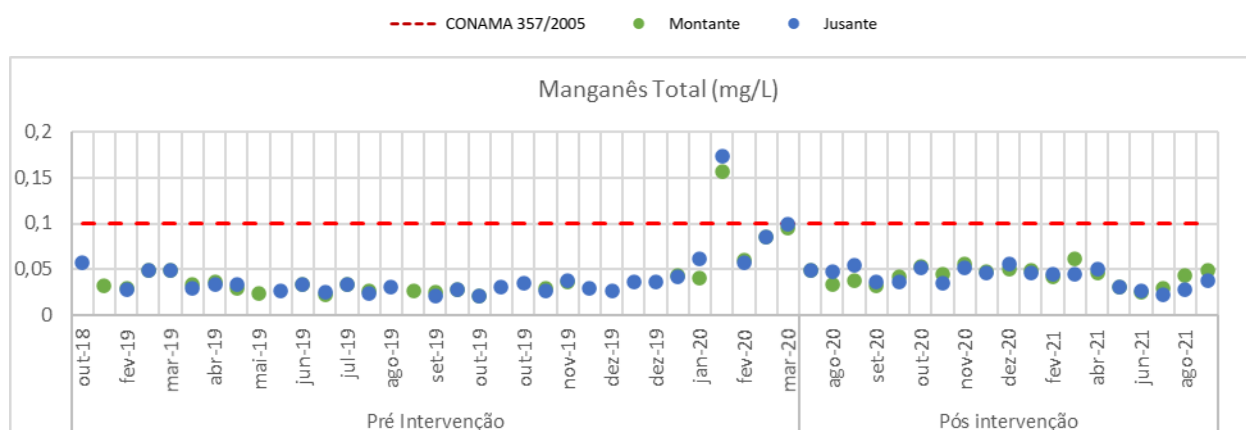


Figura 7.5: Resultados do parâmetro fósforo total comparado com a CONAMA 357/05.

### Manganês Total

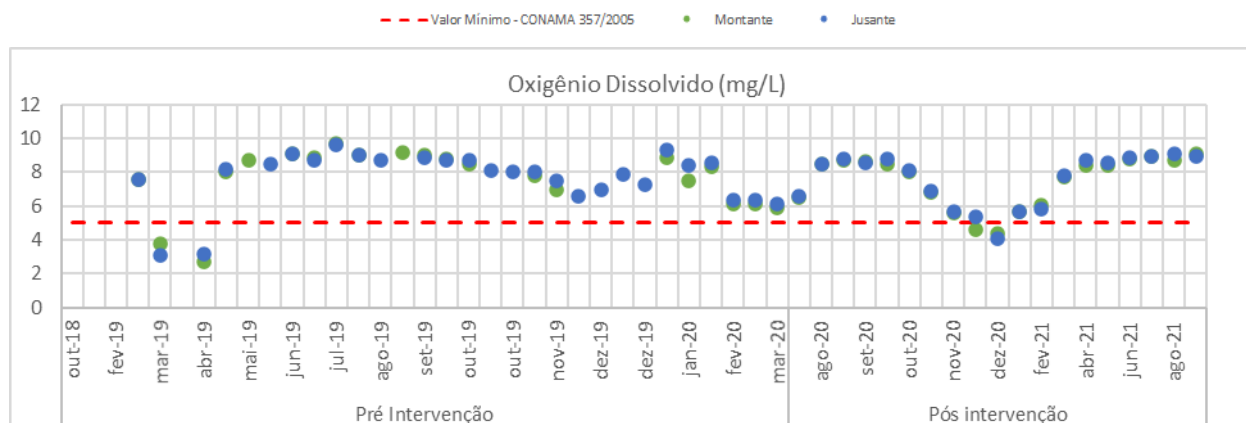
A Figura 7.6 apresenta os resultados de manganês total ao longo do monitoramento da Cachoeira Camargos. Observa-se apenas duas amostras com concentração superior ao valor máximo permitido pela legislação, ambas em 11 de fevereiro de 2020. Nessa data, a concentrações de manganês total a montante foi de 0,157 mg/L e a jusante de 0,173 mg/L.



**Figura 7.6: Resultados do parâmetro manganês total comparado com a CONAMA 357/05.**

### Oxigênio Dissolvido

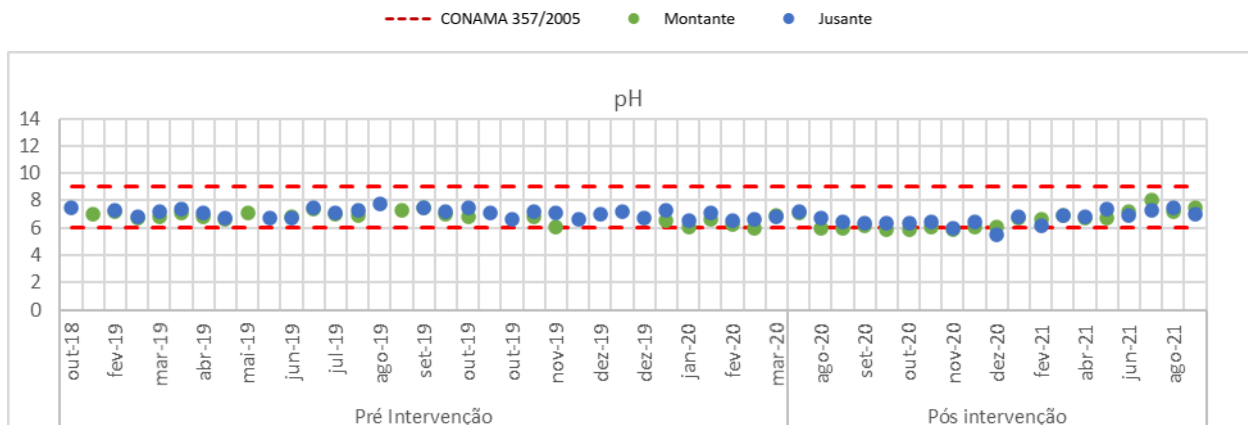
O oxigênio dissolvido está desconforme à legislação quando sua concentração é inferior a 5 mg/L, dessa forma, 7 amostras estiveram não conformes a CONAMA 357/2005, o que representa 8% das 86 análises. As menores concentrações ocorreram em 26 de março de 2019, com valor de 3,8 mg/L a montante e 3,1 mg/L a jusante.



**Figura 7.7: Resultados do parâmetro oxigênio dissolvido comparado com a CONAMA 357/05.**

### pH

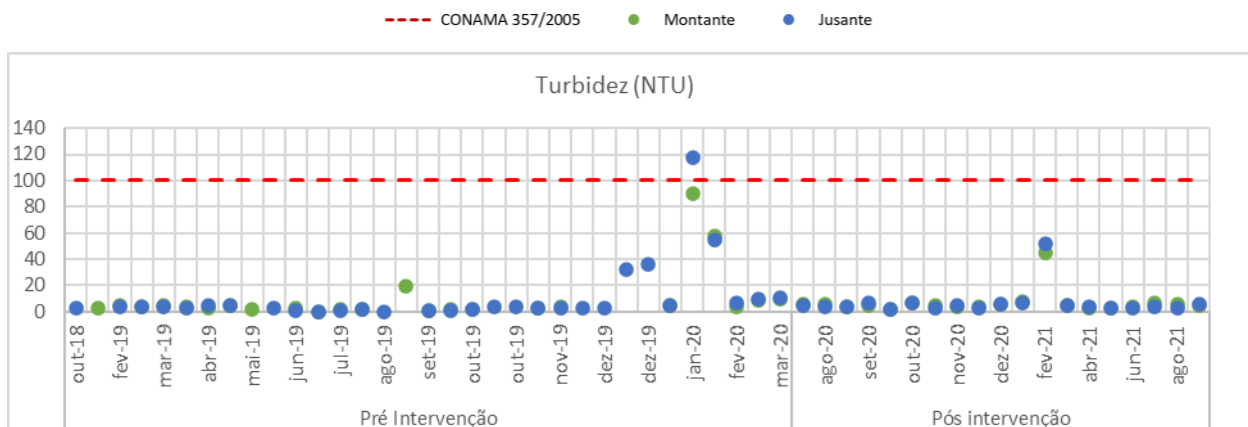
Segundo a CONAMA 357/05 – Classe 2, a faixa aceitável para pH é de 6 a 9, portanto a partir do gráfico da Figura 7.8, nota-se que 6 pontos estiveram com valor de pH menor do que 6 (7%). Essas não conformidade ocorreram entre agosto e dezembro de 2020, das quais as concentrações variaram entre 5,99 e 5,53, sendo que este último foi observado no dia 19/11/2020 no ponto a montante da cachoeira.



**Figura 7.8: Resultados do parâmetro pH comparado com a CONAMA 357/05.**

### Turbidez

De acordo com a Figura 7.9, nota-se que das 92 análises de turbidez, apenas uma esteve acima do valor máximo permitido pela legislação, o que representa apenas 1% das amostras. A única não conformidade à CONAMA 357/2005 – Classe 2 ocorreu no dia 24 de janeiro de 2020 e conforme apresentado na ficha de campo estava chovendo durante a coleta. Para essa data, à jusante da Cachoeira Camargos a concentração de turbidez foi de 118 NTU.



**Figura 7.9: Resultados do parâmetro turbidez comparado com a CONAMA 357/05.**

### Análise preliminar dos parâmetros de interesse

A partir da análise gráfica e da estatística descritiva é possível observar que os metais manganês e alumínio apresentam concentrações consistentes no espaço (montante e jusante) e concentrações abaixo dos respectivos padrões de qualidade com extrapolações pontuais. Considerando que são ocorrências isoladas e não se observa tal comportamento em nenhum outro parâmetro monitorado, infere-se que durante o evento de amostragem alguma condição local afetou estes parâmetros. É possível que, considerando que as ocorrências são verificadas tanto a montante quanto a jusante, este cenário esteja associado a uma eventual ressuspensão à montante da área monitorada.

Já o ferro dissolvido apresentou concentrações acima do padrão de qualidade, principalmente a partir de fevereiro de 2020. Em princípio, não se identifica evidências a partir dos dados que justifiquem tal comportamento, no entanto, essa condição é observada tanto a montante quanto a jusante da Cachoeira Camargos, sugerindo se tratar de uma condição natural desse ambiente e não às obras de intervenção.

Com relação ao fósforo total, são verificadas apenas 2 extrapolações, uma a montante e outra a jusante, em datas distintas no período pós intervenção. A partir das estatísticas descritivas é possível observar que o percentil 95 é inferior ao padrão de qualidade. Portanto, não há evidências a partir dos dados que indiquem que o fósforo total seja um ponto de atenção e as extrapolações, possivelmente, são *outliers*.

Para os parâmetros Turbidez, pH e OD se observa o mesmo cenário daquele apresentado para fósforo total. As estatísticas descritivas destes parâmetros demonstram que as extrapolações observadas são pontuais e não configuram, portanto, ponto de atenção quanto à qualidade das águas da Cachoeira Camargos para a estes parâmetros. Importante ressaltar que as extrapolações verificadas para estes parâmetros são também consistentes no espaço, ou seja, as características de montantes são também observadas a jusante.

O parâmetro *E.coli* apresenta, de maneira geral, série monitorada com concentrações abaixo do padrão de qualidade, contudo, é possível verificar que as extrapolações ocorrem durante o período chuvoso, sugerindo que o escoamento superficial seja responsável por aportar tais microrganismos para o curso d'água. Um aspecto importante é que durante o período pós intervenção não há consistência espacial das concentrações registradas, ou seja, se observam diferenças significativas (observar que o gráfico está em log) entre montante e jusante. Além disso, durante a maior parte do monitoramento, as concentrações de jusante se mostram superiores.

Dado o contexto, infere-se que as elevadas concentrações de *E.coli* estejam relacionadas à presença de animais homeotérmicos no entorno da Cachoeira Camargos.

Diante do cenário apresentado, preliminarmente, os dados indicam que não há qualquer alteração das características físicas e químicas das águas superficiais na área em que a Cachoeira Camargos está inserida, apontando para condição e variabilidade natural do ambiente analisado. Esta hipótese será testada a partir da análise das medidas de tendência central que serão apresentadas mais à frente no documento.

## Definição de parâmetros adicionais de interesse

Além dos parâmetros que extrapolaram a legislação ao menos uma vez ao longo do monitoramento, para este relatório foram selecionados parâmetros adicionais de interesse, para serem avaliados em conjunto. Foram considerados dois quesitos para a escolha desses parâmetros:

i –nexo de causalidade com a passagem da onda rejeito pela área de estudo: segundo o IGAM (2020) após o rompimento da Barragem de Fundão, observou-se elevação na concentração dos metais Alumínio, Ferro e Manganês, além da Turbidez e Sólidos Suspensos Totais. Portanto, **Alumínio Total, Ferro Total, Manganês Dissolvido, Sólidos Dissolvidos Totais, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos Totais e Sólidos Totais** foram selecionados para análise complementar do estudo;

ii – indicadores de contaminação por efluente sanitário: como foram encontradas altas concentrações de *E. Coli*, optou-se por acrescentar os parâmetros **Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrato como N, Nitrito como N e Nitrogênio Amoniacal**, devido a relação intrínseca que possuem com efluentes sanitários.

Na Tabela 7.5 é apresentada a estatística descritivas dos parâmetros selecionados. A estatística descritiva para todos os parâmetros pode ser encontrada no **Apêndice L**.

**Tabela 7.5: Estatística descritiva dos parâmetros adicionais de interesse.**

Parâmetro	Alumínio Total	DBO	Ferro Total	Manganês dissolvido	Nitrato como N	Nitrito como N	Nitrogênio Amoniacal	Sólidos Dissolvidos Totais	Sólidos Sedimentáveis	Sólidos Suspensos Totais	Sólidos Totais
CONAMA 357/2005 - Classe 2	-	5	-	-	10	1	<sup>1</sup>	500	-	-	-
N° amostras	92	91	92	92	92	92	92	92	92	92	92
Máximo	6,9100	4,9	9,88	0,148	1,5	0,460	0,45	120	0,50	57,0	130
Mínimo	0,0005	1,0	0,23	0,012	0,1	0,003	0,03	5	0,05	2,5	10
Média	0,2401	1,3	1,10	0,037	0,2	0,014	0,05	23	0,12	5,3	28
Mediana	0,0562	1,5	0,80	0,031	0,3	0,005	0,05	16	0,15	2,5	22
Desvio Padrão	0,8640	0,5	1,26	0,022	0,3	0,050	0,05	17	0,06	7,3	20
Percentil 75	0,1033	1,5	1,10	0,044	0,3	0,005	0,05	30	0,15	5,0	34
Percentil 95	0,8274	1,5	2,17	0,079	0,7	0,039	0,10	53	0,15	15,3	68

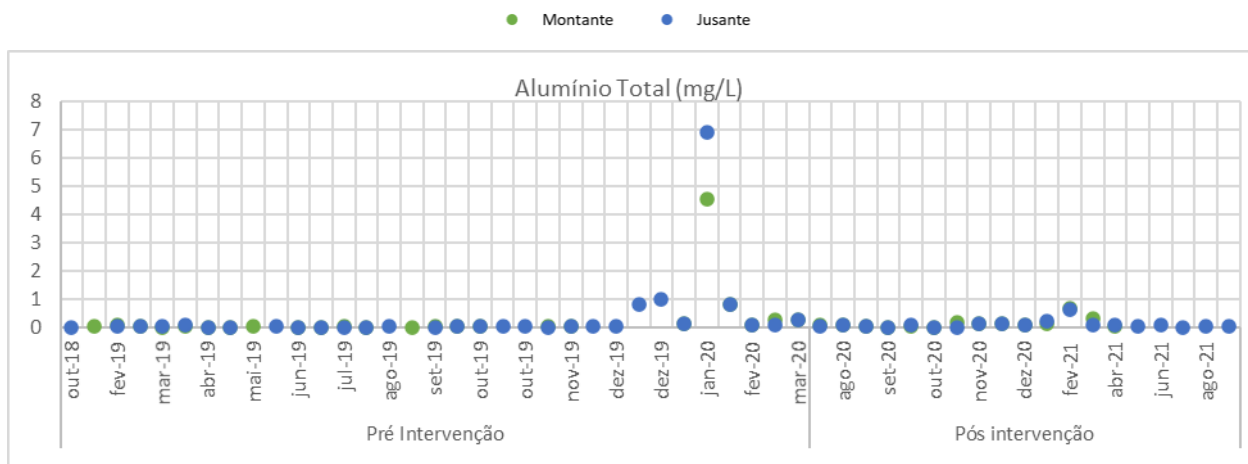
**Notas:**

- <sup>1</sup> 3,7 mg/L para pH ≤ 7,5
- 2,0 mg/L para 7,5 < pH ≤ 8,0
- 1,0 mg/L para 8,0 < pH ≤ 8,5
- 0,5 mg/L para pH ≥ 8,5

A seguir será apresentada a evolução temporal dos dados de monitoramento para cada um dos parâmetros adicionais julgados pertinentes ao estudo.

**Alumínio Total**

Ao longo do monitoramento da Cachoeira Camargos o alumínio total apresenta um comportamento relativamente constante. Observa-se alterações nessa tendência entre dezembro de 2019 e fevereiro de 2020 e em fevereiro de 2021. Nota-se que as concentrações mais elevadas de alumínio total, são referentes ao dia 24 de janeiro de 2020, com 4,56 mg/L a montante e 6,91 mg/L a jusante, data na qual também foram observadas as maiores concentrações para alumínio dissolvido. Vale ressaltar que essas concentrações mais elevadas ocorreram durante o período chuvoso.



**Figura 7.10: Resultados do parâmetro alumínio total.**

### Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Todas as análises de DBO foram reportadas em concentrações equivalentes ao limite de quantificação do método, com exceção da amostra coletada em 25 de abril de 2019. A concentração de DBO para essa data foi de 4,9 mg/L, próximo ao valor máximo permitido pela legislação, de 5,0 mg/L.

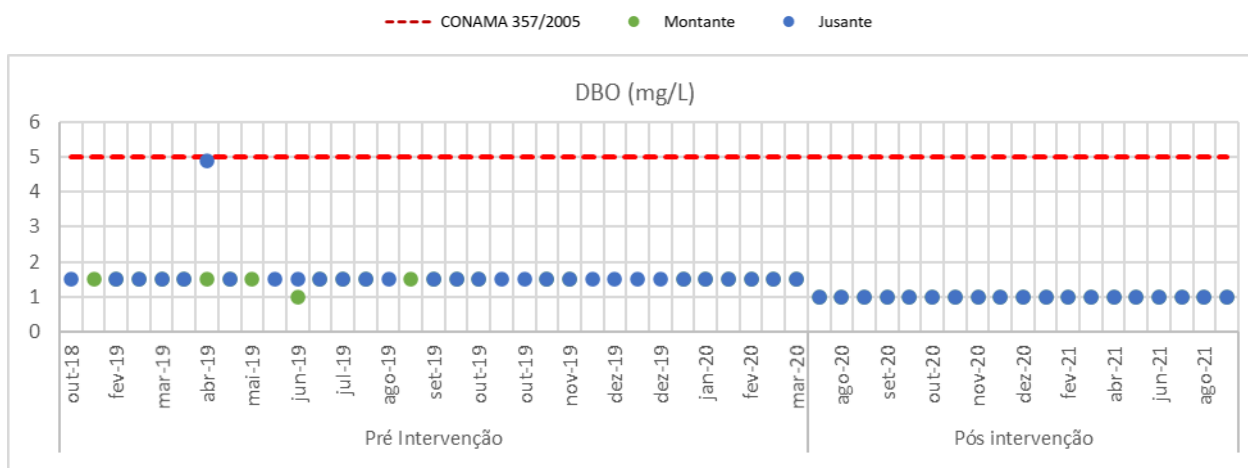


Figura 7.11: Resultados do parâmetro DBO comparado com a CONAMA 357/05.

### Ferro Total

As concentrações de ferro total, predominantemente variam até 2 mg/L, com apenas 8 análises acima deste valor. Destaca-se a amostragem de 24 de janeiro de 2020, na qual a concentração de ferro total a montante foi de 5,72 mg/L e a jusante 9,88 mg/L. Nestas datas foram relatadas a ocorrência de chuva durante a coleta, assim como a extrapolação de outros parâmetros como alumínio dissolvido e turbidez.

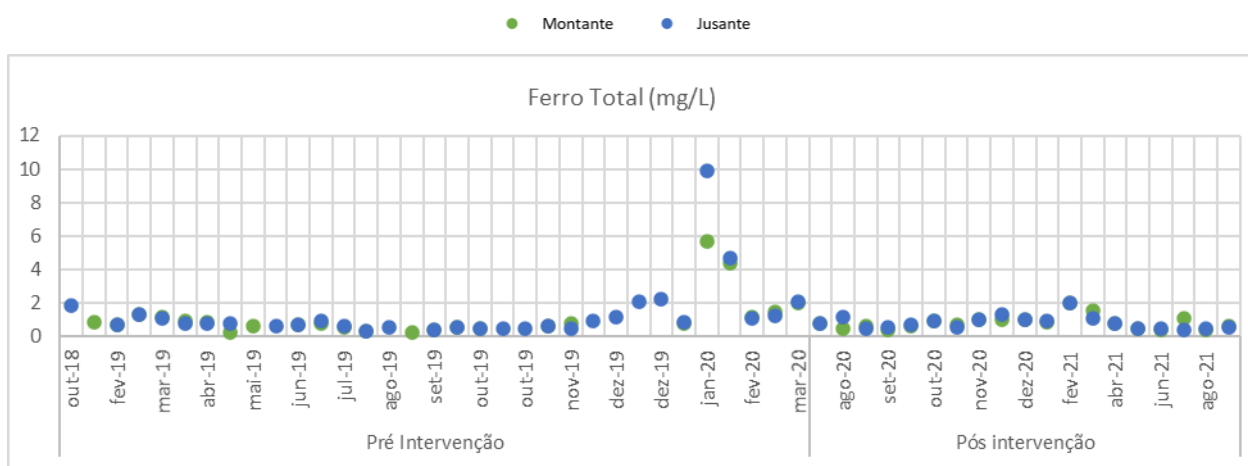


Figura 7.12: Resultados do parâmetro ferro total.

### Manganês Dissolvido

Ao longo do monitoramento observa-se que a concentração de manganês dissolvido varia predominantemente até 0,05 mg/L. Algumas análises variaram até 0,1 mg/L, mas os valores máximos foram verificados em 11 de fevereiro de 2020, com concentração de 0,148 mg/L a montante da cachoeira e de 0,132 mg/L a jusante.

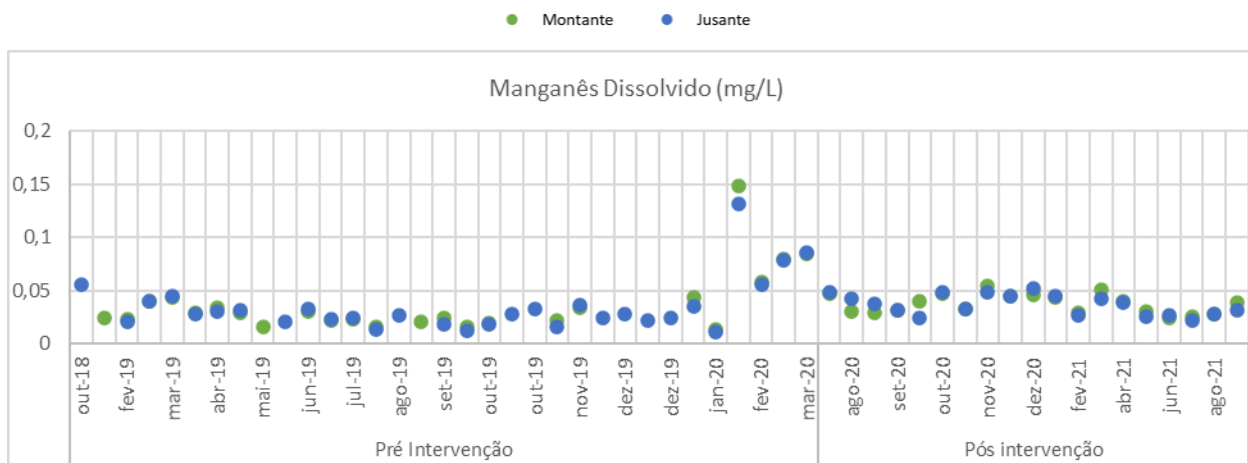


Figura 7.13: Resultados do parâmetro manganês dissolvido.

### Nitrato como N

Das 92 amostras analisadas, 86% foram reportadas em concentrações equivalentes ao limite de quantificação do método. A maior concentração de nitrato como N foi verificado no dia no dia 10 de janeiro de 2020, com valor de 1,5 mg/L, o qual é cerca de 6,7 vezes inferior em relação ao valor máximo permitido pela legislação.

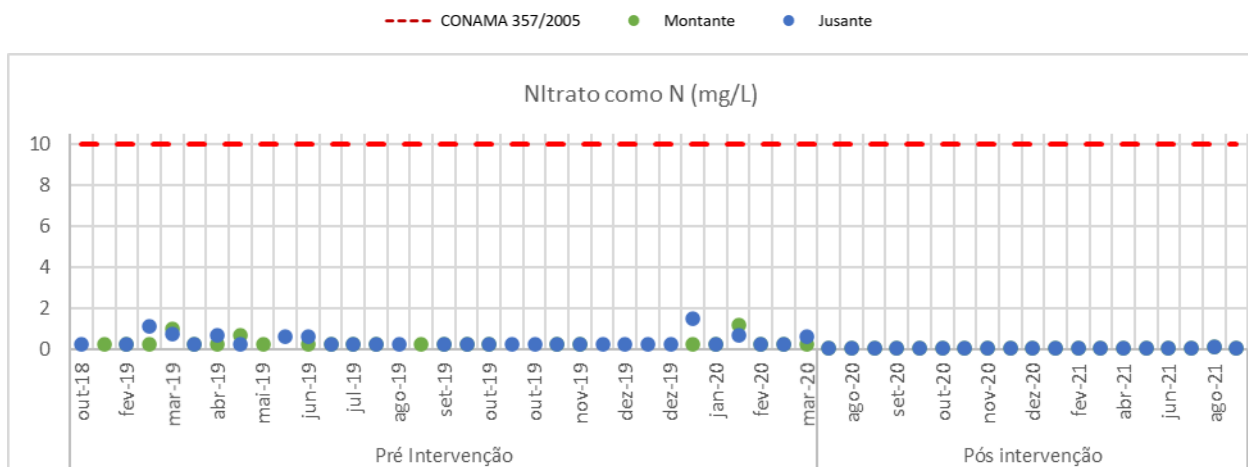


Figura 7.14: Resultados do parâmetro Nitrato como N comparado com a CONAMA 357/05.

### Nitrito como N

O nitrito como N foi reportado em concentrações equivalentes ao limite de quantificação em 82% de suas análises. Os demais valores variaram entre 0,01 e 0,46 mg/L, os quais são inferiores ao valor máximo permitido pela legislação de 1,0 mg/L.

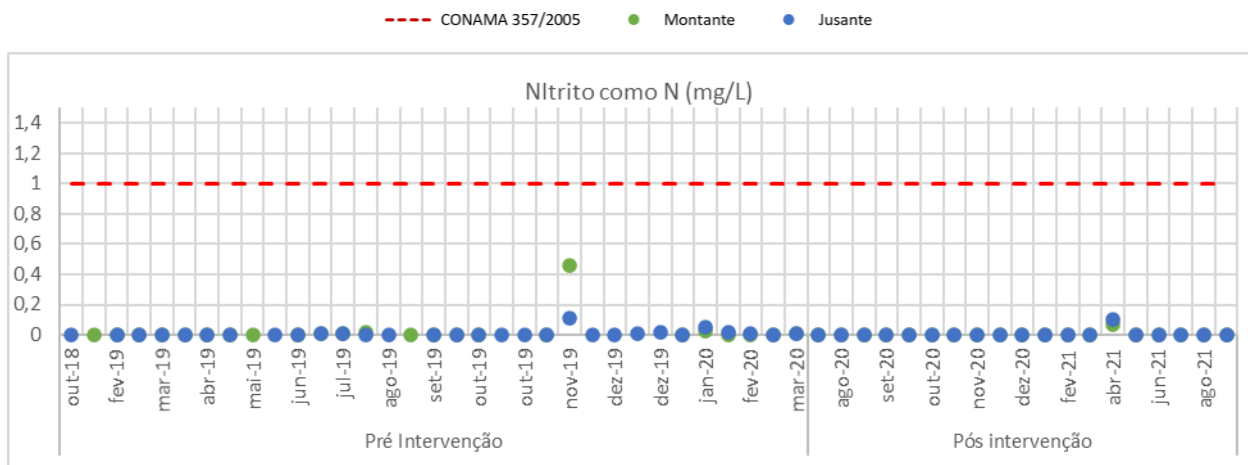
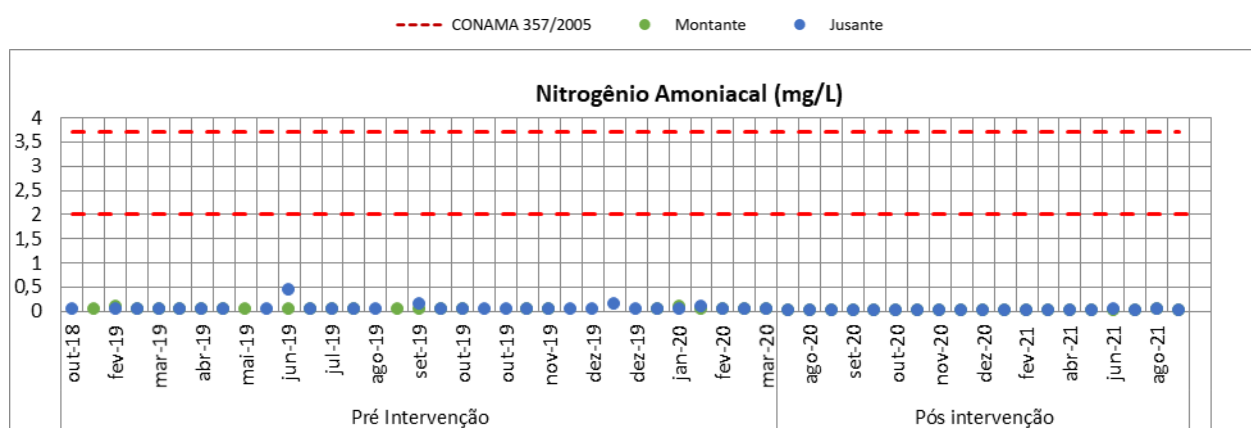


Figura 7.15: Resultados do parâmetro Nitrito como N comparado com a CONAMA 357/05.

### Nitrogênio Amoniacal

Os limites da legislação para o nitrogênio amoniacal variam de acordo com o pH. A maioria dos pontos apresentaram pH inferior a 7,5, para os quais o limite de nitrogênio amoniacal é de 3,7 mg/L. Os demais pontos apresentaram pH entre 7,5 e 8,0, no qual o limite de nitrogênio amoniacal é de 2,0 mg/L. O máximo observado para este parâmetro foi 0,46 mg/L, portanto todos os pontos estão conformes com a legislação.

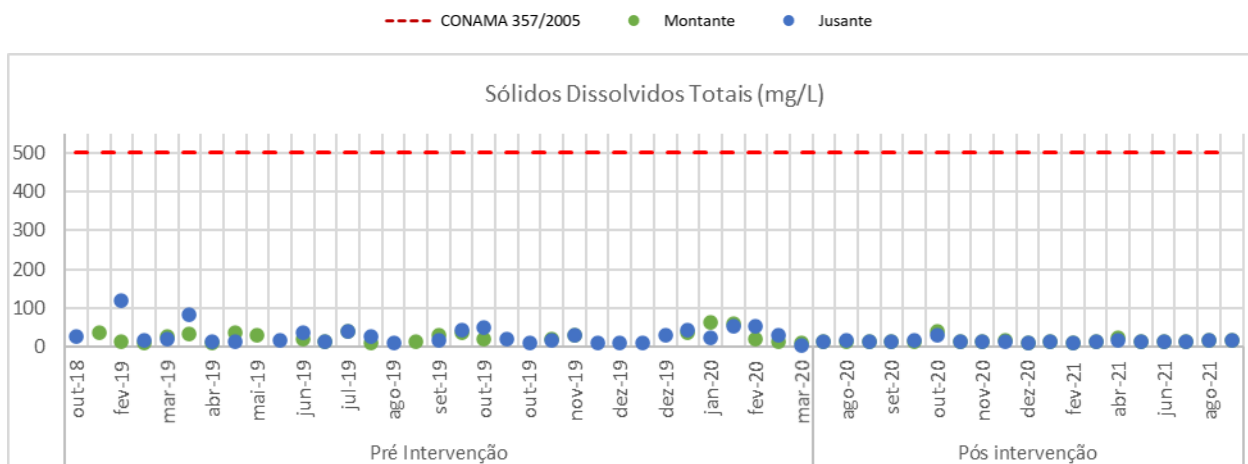


Notas: 3,7 mg/L para pH ≤ 7,5  
 2,0 mg/L para 7,5 < pH ≤ 8,0  
 1,0 mg/L para 8,0 < pH ≤ 8,5  
 0,5 mg/L para pH ≥ 8,5

Figura 7.16: Resultados do parâmetro nitrogênio amoniacal comparado com a CONAMA 357/05.

### Sólidos Dissolvidos Totais

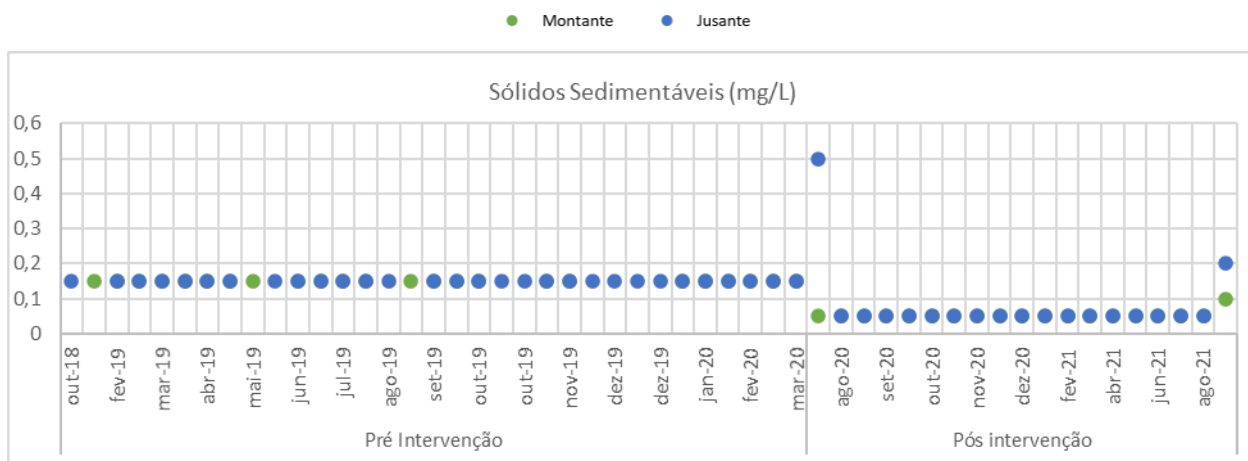
A maior concentração de sólidos dissolvidos totais foi de 120 mg/L em fevereiro de 2019. Em todas as demais análises o valor de sólidos dissolvidos totais não ultrapassou os 500 mg/L.



**Figura 7.17: Resultados do parâmetro sólidos dissolvidos totais comparado com a CONAMA 357/05.**

### Sólidos Sedimentáveis

Das 92 amostras analisadas, 97% foram reportadas em concentrações equivalentes ao limite de quantificação do método. Apenas no dia 03/08/2020 e no dia 23/09/2021 a concentração de sólidos sedimentáveis foi superior ao LQ.

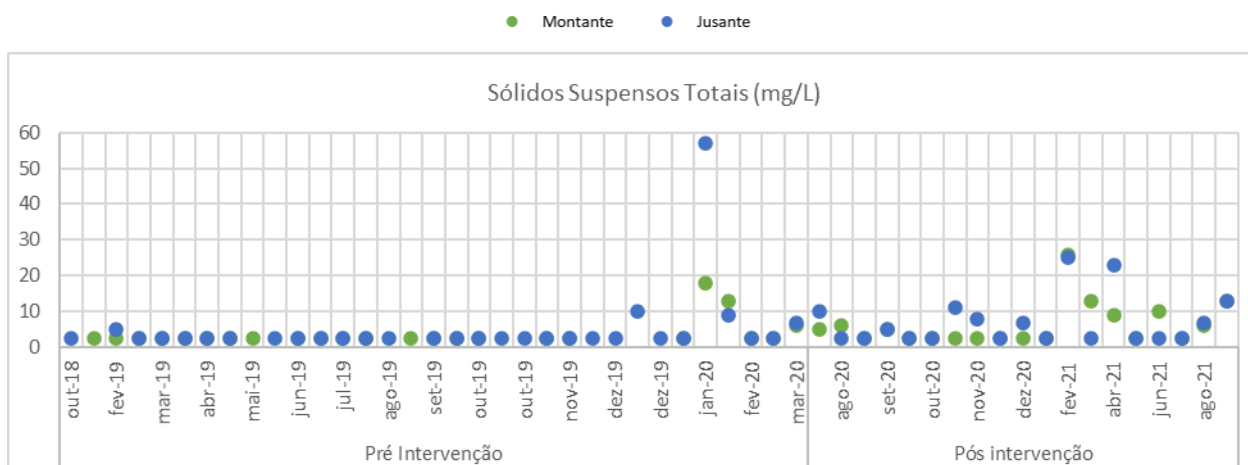


**Figura 7.18: Resultados do parâmetro sólidos sedimentáveis**

### Sólidos Suspensos Totais

Do início do monitoramento em outubro de 2018, até a primeira quinzena de dezembro de 2019, todas as análises tiveram concentração inferior ao limite de legislação. A partir da segunda quinzena de dezembro de 2019, houve concentrações de até 57 mg/L, observada em 24 de janeiro de 2020, a jusante da cachoeira.

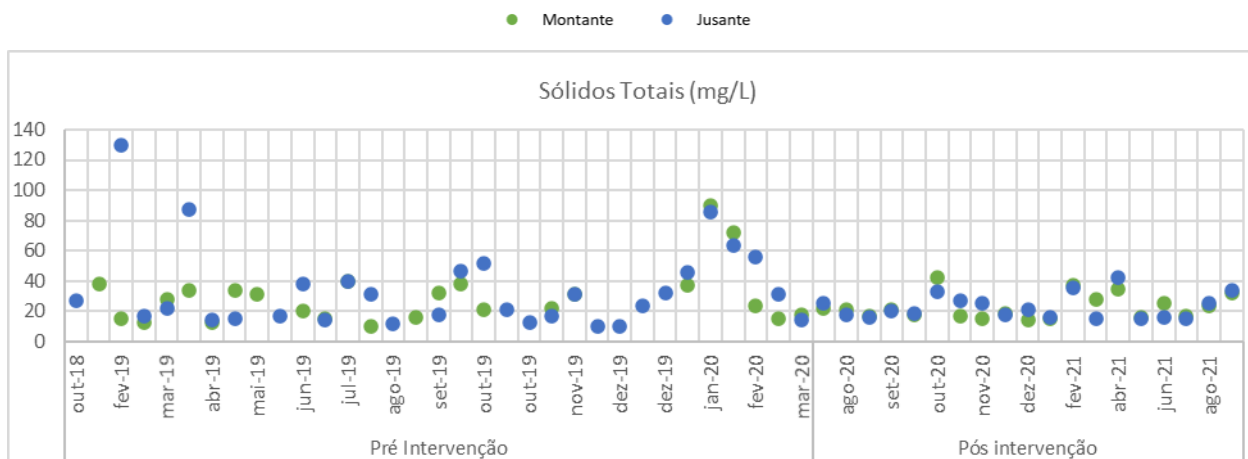
Vale lembrar que nesse dia estava chovendo durante a coleta, o que pode ter contribuído para este valor mais elevado.



**Figura 7.19: Resultados do parâmetro sólidos suspensos totais.**

### Sólidos Totais

Os sólidos totais estiveram presentes em todas as amostras, variando entre 10 mg/L e 130 mg/L ao longo do monitoramento, sendo que este valor mais elevado foi verificado em 12 de fevereiro de 2019.



**Figura 7.20: Resultados do parâmetro sólidos totais.**

### Análise preliminar dos parâmetros complementares

A partir das observações dos gráficos apresentados anteriormente, é possível verificar que o dia 24 de janeiro de 2020 apresenta condição específica, distinta do padrão observado ao longo do monitoramento. Observa-se que concentrações para alumínio total, ferro total e sólidos suspensos totais foram registradas acima do padrão da série monitorada pontualmente, inferindo-se, portanto, de alguma condição à montante

da área monitorada, tal como abordado na análise preliminar dos parâmetros de interesse, assim como da possível contribuição da chuva para a ocorrência desses resultados.

De maneira geral, os metais avaliados demonstram comportamento consistente no espaço e no tempo entre as frações total e dissolvida, sugerindo não haver nenhum elemento na área monitorada que tenha potencial para alterar suas concentrações. Contudo, verifica-se que o ferro dissolvido tem se elevado, enquanto a concentração de ferro total manteve-se relativamente estável. Apesar de não ser possível identificar evidência nos dados que justifiquem tal comportamento, infere-se que essa ocorrência esteja relacionada à condição local e não à remoção dos rejeitos, pois as concentrações superiores de ferro dissolvido registradas no período pós intervenção são consistentes entre montante e jusante.

Com relação aos parâmetros, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e DBO, avaliados devido à verificação de elevadas concentrações de *E.coli* e possível relação com fontes difusas de contaminação sanitária, não se observa nenhuma evidência que sugira que esses parâmetros devam ser ponto de atenção e que tenham relação com as elevadas concentrações de *E.coli* observadas.

Já os parâmetros completares da série sólida (SDT, SD e ST), também não se observa evidência que demonstre algum impacto na qualidade de água da Cachoeira Camargos nem devido à presença de rejeitos (pré intervenção) nem após a remoção deles através das obras de intervenção (pós intervenção). Além disso, se verifica consistência, no tempo e no espaço, das concentrações monitoradas, sugerindo similaridade das características entre montante e jusante.

### 7.3.2 Definição dos Cenários de Análise

Diante da hipótese levantada a partir da análise preliminar dos dados de que a consistência das concentrações observadas no espaço e no tempo, para todos os parâmetros, sugerem condição e variabilidade natural do ambiente, fez-se necessário estabelecer os cenários de análise para teste desta hipótese.

O estudo da avaliação da qualidade da água de Cachoeira Camargos será realizado levando-se em consideração diferentes cenários, conforme organograma apresentado na Figura 7.21.

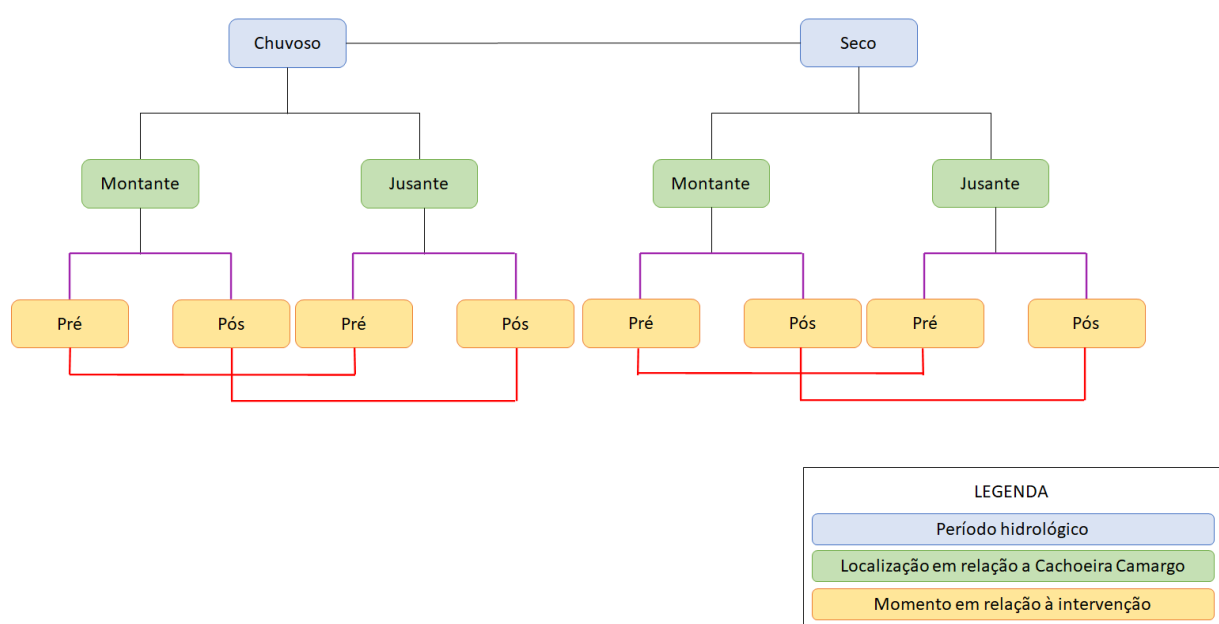


Figura 7.21: Organograma dos cenários avaliados no estudo.

A primeira análise será realizada entre os **períodos hidrológicos** chuvoso e seco, no intuito de compreender a influência das chuvas na qualidade da água e testar se os dados entre períodos hidrológicos contam com diferença estatística significativa.

Em segunda instância, serão avaliados os dados de acordo com o **espaço**, ou seja, montante e jusante da Cachoeira Camargos. É importante considerar que a passagem do rejeito ocorreu apenas a jusante da cachoeira, dessa forma, o ponto a montante apresenta-se como uma referência das características da água não alterada pelo rompimento da barragem de Fundão. Portanto, caso haja semelhança entre os cenários, é um indício de que não houve alterações significativas a jusante.

Os demais cenários serão complementados considerando-se o **tempo**. Utilizou-se a intervenção como um marco, sendo assim, o pré-intervenção representa o período entre outubro de 2018 e março de 2020, e o pós-intervenção, entre agosto de 2020 a setembro de 2021. Destaca-se que a intervenção foi realizada no poço principal da cachoeira, portanto, quaisquer alterações decorrentes dessa ação seriam notadas apenas no ponto a jusante da cachoeira.

Ao analisar todas as variáveis em conjunto, é possível fazer uma série de relações. Em princípio, o estabelecimento destas relações se deu ao fixar dois elementos e variando o terceiro. Por exemplo, como mostrado em roxo na Figura 7.21, mantendo fixo o período hidrológico e o espaço e variando apenas o tempo (pré e pós-intervenção) ou como mostrado em vermelho, fixando o período hidrológico e o tempo, mas alterando o espaço (montante e jusante).

Essas diferentes relações possibilitarão verificar a influência das chuvas, da intervenção na área e do uso e ocupação do solo.

A seguir serão discutidos cada um dos cenários apresentados.

### Período hidrológico

Na Tabela 7.6 são apresentadas as medianas dos parâmetros que foram considerados pertinentes ao contexto da área de estudo. A diferença percentual positiva significa que a mediana no período chuvoso foi maior do que no período seco, e um valor negativo significa o oposto, ou seja, que a mediana no período seco foi maior do que no período chuvoso.

**Tabela 7.6: Medianas dos resultados por parâmetro no período seco e chuvoso.**

Parâmetro	Unidade	Conama 357/2005 – Classe 2	Período Chuvoso	Período Seco	Diferença Percentual
Alumínio Total	mg/L	-	0,09	0,04	142%
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,1	<0,025	<0,025	-
DBO	mg/L	5	<3,0	<2,0	-
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	1000	249	154	62%
Ferro Total	mg/L	-	1	0,60	66%
Ferro Dissolvido	mg/L	0,3	0,3	0,20	53%
Fósforo Total	mg/L	0,11	<0,01	< 0,0050	-
Manganês Total	mg/L	0,1	0,05	0,03	57%
Manganês Dissolvido	mg/L	-	0,04	0,03	41%
Nitrato como N	mg/L	10	<0,5	<0,5	-
Nitrito como N	mg/L	1	<0,01	<0,01	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	1	<0,1	<0,1	-
Oxigênio Dissolvido	mg/L	>5	7,2	8,7	-17%
pH in situ	-	6,0 a 9,0	6,7	7,1	-6%
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	500	16	15,5	3%
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	-	<0,3	<0,3	-

Parâmetro	Unidade	Conama 357/2005 – Classe 2	Período Chuvoso	Período Seco	Diferença Percentual
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	-	<5	<5	-
Sólidos Totais	mg/L	-	23	21	10%
Turbidez	NTU	100	4,5	3,2	42%

**Notas:**

- <sup>1</sup> 3,7 mg/L para pH ≤ 7,5
- 2,0 mg/L para 7,5 < pH ≤ 8,0
- 1,0 mg/L para 8,0 < pH ≤ 8,5
- 0,5 mg/L para pH ≥ 8,5

De maneira geral, nota-se que o período das chuvas promoveu incremento nas concentrações da maioria dos parâmetros, o que é esperado devido ao escoamento superficial e eventual ressuspensão de sedimentos. De forma análoga, devido ao maior aporte de matéria orgânica no curso d'água, é esperado redução para O.D. no período chuvoso.

Nota-se, ainda, que a maior diferença percentual entre os dados se deu para o parâmetro Alumínio Total (142%), com concentração mais elevada no período chuvoso. Os parâmetros *Escherichia Coli* e Turbidez apresentaram diferença percentual de 62% e 42%, respectivamente.

A análise dos grupos de dados de cada período hidrológico demonstra que há comportamento das características físicas e químicas das águas superficiais condizentes com o esperado para um sistema natural.

### Localização em relação a Cachoeira Camargos

A Tabela 7.7 apresenta a diferença percentual entre montante e jusante da Cachoeira Camargos para as concentrações medianas de cada parâmetro. Para um mesmo período hidrológico, as variações relativamente mais relevantes entre pontos a montante e a jusante foram de 38% para o alumínio total no período chuvoso e 29% para o ferro dissolvido no período seco.

Com exceção da *E. coli*, sólidos totais e sólidos dissolvidos totais, todos os demais parâmetros apresentaram uma diferença na ordem de 10<sup>-1</sup> ou 10<sup>-2</sup>, indicando semelhança na qualidade da água.

**Tabela 7.7: Medianas dos resultados por parâmetro no período seco e chuvoso, em relação ao local de coleta (montante e jusante da Cachoeira Camargos).**

Parâmetro	Unidade	Conama 357/2005 – Classe 2	Período Seco			Período Chuvoso		
			Montante	Jusante	Diferença Percentual	Montante	Jusante	Diferença Percentual
Alumínio Total	mg/L	-	0,04	0,04	-7%	0,11	0,08	38%
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,1	<0,025	<0,025	-	<0,025	<0,025	-
DBO	mg/L	5	<3,0	<3,0	-	<3,0	<3,0	-
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	1000	129	160	-19%	205	255	-20%
Ferro Total	mg/L	-	0,6	0,6	0%	1	1,1	-9%
Ferro Dissolvido	mg/L	0,3	0,25	0,19	29%	0,32	0,27	19%
Fósforo Total	mg/L	0,11	<0,005	<0,005	-	<0,01	<0,01	-
Manganês Total	mg/L	0,1	0,03	0,03	6%	0,05	0,05	0%
Manganês Dissolvido	mg/L	-	0,03	0,03	5%	0,04	0,04	0%
Nitrato como N	mg/L	10	<0,5	<0,5	-	<0,5	<0,5	-
Nitrito como N	mg/L	1	<0,01	<0,01	-	<0,01	<0,01	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	<sup>1</sup>	<0,1	<0,1	-	<0,1	<0,1	-

Parâmetro	Unidade	Conama 357/2005 – Classe 2	Período Seco			Período Chuvoso		
			Montante	Jusante	Diferença Percentual	Montante	Jusante	Diferença Percentual
Oxigênio Dissolvido	mg/L	>5	8,8	8,7	1%	6,9	7,4	-7%
pH in situ	-	6,0 a 9,0	7,0	7,1	-1%	6,6	6,8	-3%
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	500	15	16	-6%	15,5	16	-3%
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	-	<0,3	<0,3	-	<0,3	<0,3	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	-	<5	<5	-	<5	<5	-
Sólidos Totais	mg/L	-	22	18	22%	21,5	24,5	-12%
Turbidez	NTU	100	3,44	3,16	9%	4,6	4,4	5%

**Notas:**

- <sup>1</sup> 3,7 mg/L para pH ≤ 7,5
- 2,0 mg/L para 7,5 < pH ≤ 8,0
- 1,0 mg/L para 8,0 < pH ≤ 8,5
- 0,5 mg/L para pH ≥ 8,5

Considerando que a passagem da pluma de rejeitos afetou apenas a área a jusante da Cachoeira Camargos, os valores de Alumínio Total, Ferro Dissolvido e Manganês Total mais elevados a montante, quando comparados com os valores a jusante, sugerem que as concentrações verificadas para esses elementos refletem uma condição e variabilidade natural do ambiente da área em análise, compatíveis com as características geológicas de áreas do Quadrilátero Ferrífero na região entre Ouro Preto e Mariana (CPRM, 2016). Segundo, CPRM (2016), as concentrações medianas para ferro, alumínio e manganês são, respectivamente, 0,463 mg/L, 0,028 mg/L, 0,01 mg/l. Para pH a mediana é igual a 6,42.

### Momento em relação a intervenção

Os resultados das medianas dos cenários que variam de acordo com o momento em relação a intervenção são apresentados na Tabela 7.8 e Tabela 7.9. Vale lembrar que a intervenção ocorreu no poço principal da Cachoeira Camargos, portanto quaisquer alterações decorrentes dessa ação seriam notáveis apenas a jusante da cachoeira.

**Tabela 7.8: Medianas dos resultados, por parâmetro, nos pontos localizados a montante e jusante da Cachoeira Camargos, no período chuvoso, pré e pós-intervenção.**

Parâmetro	Unidade	Conama 357/2005 – Classe 2	Período Chuvoso					
			Pré Intervenção	Montante Pós Intervenção	Diferença Percentual	Pré Intervenção	Jusante Pós Intervenção	Diferença Percentual
Alumínio Total	mg/L	-	0,08	0,13	-37%	0,05	0,1	-47%
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,1	0,0011	<0,025	-	0,0077	<0,025	-
DBO	mg/L	5	<3	<2	-	<3	<2	-
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	1000	308	110	180%	222	490	-55%
Ferro Total	mg/L	-	1,2	1	15%	1,1	1	11%
Ferro Dissolvido	mg/L	0,3	0,29	0,35	-18%	0,26	0,53	-51%
Fósforo Total	mg/L	0,11	<0,01	<0,005	-	<0,01	<0,005	-
Manganês Total	mg/L	0,1	0,04	0,05	-10%	0,04	0,05	-19%
Manganês Dissolvido	mg/L	-	0,04	0,05	-12%	0,03	0,04	-27%
Nitrato como N	mg/L	10	<0,5	<0,11	-	<0,5	<0,11	-
Nitrito como N	mg/L	1	<0,01	<0,006	-	<0,01	<0,006	-

Parâmetro	Unidade	Conama 357/2005 – Classe 2	Período Chuvoso					
			Pré Intervenção	Montante Pós- Intervenção	Diferença Percentual	Pré Intervenção	Jusante Pós- Intervenção	Diferença Percentual
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	<sup>1</sup>	<0,1	<0,05	-	<0,1	<0,05	-
Oxigênio Dissolvido	mg/L	>5	7,5	6	24%	7,6	5,8	30%
pH in situ	-	6,0 a 9,0	6,8	6,1	11%	7,1	6,4	11%
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	500	22	13	69%	25	14	79%
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	-	<0,3	<0,1	-	<0,3	<0,1	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	-	<5	<5	-	<5	<5	-
Sólidos Totais	mg/L	-	24	18	33%	27	21	29%
Turbidez	NTU	100	4,44	4,97	-11%	4,08	4,95	-18%

Notas:

- <sup>1</sup> 3,7 mg/L para pH ≤ 7,5
- 2,0 mg/L para 7,5 < pH ≤ 8,0
- 1,0 mg/L para 8,0 < pH ≤ 8,5
- 0,5 mg/L para pH ≥ 8,5

**Tabela 7.9: Medianas dos resultados, por parâmetro, nos pontos localizados a montante e jusante da Cachoeira Camargos, no período seco, pré e pós-intervenção.**

Parâmetro	Unidade	Conama 357/2005 – Classe 2	Período Seco					
			Pré- Intervenção	Montante Pós- Intervenção	Diferença Percentual	Pré- Intervenção	Jusante Pós- Intervenção	Diferença Percentual
Alumínio Total	mg/L	-	0,03	0,07	-59%	0,02	0,06	-60%
Alumínio Dissolvido	mg/L	0,1	<0,001	<0,025	-	<0,001	<0,025	-
DBO	mg/L	5	<3	<2	-	<3	<2	-
E. coli	NMP/100mL	1000	201	165	22%	148	200	-26%
Ferro Total	mg/L	-	0,6	0,6	-1%	0,7	0,5	22%
Ferro Dissolvido	mg/L	0,3	0,19	0,27	-29%	0,19	0,19	2%
Fósforo Total	mg/L	0,11	<0,005	<0,0075	-	<0,005	<0,0075	-
Manganês Total	mg/L	0,1	0,03	0,04	-21%	0,03	0,04	-19%
Manganês Dissolvido	mg/L	-	0,02	0,03	-23%	0,02	0,03	-24%
Nitrato como N	mg/L	10	<0,5	<0,11	-	<0,5	<0,11	-
Nitrito como N	mg/L	1	0,007	<0,006	-	<0,01	<0,006	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	<sup>1</sup>	<0,1	<0,05	-	<0,1	<0,05	-
Oxigênio Dissolvido	mg/L	>5	9,0	8,7	4%	8,7	8,7	0%
pH in situ	-	6,0 a 9,0	7,1	6,9	2%	7,2	7,0	3%
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	500	19	15	27%	18	13,5	33%
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	-	<0,3	<0,1	-	<0,3	<0,1	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	-	<5	5,5	-	<5	3,75	-
Sólidos Totais	mg/L	-	20	21,5	-7%	18	19	-5%
Turbidez	NTU	100	2,15	4,46	-52%	1,25	3,76	-67%

Notas:

- <sup>1</sup> 3,7 mg/L para pH ≤ 7,5
- 2,0 mg/L para 7,5 < pH ≤ 8,0
- 1,0 mg/L para 8,0 < pH ≤ 8,5

0,5 mg/L para pH  $\geq$  8,5

A partir das avaliações comparativas entre os parâmetros observa-se diferenças pouco significativas entre os contextos analisados, estando as medianas sempre na mesma ordem de grandeza. Contudo, destaca-se o parâmetro Ferro Dissolvido no período chuvoso, pelas observações de medianas em concentrações superiores aos padrões de qualidade a montante e jusante após a intervenção, as quais foram de 0,35 mg/L e 0,53 mg/L, respectivamente. Também no período chuvoso, ressalta-se a variabilidade entre os cenários para *E. coli* e Sólidos Dissolvidos Totais, apesar de todos os valores serem inferiores aos padrões de qualidade de água.

Para *E. coli*, verifica-se que, independentemente do cenário avaliado, o parâmetro manteve-se na mesma ordem de grandeza ( $10^2$ ), não se verificando evidências que sugiram haver relação com o impacto causado pelos rejeitos e nem com as obras de intervenção, sendo importante destacar que o valor mediano máximo observado é inferior a 500 NMP/100mL.

Em avaliação do parâmetro *E. coli*, observando a relação no espaço (montante vs jusante), se verifica que a concentração no período seco se eleva a jusante tanto durante o monitoramento pré quanto pós intervenção. Por outro lado, para o período chuvoso, é observada redução da concentração a jusante durante o monitoramento pré intervenção (308 NMP/100mL para 222 NMP/100mL) e elevação da concentração a jusante durante o monitoramento pós intervenção (110 NMP/100mL para 490 NMP/100mL). Desta forma, esta variabilidade possivelmente está associada ao uso e ocupação do solo e a ocupação urbana, conforme relatado em fichas de campo, sobre área de pastagem no entorno do ponto de coleta, não havendo evidência que relacione este padrão à presença de rejeitos ou mesmo às obras de intervenção.

Quanto ao parâmetro Ferro Dissolvido, ao se analisar variações no tempo (pré e pós-intervenção), observa-se aumento da concentração mediana em todos os cenários, seja chuvoso ou seco, montante ou jusante, com exceção de jusante do período seco, com uma diminuição de apenas 0,004 mg/L. Esse comportamento fica evidente com os resultados negativos da diferença percentual, que indica que a mediana do pós-intervenção é superior ao do pré-intervenção. Esse mesmo comportamento é observado para o Manganês e Turbidez.

A verificação consistente de elevações das concentrações medianas para ferro dissolvido observando a relação espaço vs tempo, sugere que estas extrapolações estejam relacionadas à variabilidade natural do ambiente em questão e ao possível efeito sobre a qualidade de água durante eventos de chuva, pois é possível observar que as concentrações no período de chuva são, invariavelmente, mais elevadas do que as observadas no período seco. Apesar de pouco expressivo, pode-se observar o mesmo comportamento no parâmetro turbidez.

Importante notar que os valores medianos de turbidez, em todos os cenários, são inferiores a 5 NTU, sugerindo que extrapolações verificadas para ferro dissolvido não estejam afetadas por eventual ressuspensão de rejeitos remanescentes (se houver) ou partículas sólidas. Desta forma, uma vez que não se observa alterações na turbidez, infere-se que os efeitos possivelmente associados aos eventos de chuva possam ter relação com o escoamento superficial direto, com baixa intensidade de carreamento de sólidos e, principalmente, ao aporte de água a partir do escoamento subsuperficial e contribuição do lençol freático, indicando incremento às concentrações de ferro dissolvido sendo função da condição geológica e pedológica local.

Em geral, todas as diferenças observadas são pouco relevantes, estando, invariavelmente, na mesma ordem de grandeza, o que corrobora a hipótese de que as observações estejam relacionadas às condições e variabilidade natural do ambiente em análise. No entanto, há um padrão geral de concentrações

ligeiramente superiores no período pós intervenção. Dado este fato, há que se considerar uma possível relação destes incrementos, mesmo que pouco relevantes, com a alteração do laboratório responsável pela coleta e análises químicas. Lembrando que a partir de agosto/2020 o laboratório responsável pela coleta e análises químicas foi o ALS Ambiental. Este cenário não é incomum e mesmo que se garanta a aplicação dos mesmos procedimentos de coleta e análise, diferentes rotinas, equipamentos, procedimentos internos e ambientes analíticos podem refletir em variações, mesmo que pouco significativas.

Levando-se em vista a grande quantidade de resultados abaixo do limite de quantificação, a falta de nexo de causalidade com a passagem do rejeito, o fato da média, mediana, percentil 75 e percentil 95, estarem conforme à legislação, além de diferença percentual baixa ou nula, considera-se que para os parâmetros DBO, fósforo total, nitrato como N, nitrito como N, nitrogênio amoniacal, oxigênio dissolvido, sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos totais não seja pertinente realizar a avaliação estatística detalhada dos dados, conforme apresentado a seguir.

### **Avaliação estatística: medidas de tendência central**

Com o objetivo de verificar a hipótese levantada a partir das análises fundamentadas na evolução temporal e espacial dos parâmetros monitorados e na estatística descritiva dos dados, além das ponderações realizadas com base na avaliação das concentrações medianas, buscou-se também avaliar a significância estatística das diferenças existentes, para os parâmetros pertinentes, em cada cenário avaliado (montante e jusante; pré e pós intervenção).

Primeiramente, procedeu-se análise preliminar acerca das distribuições dos dados. Após normalização das séries observou-se, de modo geral, ajuste insatisfatório à distribuição normal dos dados.

Para tanto, optou-se por utilizar o teste estatístico não paramétrico Mann Whitney, para avaliar as medidas de tendência central entre dois grupos independentes de tamanhos iguais. Foram comparados, sob a hipótese nula de que a medianas do grupo 1 é igual à do grupo 2, em uma significância de 95%. Os testes foram realizados a partir do software estatístico ProUCL 5.1, disponibilizados pela agência ambiental US EPA para aplicação em análise de dados ambientais. Foi selecionado o teste Mann Whitney não-paramétrico, que avalia as medianas, com o intuito de se incorporar as extrapolações pontuais que foram observadas ao longo do monitoramento, tendo como premissa de que estas ocorrências não são *outliers*.

A realização dos testes Mann Whitney considerou a comparação de todos os cenários pertinentes ao ambiente analisado, relacionando, portanto, períodos pré e pós-intervenção com áreas a montante e jusante da Cachoeira Camargos, abordando distintamente, os cenários referentes ao período chuvoso e seco.

Foram analisadas duas relações diferentes, a primeira fixando o período hidrológico e o tempo e, portanto, variando o espaço (montante e jusante) e a segunda fixando o período hidrológico e o espaço, mas variando o tempo (pré e pós-intervenção). Os resultados dessas relações serão tratados a seguir.

Importante ressaltar que p-valor inferior a 0,05 indica que há diferenças significativas entre os dados analisados e valor superior não rejeita a hipótese de que os dados sejam similares.

### **Varição no espaço – Montante e Jusante da Cachoeira Camargos**

Os resultados da análise estatística Mann Whitney considerando apenas a variação no espaço, ou seja, a avaliação da diferença estatística a partir das medianas entre montante e jusante, são apresentados na Tabela 7.10.

**Tabela 7.10: Resultado p-valor do teste estatístico Mann Whitney considerando variação no espaço.**

Parâmetro	Período Seco		Período Chuvoso	
	Montante Pré-Intervenção x Jusante Pré-Intervenção	Montante Pós-Intervenção x Jusante Pós-Intervenção	Montante Pré-Intervenção x Jusante Pré-Intervenção	Montante Pós-Intervenção x Jusante Pós-Intervenção
Alumínio Dissolvido	0,6870	1,0000	0,3750	0,9360
Alumínio Total	0,6460	0,9400	0,7150	0,3530
E. coli	0,6450	0,5430	0,1380	0,2490
Ferro Dissolvido	0,9480	0,7910	0,4900	0,4800
Ferro Total	0,6460	0,7910	1,0000	0,7900
Manganês Dissolvido	1,0000	0,9700	0,6180	0,5960
Manganês Total	1,0000	0,8500	0,6180	0,4270
pH	0,4300	0,6770	<b>0,0174</b>	0,4270
Sólidos Dissolvidos Totais	0,9740	0,4850	0,7880	1,0000
Sólidos Totais	0,8690	0,4950	0,9240	0,5650
Turbidez	0,2370	0,4960	0,8180	0,8600

Pela análise da medida de tendência central, não se observa evidência suficiente para rejeitar a hipótese de que os dados monitorados a montante e a jusante, considerando os cenários formulados e apresentados na tabela acima, são similares e refletem uma condição e variabilidade natural do ambiente em análise, pois não há diferença estatística significativa, ou seja, o perfil físico e químico que se observa a montante é refletido à jusante, sem alterações relevantes. O resultado desta análise corrobora as observações até então apresentadas, portanto, reforça-se que a presença de rejeitos e as obras de intervenção não afetaram significativamente as características físicas e químicas das águas superficiais da Cachoeira Camargos no período analisado.

O pH do período chuvoso pré intervenção foi o único a apresentar diferenças estatísticas significativas entre montante e jusante. Entretanto ao verificar os valores das medianas do pH para esses cenários (Tabela 7.8) de 6,8 para montante e de 7,1 para jusante, é possível observar que a difere de 0,3 no pH é comum em se tratando de variabilidade natural

#### Varição no tempo – Pré e Pós-intervenção

Os resultados da análise estatístico Mann Whitney considerando apenas a variação no tempo são apresentados na Tabela 7.11.

**Tabela 7.11: Resultado p-valor do teste estatístico Mann Whitney fator único considerando variação no tempo.**

Parâmetro	Período Seco		Período Chuvoso	
	Montante Pré-Intervenção x Montante Pós-Intervenção	Jusante Pré-Intervenção x Jusante Pós-Intervenção	Montante Pré-Intervenção x Montante Pós-Intervenção	Jusante Pré-Intervenção x Jusante Pós-Intervenção
Alumínio Dissolvido	<b>0,0005</b>	<b>0,00003</b>	0,0779	0,3550
Alumínio Total	<b>0,0485</b>	0,05720	0,5480	0,7490

Parâmetro	Período Seco		Período Chuvoso	
	Montante Pré-Intervenção x Montante Pós-Intervenção	Jusante Pré-Intervenção x Jusante Pós-Intervenção	Montante Pré-Intervenção x Montante Pós-Intervenção	Jusante Pré-Intervenção x Jusante Pós-Intervenção
E. coli	0,7780	0,26000	0,0526	0,2810
Ferro Dissolvido	0,2750	0,86000	0,2850	<b>0,0008</b>
Ferro Total	0,9160	0,50400	0,8150	0,5550
Manganês Dissolvido	<b>0,0183</b>	<b>0,02650</b>	0,4230	0,3760
Manganês Total	<b>0,0265</b>	0,06200	0,4630	0,5550
pH	0,5490	0,19200	<b>0,0232</b>	<b>0,0006</b>
Sólidos Dissolvidos Totais	0,0762	0,10600	0,0562	0,0720
Sólidos Totais	0,8320	0,97200	0,3150	0,4750
Turbidez	<b>0,0166</b>	<b>0,01120</b>	0,7380	0,8060

Como já abordado, o contexto do monitoramento durante o período pós intervenção demonstra, como padrão, incremento nas concentrações de praticamente todos os parâmetros, principalmente no período seco.

Analisando os resultados do teste estatístico é possível observar que estes incrementos são mais pronunciados para os parâmetros alumínio (total e dissolvido), ferro (dissolvido), manganês (total e dissolvido), pH e turbidez, quando observados cenários específicos (pré x pós do período seco / pré x pós do período chuvoso), pois, como visto em itens anteriores e também através dos dados das Tabela 7.8 e Tabela 7.9, houve um aumento na concentração de desses parâmetros no tempo quando se compara pré e pós-intervenção, com algumas exceções no período chuvoso, o que é esperado pelo efeito da diluição.

Uma vez que tais incrementos também são verificados a montante, estes resultados reforçam a hipótese de que se trata de uma condição natural do ambiente. É importante ressaltar que todos os resultados se apresentam em concentrações da mesma ordem de grandeza, o que reforça que as diferenças estatísticas verificadas não refletem uma alteração relevante na qualidade das águas superficiais.

Aspecto que também pode ser destacado, é a redução da expressividade do p-valor para *E. coli* para os testes que consideram o contexto de jusante. Pelas medianas apresentadas na Tabela 7.8 e Tabela 7.9 Tabela 7.11 verifica-se que as concentrações de *E. coli* elevaram-se significativamente no período pós intervenção se comparadas às concentrações de montante, impactando o resultado do p-valor, e corroborando a hipótese de que após a reabilitação da área, possivelmente, usos indevidos do solo estejam promovendo o aporte destes micro-organismos para o curso d'água.

Complementarmente, para fins de confirmação, foram avaliadas as correlações entre parâmetros, observando a relação espaço vs tempo. Os resultados completos da análise de correlação são apresentados no **Apêndice M**.

Na Tabela 7.12 são apresentados dados de correlação para os parâmetros julgados pertinentes ao contexto de análise. Os resultados apresentados nestas tabelas consideram a correlação do parâmetro com ele mesmo, porém, observando o contexto espacial, ou seja, os dados de cada parâmetro a montante e sua correlação com ele mesmo para o contexto a jusante. Esta análise foi aplicada aos períodos pré e pós-intervenção.

Através da Figura 7.1, apresentada no item 7.2.1, não foram observados fatores externos que poderiam alterar significativamente o perfil físico e químico do corpo hídrico, como por exemplo, ocupações urbanas e/ou fontes externas de contaminação. Portanto, é esperado que se verifique consistência entre os contextos de montante e jusante, observando o mesmo período (pré e pós), dado que, inclusive, a distância

aproximada entre os pontos de monitoramento de montante e de jusante é aproximadamente 1000m apenas.

Para as análises de correlação foi necessária a avaliação de outliers, pois estes estavam enviesando os resultados. Foram excluídos, como outliers para a análise de correlação, apenas um único valor para *E. coli* (86640 NMP/100 mL), dois valores para ferro total (1,2 mg/L e 1,1 mg/L) e um valor para Sólidos Dissolvidos Totais (120 mg/L), uma vez que se deslocavam expressivamente da mediana dos dados. Além destes, a correlação negativa demonstrada na tabela acima para alumínio dissolvido refere-se aos dados reportados estarem, em sua maioria, como <LQ. Desta forma, não foi possível uma análise crítica, optando-se por manter o resultado tal qual.

**Tabela 7.12: Correlação entre os dados de montante e jusante, ambos pré e pós-intervenção.**

Parâmetro	Pré intervenção		Pós-intervenção	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
Alumínio Dissolvido	0,99	1,00	1,00	-0,16
Alumínio Total	1,00	0,61	0,91	0,30
E. coli	0,88	0,51	1,00	1,00
Ferro Dissolvido	0,46	0,85	0,90	0,51
Ferro Total	0,97	0,56	0,87	0,86
Manganês Dissolvido	0,99	0,92	0,75	0,71
Manganês Total	0,99	0,79	0,47	0,53
pH	0,62	0,83	0,62	0,71
Sólidos Dissolvidos Totais	0,36	0,39	0,99	0,68
Sólidos Totais	0,34	0,42	0,72	0,92
Turbidez	0,99	0,82	1,00	0,19

De modo geral, os parâmetros apresentaram correlação moderada a forte. Este fato indica que, qualitativamente, as concentrações de montante comandam as concentrações de jusante. Esta conclusão, somada às ponderações já apresentadas anteriormente, reforçam a hipótese de que, com dados de 2018 para frente, a presença de rejeitos e as obras de intervenção não promoveram alterações negativas na qualidade das águas superficiais da área em análise, tratando-se, portanto, da própria variabilidade natural do ambiente. Isso pode significar que o impacto que aconteceu no final de 2015 pode ter sido naturalmente depurado pelo ambiente, e que, a partir de 2018 quando começou o monitoramento, o ambiente já apresentava características naturais.

Adicionalmente, como o objetivo de avaliar eventual relação entre parâmetros que possa explicar os comportamentos individuais, calculou-se a correlação de cada cenário com ele mesmo, ou seja, mantendo constante todos os quesitos. As correlações são apresentadas na Tabela 7.13 a Tabela 7.20.

**Tabela 7.13: Correlação entre os parâmetros do ponto à montante da cachoeira, pré intervenção no período chuvoso**

Parâmetro	Alumínio Total	Alumínio dissolvido	Escherichia coli	Ferro Total	Ferro dissolvido	Manganês Total	Manganês dissolvido	pH in situ	Sólidos Dissolvidos Totais	Sólidos Totais	Turbidez in situ
Alumínio Total	1										
Alumínio dissolvido	<b>0,993</b>	1									
Escherichia coli	0,672	0,685	1								
Ferro Total	<b>0,864</b>	<b>0,870</b>	0,923	1							
Ferro dissolvido	-0,095	-0,102	0,334	0,147	1						
Manganês Total	0,038	0,070	0,656	0,516	0,508	1					
Manganês dissolvido	-0,124	-0,085	0,527	0,367	0,500	<b>0,983</b>	1				
pH in situ	-0,409	-0,486	-0,186	-0,349	0,010	-0,145	-0,123	1			
Sólidos Dissolvidos Totais	0,698	0,725	0,848	0,768	-0,325	0,269	0,172	-0,278	1		
Sólidos Totais	<b>0,817</b>	0,835	0,887	<b>0,877</b>	-0,218	0,302	0,180	-0,314	<b>0,977</b>	1	
Turbidez in situ	<b>0,914</b>	0,921	<b>0,910</b>	<b>0,979</b>	0,041	0,381	0,231	-0,355	0,827	<b>0,924</b>	1

**Tabela 7.14: Correlação entre os parâmetros do ponto à montante da cachoeira, pós intervenção no período chuvoso**

Parâmetro	Alumínio Total	Alumínio dissolvido	Escherichia coli	Ferro Total	Ferro dissolvido	Manganês Total	Manganês dissolvido	pH in situ	Sólidos Dissolvidos Totais	Sólidos Totais	Turbidez in situ
Alumínio Total	1										
Alumínio dissolvido	<b>0,915</b>	1									
Escherichia coli	0,922	1,000	1								
Ferro Total	<b>0,901</b>	<b>0,792</b>	0,806	1							
Ferro dissolvido	-0,242	-0,394	-0,382	-0,002	1						
Manganês Total	-0,183	-0,401	-0,384	0,169	<b>0,757</b>	1					
Manganês dissolvido	-0,570	-0,663	-0,655	-0,238	0,634	<b>0,823</b>	1				
pH in situ	0,612	0,377	0,391	0,681	0,333	0,214	-0,140	1			
Sólidos Dissolvidos Totais	-0,455	-0,262	-0,262	-0,297	0,359	0,193	0,204	-0,432	1		
Sólidos Totais	0,412	0,512	0,522	0,545	0,215	0,112	-0,210	0,162	0,600	1	
Turbidez in situ	<b>0,906</b>	0,992	<b>0,991</b>	<b>0,802</b>	-0,340	-0,362	-0,646	0,432	-0,233	0,529	1

**Tabela 7.15: Correlação entre os parâmetros do ponto à jusante da cachoeira, pré intervenção no período chuvoso**

Parâmetro	Alumínio Total	Alumínio dissolvido	Escherichia coli	Ferro Total	Ferro dissolvido	Manganês Total	Manganês dissolvido	pH in situ	Sólidos Dissolvidos Totais	Sólidos Totais	Turbidez in situ
Alumínio Total	1										
Alumínio dissolvido	<b>0,980</b>	1									
Escherichia coli	0,672	0,761	1								
Ferro Total	<b>0,941</b>	<b>0,916</b>	0,679	1							
Ferro dissolvido	0,053	0,035	0,077	0,212	1						
Manganês Total	0,150	0,144	0,167	0,443	0,339	1					
Manganês dissolvido	-0,183	-0,184	-0,098	0,118	0,303	<b>0,933</b>	1				
pH in situ	-0,391	-0,418	-0,273	-0,344	0,063	-0,121	-0,046	1			
Sólidos Dissolvidos Totais	0,016	0,005	0,088	0,088	-0,100	0,317	0,304	0,185	1		
Sólidos Totais	0,393	0,348	0,213	0,384	-0,052	0,143	-0,020	0,103	<b>0,734</b>	1	

Parâmetro	Alumínio Total	Alumínio dissolvido	Escherichia coli	Ferro Total	Ferro dissolvido	Manganês Total	Manganês dissolvido	pH in situ	Sólidos Dissolvidos Totais	Sólidos Totais	Turbidez in situ
Turbidez in situ	<b>0,942</b>	0,949	<b>0,802</b>	<b>0,973</b>	0,109	0,385	0,046	-0,354	0,132	0,411	1

Tabela 7.16: Correlação entre os parâmetros do ponto à jusante da cachoeira, pós intervenção no período chuvoso

Parâmetro	Alumínio Total	Alumínio dissolvido	Escherichia coli	Ferro Total	Ferro dissolvido	Manganês Total	Manganês dissolvido	pH in situ	Sólidos Dissolvidos Totais	Sólidos Totais	Turbidez in situ
Alumínio Total	1										
Alumínio dissolvido	<b>0,927</b>	1									
Escherichia coli	0,925	0,995	1								
Ferro Total	<b>0,861</b>	<b>0,861</b>	0,889	1							
Ferro dissolvido	-0,382	-0,492	-0,485	-0,175	1						
Manganês Total	0,008	-0,041	-0,029	0,284	0,375	1					
Manganês dissolvido	-0,411	-0,506	-0,491	-0,141	0,580	<b>0,838</b>	1				
pH in situ	0,011	-0,123	-0,140	-0,108	0,468	-0,500	-0,236	1			
Sólidos Dissolvidos Totais	-0,457	-0,327	-0,357	-0,313	0,464	0,153	0,244	0,116	1		
Sólidos Totais	0,386	0,636	0,612	0,403	-0,332	0,091	-0,237	-0,340	0,303	1	
Turbidez in situ	<b>0,932</b>	0,994	<b>0,982</b>	<b>0,867</b>	-0,439	0,034	-0,436	-0,118	-0,286	0,647	1

Tabela 7.17: Correlação entre os parâmetros do ponto à montante da cachoeira, pré intervenção no período seco

Parâmetro	Alumínio Total	Alumínio dissolvido	Escherichia coli	Ferro Total	Ferro dissolvido	Manganês Total	Manganês dissolvido	pH in situ	Sólidos Dissolvidos Totais	Sólidos Totais	Turbidez in situ
Alumínio Total	1										
Alumínio dissolvido	0,643	1									
Escherichia coli	0,584	0,984	1								
Ferro Total	0,558	0,057	0,006	1							
Ferro dissolvido	0,192	-0,087	-0,095	0,567	1						
Manganês Total	0,305	0,255	0,288	0,399	0,667	1					
Manganês dissolvido	-0,161	-0,089	-0,037	0,355	<b>0,811</b>	<b>0,703</b>	1				
pH in situ	0,110	-0,039	-0,055	0,020	-0,155	-0,632	-0,331	1			
Sólidos Dissolvidos Totais	0,448	0,476	0,430	-0,032	-0,038	0,079	-0,042	-0,075	1		
Sólidos Totais	0,508	0,472	0,422	0,013	-0,030	0,089	-0,069	-0,030	<b>0,993</b>	1	
Turbidez in situ	-0,434	-0,139	-0,116	-0,537	-0,175	-0,061	-0,025	0,143	-0,251	-0,251	1

Tabela 7.18: Correlação entre os parâmetros do ponto à montante da cachoeira, pós intervenção no período seco

Parâmetro	Alumínio Total	Alumínio dissolvido	Escherichia coli	Ferro Total	Ferro dissolvido	Manganês Total	Manganês dissolvido	pH in situ	Sólidos Dissolvidos Totais	Sólidos Totais	Turbidez in situ
Alumínio Total	1										
Alumínio dissolvido	<b>0,849</b>	1									
Escherichia coli	-0,128	-0,194	1								
Ferro Total	0,396	0,270	0,155	1							
Ferro dissolvido	0,090	0,206	0,034	<b>0,861</b>	1						
Manganês Total	<b>0,729</b>	0,534	-0,105	<b>0,797</b>	0,405	1					
Manganês dissolvido	0,548	0,409	-0,014	<b>0,875</b>	0,578	<b>0,832</b>	1				
pH in situ	0,225	0,332	0,086	0,191	0,159	0,077	0,021	1			

Parâmetro	Alumínio Total	Alumínio dissolvido	Escherichia coli	Ferro Total	Ferro dissolvido	Manganês Total	Manganês dissolvido	pH in situ	Sólidos Dissolvidos Totais	Sólidos Totais	Turbidez in situ
Sólidos Dissolvidos Totais	0,264	0,122	0,490	0,678	0,556	0,600	0,483	0,090	1		
Sólidos Totais	0,598	0,496	0,565	0,469	0,282	0,607	0,489	0,179	<b>0,743</b>	1	
Turbidez in situ	-0,034	0,024	-0,539	-0,093	0,135	-0,029	-0,050	0,476	-0,395	-0,311	1

Tabela 7.19: Correlação entre os parâmetros do ponto à jusante da cachoeira, pré intervenção no período seco

Parâmetro	Alumínio Total	Alumínio dissolvido	Escherichia coli	Ferro Total	Ferro dissolvido	Manganês Total	Manganês dissolvido	pH in situ	Sólidos Dissolvidos Totais	Sólidos Totais	Turbidez in situ
Alumínio Total	1										
Alumínio dissolvido	-0,022	1									
Escherichia coli	0,266	0,614	1								
Ferro Total	0,155	-0,047	-0,181	1							
Ferro dissolvido	0,537	-0,076	-0,163	0,488	1						
Manganês Total	0,099	0,135	-0,140	0,453	0,375	1					
Manganês dissolvido	0,062	-0,099	-0,144	0,617	0,664	<b>0,725</b>	1				
pH in situ	0,358	-0,373	-0,064	-0,233	-0,013	-0,484	-0,275	1			
Sólidos Dissolvidos Totais	0,684	0,008	-0,162	0,051	0,561	0,135	-0,019	0,069	1		
Sólidos Totais	0,687	-0,020	-0,172	0,048	0,559	0,132	-0,023	0,074	<b>0,999</b>	1	
Turbidez in situ	-0,083	0,010	-0,101	0,345	0,407	0,408	0,404	-0,567	0,075	0,075	1

Tabela 7.20: Correlação entre os parâmetros do ponto à jusante da cachoeira, pós intervenção no período seco

Parâmetro	Alumínio Total	Alumínio dissolvido	Escherichia coli	Ferro Total	Ferro dissolvido	Manganês Total	Manganês dissolvido	pH in situ	Sólidos Dissolvidos Totais	Sólidos Totais	Turbidez in situ
Alumínio Total	1										
Alumínio dissolvido	0,375	1									
Escherichia coli	0,665	-0,211	1								
Ferro Total	0,204	-0,218	0,285	1							
Ferro dissolvido	0,067	0,463	0,107	0,682	1						
Manganês Total	0,227	0,207	0,006	<b>0,712</b>	0,572	1					
Manganês dissolvido	0,155	0,280	-0,048	<b>0,890</b>	0,643	<b>0,894</b>	1				
pH in situ	-0,078	-0,115	-0,133	-0,198	-0,573	-0,579	-0,403	1			
Sólidos Dissolvidos Totais	0,474	0,129	0,168	0,309	0,184	0,311	0,224	-0,045	1		
Sólidos Totais	0,279	-0,263	0,349	0,676	0,269	0,354	0,342	-0,025	<b>0,813</b>	1	
Turbidez in situ	-0,355	-0,127	-0,285	0,311	0,339	0,220	0,299	-0,487	0,079	0,253	1

Nas tabelas acima, foram destacados em negrito valores de correlação superiores a 0,7 ou inferiores a -0,7 (forte correlação), com o objetivo de destacar qual parâmetro possa ser considerado como elemento explicativo para a distribuição dos dados do parâmetro em análise, desde que haja sentido físico para a relação destacada.

De forma geral, se observa que, para o período chuvoso, a turbidez apresenta correlação positiva significativa com grande parte dos metais considerados e com a *E. coli*. Este fato corrobora a hipótese de que o cenário observado para o período chuvoso esteja relacionado ao aporte de material particulado no curso d'água a partir do escoamento superficial.

Já para o período seco, não há consistência nas correlações, havendo poucos índices que demonstram forte correlação entre parâmetros distintos. As correlações mais expressivas identificadas são entre ferro e manganês, que são elementos comuns ao embasamento geológico em que a área em análise está inserida.

Destaca-se a alta correlação em todos os cenários, entre manganês total e dissolvido, o que indica que todo manganês está predominantemente na fase dissolvida. O mesmo ocorre para alumínio, mas apenas no período chuvoso.

Já para o ferro, no geral, a correlação entre as fases total e dissolvido é baixa, apontando que há ferro em ambas as fases. No período chuvoso, o ferro total e a turbidez apresentam alta correlação. Entretanto vale lembrar que o valor médio de turbidez foi de 9,6 NTU.

## 8 Considerações Finais

Após os percalços para obtenção do licenciamento ambiental, o projeto de revitalização da Cachoeira Camargos foi executado, com a retirada do rejeito do poço principal, reconformação do talude e reconstituição do lago. As áreas do entorno foram revegetadas com *mix* de sementes. O material retirado de dentro do lago foi destinado a um aterro devidamente licenciado e em conformidade com a classificação do resíduo (Classe II A).

A avaliação da garantia da qualidade/controle da qualidade (QA/QC) dos dados primários levantados mostrou que, devido à ausência de resultados de determinados parâmetros e documentos não foi possível realizar a avaliação de um dos sete critérios selecionados, a saber: Brancos de campo e/ou equipamento. Os critérios os quais foi possível realizar análise foram: (i) Cadeia de Custódia; (ii)  *Holding Time*; (iii) Parâmetros Totais vs Parâmetros Dissolvidos; (iv) LQ vs Limites da Legislação; (v) QA/QC interno, e (vi) duplicatas. De forma geral, todas essas análises foram consideradas satisfatórias, com exceção para a análise de duplicatas e alguns parâmetros do branco de equipamento na caracterização inicial.

Com a finalidade de comprovar a eficácia das ações de recuperação selecionadas e comparar os cenários, foi proposto um Plano de Caracterização de Solo, Sedimentos e Águas Superficiais (**Apêndice F**). A partir da comparação dos resultados da Caracterização inicial com os dados da Caracterização proposta no **Apêndice F**, poderá ser verificar o reestabelecimento do equilíbrio ambiental na área.

Em relação aos critérios regulatórios aplicados ao Programa de monitoramento hídrico da Cachoeira Camargos, considerando a série total de informações, foram identificados oito parâmetros com concentrações acima dos valores máximos permitidos para Classe 2 da Resolução CONAMA 357/2005, sendo eles alumínio dissolvido, ferro dissolvido, manganês total, fósforo total, pH, oxigênio dissolvido, *E. coli* e turbidez.

De modo geral, as análises demonstram que a qualidade de água na área da Cachoeira Camargos não possui diferenças estatísticas significativas entre montante (área não impactada) e jusante (área impactada), sugerindo que o impacto causado pela lama de rejeitos de Fundão ou pela atividade de recuperação tenham sido provavelmente físicos e temporários. Afinal, os dados a partir de 2018 demonstram que as variações observadas entre o período pré e pós-intervenção referem-se às condições naturais do ambiente, uma vez sendo verificadas em amostras coletadas também a montante e com as concentrações observadas compatíveis com as características geológicas de áreas do Quadrilátero Ferrífero na região entre Ouro Preto e Mariana (CPRM, 2016), referentes ao background da região. Já as variações observadas em parâmetros biológicos referem-se, possivelmente, às condições de entorno da área em que a Cachoeira Camargos está inserida.

Por fim, a análise dos dados de monitoramento da Cachoeira Camargo durante o período de out/18 a set/21 não apresenta evidências de alteração na qualidade de água superficial que possam ser relacionadas a presença de rejeitos e/ou as obras de intervenção, uma vez que as concentrações observadas nos pontos entre montante e jusante são semelhantes e consistentes com os de valores de background apresentado por CPRM (2016). Contudo, a análise apresentada neste relatório está restrita ao período de dados observado, sendo a área de montante considerada como referência de qualidade para águas superficiais locais uma vez que não foi impactada pelo rejeito.

Ressalta-se que os dados analisados foram coletados a partir de 2018, 3 anos após o rompimento da Barragem de Fundão, portanto, deve-se considerar a possibilidade da ocorrência da autodepuração, processo natural de recuperação de um corpo hídrico.

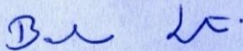
# Fechamento

Este Relatório, Cachoeira Camargos, foi preparado por



---

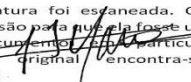
Yukimi Nathânia Yukawa  
Analista Ambiental



---

Bárbara Samartini Queiroz Alves  
Consultora Associada Sênior

E revisado por



Essa assinatura foi estaneada. O autor deu permissão para que ela fosse utilizada nesse documento em particular. A assinatura original encontra-se no documento.

---

Thiago Toussaint, MBA, MAusIMM (CP) Env  
Consultor Principal  
CREA MG 106.495/D

Todo material utilizado como recurso, incluindo o texto, tabelas, figuras e anexos deste documento, foi revisado e preparado de acordo com as melhores práticas profissionais de engenharia e ambientais.

## Referências

- ABNT – Agência Brasileira de Normas Técnicas (Brasil). NBR ISO/IEC 17025:2017. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Brasília, 2017.
- AGROFLOR (Fundação Renova). Estudo de Impacto Ambiental. Regularização Ambiental das Obras de Dragagem e Disposição de Rejeitos na Fazenda Floresta e Recuperação das Margens e Setores da área denominada como Trecho 12 (Área do Reservatório da UHE Risoleta Neves). Belo Horizonte, 2020.
- ANA; CETESB – Agência Nacional das Águas (Brasil) e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras. Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos. Brasília, 2011.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução-RE nº 899, de 29 de maio de 2003. Guia para a validação de métodos analíticos e bioanalíticos. Brasília, 2003.
- APHA/WWA/WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23ª edição. 2017.
- BUCHMAN, M. F. *NOAA Screening Quick Reference Tables*. Seattle, 2008.
- CH2M JACOBS. Aplicação do Plano de Manejo de Rejeito – Volumes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13. Submetido à Fundação Renova. São Paulo, 2018.
- COMITÊ INTERFEDERATIVO (CIF) – (2021). Nota Técnica nº 80 – Atualização dos Validadores e Qualificadores aplicáveis aos dados gerados no Programa de Monitoramento Quali -Quantitativo Sistemático (PMQQS) de Água e Sedimentos do rio Doce, Zona Costeira e Estuários. Belo Horizonte, MG; 12p.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). Resolução N° 357, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Atlas Geoquímico da Bacia do Rio Doce. Rio de Janeiro, 2016.
- CUSTODIO, E. LLAMAS, M. R. Hidrologia Subterrânea. Barcelona, 1983.
- EMFLORTEC. Projeto Conceitual de recuperação da Cachoeira de Camargos. Submetido à Fundação Renova: N010600-O-1RT014-R3. Ipatinga-MG, 2018.
- EMFLORTEC. Projeto detalhado de recuperação da Cachoeira de Camargos. Submetido à Fundação Renova: N010600-D-1MD003. Ipatinga-MG, 2019.
- EPA – Environment Protection Authority. EPA Guidelines: Regulatory monitoring and testing. Water and wastewater sampling. Austrália, 2007.
- EPA - *Environment Protection (Water) Policy. Monitoring and Sampling Manual. Sampling design and preparation*. Austrália, 2018.
- FUNDAÇÃO RENOVA. Recuperação da Cachoeira de Camargos. Contextualização do Diálogo Social. 2018a.
- FUNDACENTRO. Guia técnico sobre estratégia de amostragem e interpretação de resultados de avaliações quantitativas de agentes químicos em ambientes de trabalho: procedimento técnico / Albertinho Barreto de Carvalho. – São Paulo, 2018b.
- FUNDAÇÃO RENOVA. Desassoreamento e reconstituição da cachoeira de Camargos. Relatório de desempenho mensal JM REFLORESTAMENTOS E SERVIÇOS LTDA. Mariana-MG, 2020a.

- FUNDAÇÃO RENOVA. Desassoreamento e reconstituição da cachoeira de Camargos. Relatório de desmobilização ambiental JM REFLORESTAMENTOS E SERVIÇOS EIRELI. Mariana-MG, 2020b.
- GOLDER ASSOCIATES. Avaliação dos Impactos no Meio Físico Resultantes do Rompimento da Barragem de Fundão. Submetido a Samarco Mineração. Belo Horizonte, 2016.
- GRUPO EPA (Fundação Renova). Plano de trabalho para avaliação da qualidade do solo, sedimento e água superficial na região da Cachoeira de Camargos – Mariana-MG. Belo Horizonte, 2020a.
- GRUPO EPA (Fundação Renova). Relatório de investigação ambiental para a avaliação da qualidade do solo, sedimento e água superficial na região da Cachoeira de Camargos – Mariana-MG. Belo Horizonte, 2020b.
- HERKENHOFF&PRATES (Fundação Renova). Recuperação Cachoeira Camargos: Histórico das Tratativas. Apresentação Powerpoint. Belo Horizonte, 2020.
- IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Encarte Especial: Qualidade das águas do Rio Doce após 5 anos do rompimento da Barragem de Fundão. Belo Horizonte, 2020.
- JM REFLORESTAMENTOS. Relatório Fotográfico – JM Serviços. Planilha de Excel para acompanhamento mensal submetida à Fundação Renova. Mariana-MG, 2020.
- LACTEC. Relatório de Linha-Base: Resumo Executivo - Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. Curitiba, 2017.
- LACTEC. Tomo I – Contextualização Diagnóstico de Danos. 2020.
- MOURÃO, M. A. A. Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Cauê, Quadrilátero ferrífero, MG. Belo Horizonte, 2007.
- NELAC – National Environmental Laboratory Accreditation Conference. NELAC Standard. Texas, 2003.
- POTAMOS. Projeto Conceitual dos estudos de Hidráulica Fluvial para suporte ao projeto de revitalização da Cachoeira. Submetido à Fundação Renova. Belo Horizonte, 2018.
- SRK Consultores do Brasil. Monitoramento Qualidade da água da Cachoeira dos Camargos. Submetido à Fundação Renova. Belo Horizonte, 2020a.
- SRK Consultores do Brasil. Revitalização da Cachoeira Camargos: Consolidação das Ações de Manejo e Monitoramento. Submetido à Fundação Renova. Belo Horizonte, 2020b.
- USEPA - *United States Environmental Protection Agency. USEPA Contract Laboratory Program National Functional Guidelines for Inorganic Superfund Data Review – Final.* 2010
- USEPA – *United States Environmental Protection Agency. Project Quality Assurance and Quality Control.* 2014.
- USEPA - *United States Environmental Protection Agency. QA Glossary.*2016.
- USEPA - *United States Environmental Protection Agency. National Functional Guidelines for Inorganic Superfund Methods Data Review.*2017.