



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DOS ELEMENTOS
QUÍMICOS DAS ÁGUAS E SEDIMENTOS DO RIO DO CARMO E
GUALAXO DO NORTE NA REGIÃO DE BARRA LONGA, MG.**

Iago Aram Anchieta Ferreira

MONOGRAFIA nº 522

Ouro Preto, outubro de 2024.

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DOS
ELEMENTOS QUÍMICOS DAS ÁGUAS E SEDIMENTOS DO
RIO DO CARMO E GUALAXO DO NORTE NA REGIÃO DE
BARRA LONGA, MG.**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr. Adilson Pereira dos Santos

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. José Alberto Naves Cocota Júnior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. Dr. Geraldo Magela Santos Sampaio

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F383a Ferreira, Iago Aram Anchieta.

Análise da distribuição temporal dos elementos químicos das águas e sedimentos do rio do Carmo e Gualaxo do Norte na região de Barra Longa, MG. [manuscrito] / Iago Aram Anchieta Ferreira. - 2024.
114 f.

Orientadora: Profa. Dra. Adivane Terezinha Costa.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geologia ambiental. 2. Geoquímica. 3. Barragens de rejeitos. 4. Água - Poluição. I. Costa, Adivane Terezinha. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 550.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



FOLHA DE APROVAÇÃO

Iago Aram Anchieta Ferreira

Análise da Distribuição Temporal dos Elementos Químicos das Águas e Sedimentos do Rio do Carmo e Gualaxo do Norte na Região de Barra Longa, MG.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Geólogo.

Aprovada em 01 de outubro de 2024

Membros da banca

[Doutorado] - Adivane Terezinha Costa (Universidade Federal de Ouro Preto)
[Doutorado] - Lucas Pereira Leão -(Universidade Federal de Ouro Preto)
[Doutorado] - Louise Aparecida Mendes - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Adivane Terezinha Costa, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 21/10/2024



Documento assinado eletronicamente por **Adivane Terezinha Costa, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 21/10/2024, às 17:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0798653** e o código CRC **7EA967E5**.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	APRESENTAÇÃO	17
1.2	ROMPIMENTO DA BARRAGEM.....	19
1.3	LOCALIZAÇÃO.....	21
1.4	OBJETIVOS.....	23
1.5	JUSTIFICATIVA	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	BACIAS HIDROGRÁFICAS	25
2.1.1	Bacia do Rio Doce	25
2.1.2	Rio do Carmo	27
2.1.3	Rio Gualaxo do Norte	27
2.1.4	Barra Longa.....	28
2.2	QUADRILÁTERO FERRÍFERO	29
2.3	GEOLOGIA REGIONAL.....	30
2.3.1	Complexos Metamórficos Granito-Gnáissicos	32
2.3.2	Supergrupo Rio das Velhas.....	33
2.3.3	Supergrupo Minas	35
2.3.4	Supergrupo Estrada Real.....	36
2.3.5	Suíte Santa Rita de Ouro Preto	37
2.4	FUNDAÇÃO RENOVA E BASE DE DADOS	38
2.5	IMPLICAÇÃO DOS ELEMENTOS TRAÇOS NA SAÚDE HUMANA E ELEMENTOS ANALISADOS.....	38
2.6	ASPECTOS FISIOGRÁFICOS	39
2.6.1	Clima.....	39
2.6.2	Pluviosidade	40
2.6.3	Relevo e Hidrografia.....	41
3	MATERIAIS E MÉTODOS	42
3.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	42
3.2	LEVANTAMENTO DE BANCO DE DADOS	42
3.3	INTEGRAÇÃO DAS INFORMAÇÕES	42
3.4	METODOLOGIA DA TRATATIVA DOS DADOS	43
3.5	PARÂMETROS UTILIZADOS	43

3.6	LEVANTAMENTO DO ACERVO BIBLIOGRÁFICO.....	44
3.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA DE CORRELAÇÃO ENTRE ELEMENTOS	45
3.8	CONFECÇÃO DE GRÁFICOS E DIAGRAMAS ELEMENTARES	45
4	RESULTADOS	47
4.1	ÁGUA	48
4.1.1.	Alcalinidade	48
4.1.2	Arsênio Total.....	56
4.1.3	Ferro	63
4.1.4	Manganês	70
4.1.5	Mercurio.....	77
4.2	SEDIMENTOS.....	84
4.2.1	Ferro	85
4.2.2	Manganês	87
4.3	GRANULOMETRIA	88
4.3.1	RCA-02	89
4.3.2	RGN-08.....	91
4.4	Carbono Orgânico Total	92
4.4.1	RCA-01	94
4.4.2	RCA-02	95
4.4.3	RCA-03	96
4.4.4	RCA-04	97
4.4.5	RCA-05	98
4.4.6	RCA-06	99
4.5	Zoobentos	99
4.5.1	RCA-02	100
4.5.2	RGN-08.....	101
4.6	Correlação de Pearson - Água	101
4.6.1	Rio do Carmo	103
4.6.2	Rio Gualaxo do Norte	104
4.7	Correlação de Pearson - Sedimentos	115
4.7.1	Bário e Manganês.....	115
4.8	Correlação de Pearson – Sedimentos em Suspensão.....	116
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	117
5.1	PREMISSAS DO BANCO DE DADOS	117

5.2 Alcalinidade.....	117
5.3 Arsênio	117
5.4 Ferro	119
5.5 Manganês.....	121
5.6 Mercúrio	122
5.7 Carbono Orgânico Total	122
5.8 Zoobentos	122
5.9 Granulometria.....	123
5.10Discussões Gerais.....	123
6 CONCLUSÕES	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1.1: Bacia do Rio Doce em relação ao local de rompimento da barragem e área de estudo.	18
Figura 1.2: Densidade de habitantes por quilômetro quadrado, clima e localização da bacia, sendo Ipatinga com maior densidade populacional, a norte de Timóteo e a oeste de Coronel Fabriciano.	18
Figura 1.3: Distritos impactados diretamente pelo rompimento da barragem de fundão.	20
Figura 1.4: Encontro do Rio do Carmo (limpo) e Rio Gualaxo do Norte (atingido inicialmente pelo rompimento) na cidade de Barra Longa, a cerca de 70 km de Bento Rodrigues. A foto é de um ano após o rompimento da barragem.	20
Figura 1.5: Percurso da lama de rejeito desde Mariana/MG até Linhares/ES, passando pela área de estudo.	21
Figura 1.6: Hidrografia da bacia do rio Doce, com os principais cursos d'água.	22
Figura 1.7: Mapa da bacia do rio Gualaxo do Norte e área de estudo, dando ênfase à Barra Longa.	23
Figura 2.1: Localização da Bacia do Rio Doce em relação a área afetada em decorrência do rompimento da barragem e em relação a área de estudo.	27
Figura 2.2: Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.	30
Figura 2.3: Quadrilátero Ferrífero demarcado pelas principais Formações do Supergrupo Minas e local de rompimento da barragem.	31
Figura 2.4: Localização dos Rios em Análise em relação à Geologia do Quadrilátero Ferrífero.	32
Figura 2.5: (a) Modelo geotectônico da evolução do orógeno transmazônico a partir de colisão e inversão da bacia margem passiva Minas em quatro estágios por Aguilar et al. (2017), no qual é incluída a geração do arco magmático Mantiqueira na margem franciscana. (b) Tentativa de reconstrução do cenário pós-colisional do evento transmazônico, no qual estariam envolvidos o arco Mantiqueira na margem do paleocontinente São Francisco (Bloco do	

Gavião), os terrenos juvenis do Cinturão Mineiro (M) e Juiz de Fora (JF), além dos microcontinentes Serrinha (S), Jequié (J) e Itabuna-Salvador-Curaçá (IB) do leste baiano. ... 33

Figura 2.6: Modelo geotectônico em três estágios para a evolução do Supergrupo Rio das Velhas..... 34

Figura 2.7: Médias climáticas e precipitação por mês. Fonte: Data de acesso: setembro de 2021. 40

Figura 2.8: Comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano de 2023. 40

Figura 3.1: Pontos de Análise no município de Barra Longa..... 44

Figura 4.1: Dados de Alcalinidade da amostra RCA-01..... 49

Figura 4.2: Dados de Alcalinidade da amostra RCA-02..... 49

Figura 4.3: Dados de Alcalinidade da amostra RCA-03..... 51

Figura 4.4: Dados de Alcalinidade da amostra RCA-04..... 52

Figura 4.5: Dados de Alcalinidade da amostra RCA-05..... 53

Figura 4.6: Dados de Alcalinidade da amostra RCA-06..... 54

Figura 4.7: Dados de Alcalinidade da amostra RGN-07M. 55

Figura 4.8: Dados de Alcalinidade da amostra RGN-07..... 56

Figura 4.9: Dados de Arsênio Total da amostra RCA-01. 57

Figura 4.10: Dados de Arsênio Total da amostra RCA-02. 57

Figura 4.11: Dados de Arsênio Total da amostra RCA-03. 58

Figura 4.12: Dados de Arsênio Total da amostra RCA-04. 59

Figura 4.13: Dados de Arsênio Total da amostra RCA-05. 60

Figura 4.14: Dados de Arsênio Total da amostra RCA-06. 60

Figura 4.15: Dados de Arsênio Total da amostra RGN-07. 62

Figura 4.16: Dados de Arsênio Total da amostra RGN-07M..... 63

Figura 4.17: Dados Ferro da amostra RCA-01..... 64

Figura 4.18: Dados Ferro da amostra RCA-02..... 65

Figura 4.19: Dados Ferro da amostra RCA-03.....	66
Figura 4.20: Dados Ferro da amostra RCA-04.....	67
Figura 4.21: Dados Ferro da amostra RCA-05.....	68
Figura 4.22: Dados Ferro da amostra RCA-06.....	69
Figura 4.23: Dados Ferro da amostra RGN-07M.....	70
Figura 4.24: Dados Manganês na amostra RCA-01.....	71
Figura 4.25: Dados Manganês na amostra RCA-02.....	72
Figura 4.26: Dados Manganês na amostra RCA-03.....	73
Figura 4.27: Dados Manganês na amostra RCA-04.....	74
Figura 4.28: Dados Manganês na amostra RCA-05.....	75
Figura 4.29: Dados Manganês na amostra RCA-06.....	76
Figura 4.30: Dados Manganês na amostra RGN-07.....	77
Figura 4.31: Dados Mercúrio na amostra RCA-01.	78
Figura 4.32: Dados Mercúrio na amostra RCA-02.	79
Figura 4.33: Dados Mercúrio na amostra RCA-04.	80
Figura 4.34: Dados Mercúrio na amostra RCA-05.	81
Figura 4.35: Dados Mercúrio na amostra RCA-06.	82
Figura 4.36: Dados Mercúrio na amostra RGN-07.	83
Figura 4.37: Dados Mercúrio na amostra RGN-07M.....	84
Figura 4.38: Dados de Ferro na amostra RCA-01.....	85
Figura 4.39: Dados de Ferro na amostra RGN-08.....	86
Figura 4.40: Dados de Manganês na amostra RCA-01.....	87
Figura 4.41: Dados de Manganês na amostra RGN-08.....	88
Figura 4.42: Gráficos granulometria (%) amostra de sedimento RCA 02.	89
Figura 4.43: Gráficos granulometria (%) amostra de testemunho RCA-02.....	90

Figura 4.44: Disposição das frações granulométricas presentes na amostra de sedimento RGN-08.	91
Figura 4.45: Disposição das frações granulométricas presentes na amostra de sedimentos em suspensão RGN-08.	92
Figura 4.46: Dados Carbono Orgânico da amostra RCA-01.....	94
Figura 4.47: Dados Carbono Orgânico da amostra RCA-02.....	95
Figura 4.48: Dados Carbono Orgânico da amostra RCA-03.....	96
Figura 4.49: Dados Carbono Orgânico da amostra RCA-04.....	97
Figura 4.50: Dados Carbono Orgânico da amostra RCA-05.....	98
Figura 4.51: Dados Carbono Orgânico da amostra RCA-06.....	99
Figura 4.52: Dados de zoobentos da amostra RCA-02.	100
Figura 4.53: Dados de zoobentos da amostra RGN-08.	101
Figura 4.54: Correlação de Pearson entre Arsênio e Cobre no Rio do Carmo para amostra de água.	103
Figura 4.55: Correlação de Pearson entre Arsênio e Bário no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.	105
Figura 4.56: Correlação de Pearson entre Arsênio e Manganês no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.	106
Figura 4.57: Correlação de Pearson entre Bário e Manganês no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.	107
Figura 4.58: Correlação de Pearson entre Bário e Mercúrio no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.	108
Figura 4.59: Correlação de Pearson entre Bário e Níquel no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.	109
Figura 4.60: Correlação de Pearson entre Bário e Zinco no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.	110
Figura 4.61: Correlação de Pearson entre Cobre e Mercúrio no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.	111

Figura 4.62: Correlação de Pearson entre Cobre e Níquel no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.	112
Figura 4.63: Correlação de Pearson entre Manganês e Zinco no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.	114
Figura 4.64: Correlação de Pearson entre Bário e Manganês no Rio Gualaxo do Norte para amostra de sedimentos.	116
Figura 5.1: Disposição das anomalias de arsênio para amostras de água.	118
Figura 5.2: Disposição das anomalias de arsênio para amostras de sedimentos	119
Figura 5.3: Disposição das anomalias de ferro para amostras de água.	120
Figura 5.4: Disposição das anomalias de ferro para amostras de sedimentos e sedimentos em suspensão.	121
Figura 5.5: Disposição das anomalias de manganês para amostras de água.	122

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Principais rios da bacia do rio Doce, com suas respectivas características de altitude, gradiente, comprimento e o número de municípios que passam.	26
Tabela 2.2: Dados de Pluviosidade nos meses do ano de 2023 com temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C) e precipitação de chuvas (mm).	41
Tabela 3.1: Valores limites dos principais elementos para sedimentos e água.	43
Tabela 4.1: Amostras analisadas e disponibilidade das informações.	47
Tabela 4.2: Dados Ferro da amostra RGN-07.	69
Tabela 4.3: Dados Mercúrio na amostra RCA-03.	79
Tabela 4.4: Correlações de Pearson para os elementos da amostra de água no Rio do Carmo.	102
Tabela 4.5: Correlações de Pearson para os elementos da amostra de água no Rio Gualaxo do Norte.	103
Tabela 4.6: Correlações de Pearson para os elementos da amostra de sedimentos no Rio Gualaxo do Norte.	115

Resumo

A análise dos elementos químicos e sedimentos são fundamentais para compreender os parâmetros e a qualidade da água. Após o rompimento da barragem de Fundão, em 2015, a região do Rio do Carmo e Rio Gualaxo do Norte na região de Barra Longa, Minas Gerais, é monitorada pela Fundação Renova por meio de um robusto levantamento de dados com informações geoquímicas de amostras de águas e sedimentos coletadas ao longo da Bacia do Rio Doce. Esse destaque tem como objetivo a mobilização para a reparação dos danos causados pelo rompimento da barragem de Fundão, nos 670 quilômetros de área impactada ao longo da bacia do rio Doce, dentre elas, a área de estudo. Os dados foram compilados e serão confrontados com os limites normativos das resoluções CONAMA 454/12; 357/05 e também com limites da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) para os elementos que não tem normativa brasileira como é o caso do ferro e manganês. O presente trabalho se justifica pela escassez de informações compiladas e pela necessidade de compreender os impactos para a população diante da presença dos rejeitos do rompimento da barragem de Fundão que permanecem nos leitos e barrancos dos rios da região. Os resultados serão apresentados em formas de gráficos e mapas temporais da distribuição geoquímica dos elementos mostrando a comparação com os valores normativos da legislação. Através das análises temporais conseguimos perceber comportamentos bem parecidos nos pontos e períodos analisados dos elementos arsênio, ferro, manganês e mercúrio para água, sedimentos e granulometria para os pontos RCA-01 a RCA-06, RGN-07M e RGN-08. Em algumas amostras não são observados todos os elementos e nem ocorre em todos os pontos. Uma outra análise dos elementos utilizada foi a análise de correlação de Pearson que analisou a correlação entre os elementos nos pontos determinados, onde percebemos boa correlação para a amostra de água dos elementos arsênio e cobre, arsênio e bário, bário e cobre no Rio do Carmo. Para as amostras no Rio Gualaxo do Norte foram encontrados boa correlação entre os elementos arsênio e bário, arsênio e manganês, bário e manganês, bário e níquel e cobre e níquel. Finalmente, espera-se fazer recomendações com relação aos riscos à saúde da comunidade de Barra Longa em relação à presença de elementos com concentrações acima dos limites da legislação, utilizando preceitos da geologia médica.

Palavras-chave: Geoquímica, barragem de Fundão, Rio do Carmo e Rio Gualaxo do Norte.

Abstract

The analysis of chemical elements and sediments are essential to understand the parameters and quality of water. After the collapse of the Fundão Dam(barrage), in 2015, the region of Rio do Carmo and Rio Gualaxo do Norte in the region of Barra Longa, Minas Gerais, is monitored by the Fundação Renova (not for purposes of illustration) through a robust survey of data with geochemical information from water and sediment samples collected along the Rio Doce Basin. This monitoring is aimed at mobilizing to repair the damage caused by the collapse of the Fundão dam, in the 670 km of impacted area along the Bacia do Rio Doce, including the study area. The data will be compared with local background levels and with the normative limits of CONAMA resolutions 454/12; 357/05 and with limits set by the United States Environmental Protection Agency (EPA) for elements that do not have Brazilian regulations, such as iron and manganese. The present work is justified by the lack of compiled information and by the need to understand the impacts for the population in face of the presence of the tailings from the Fundão Dam (barrage) collapse that remain in the beds and banks of the rivers in the region. The results will be presented in the form of graphs and temporal maps of the geochemical distribution of the elements, showing the comparison with the normative values of the legislation. Through temporal analyses, we were able to perceive very similar behaviors at the points and periods analyzed for the elements arsenic, iron, manganese and mercury for water, sediments and granulometry for points RCA-01 to RCA-06, RGN-07M and RGN-08. In some samples, not all elements were observed and did not occur at all points. Another analysis of the elements used was the Pearson correlation analysis, which analyzed the correlation between the elements at the determined points, where we observed good correlation for the water sample of the elements arsenic and copper, arsenic and barium, barium and copper in the Carmo River. For the samples in the Gualaxo do Norte River, good correlation was found between the elements arsenic and barium, arsenic and manganese, barium and manganese, barium and nickel and copper and nickel. Finally, it is expected to make recommendations regarding the health risks to the community of Barra Longa in relation to the presence of elements with concentrations above the legal limits, using precepts of medical geology.

Keys words: Geochemistry, Fundão dam, Rio do Carmo and Rio Gualaxo do Norte.

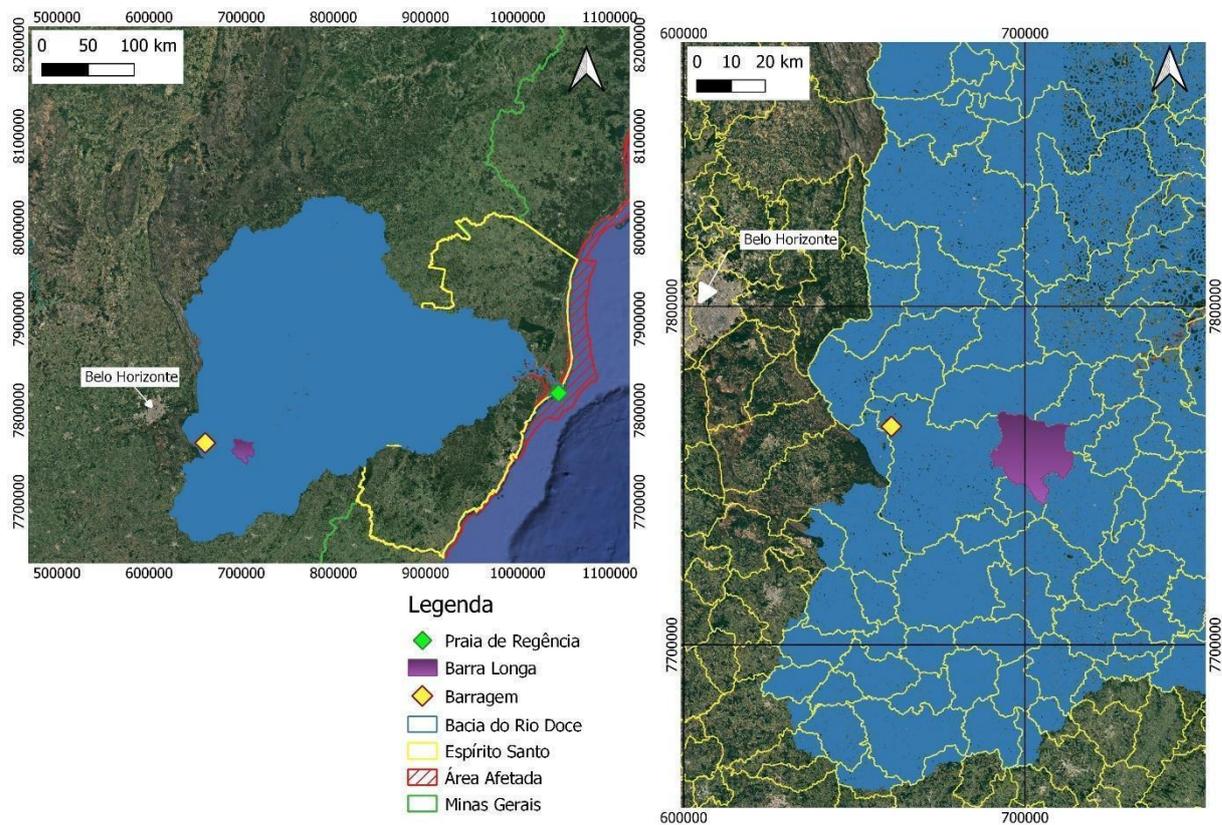
1.1 APRESENTAÇÃO

Após o rompimento da barragem de Fundão, localizada no município de Mariana, em 05 de novembro de 2015, muitas questões foram levantadas em relação à qualidade da água nas drenagens afetadas pelo evento, o qual atingiu a Bacia do Rio Doce.

Diversos métodos são utilizados para analisar a água, os sedimentos e os testemunhos. A coleta e a análise da qualidade desses materiais são realizadas pela Fundação RENOVA com a finalidade de monitoramento das áreas afetadas pela barragem de Fundão. Os dados monitorados pela Fundação RENOVA abrangem os padrões relacionados a íons, nutrientes, metais totais e dissolvidos, tais como análise de sedimentos, que incluem padrões físico-químicos convencionais e metais totais. Diante desse cenário, é possível atender ao objetivo de caracterizar os impactos provenientes do rompimento da barragem de Fundão, para isso foram usadas as matrizes ambientais do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) e do EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos).

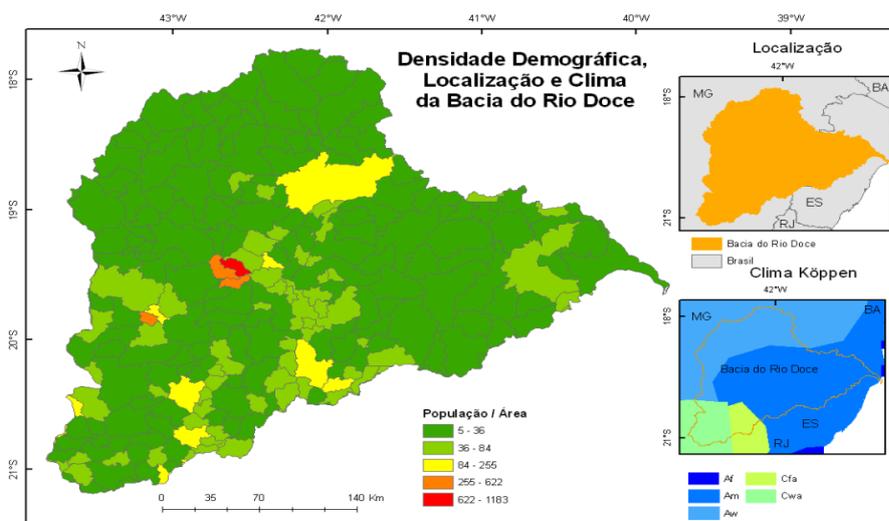
O Rio Doce, atingido pelo evento, possui uma extensão de 879 quilômetros, tendo suas nascentes nas Serras do Espinhaço e da Mantiqueira em Minas Gerais. A Bacia do Rio Doce está localizada parte no leste de Minas Gerais (82,8%) e parte no centro do Espírito Santo (17,2%), segundo Marcuzzo *et al.* (2011), e possui uma área de drenagem de 82.646 quilômetros quadrados (Figura 1.1). A bacia tem uma população estimada de 4,7 milhões de habitantes (dados do IBGE 2010), presente em 269 municípios, sendo 235 no estado de Minas e 34 no Espírito Santo (Figura 1.2). Antigamente, uma das principais atividades econômicas existentes era a mineração de ouro que demarcou a ocupação da região e ainda hoje, os rios da região atuam como canais receptores e transportadores de rejeitos e efluentes.

Figura 1.1: Bacia do Rio Doce em relação ao local de rompimento da barragem e área de estudo.



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 1.2: Densidade de habitantes por quilômetro quadrado, clima e localização da bacia, sendo Ipatinga com maior densidade populacional, a norte de Timóteo e a oeste de Coronel Fabriciano.



Fonte: Marcuzzo et al. (2011).

O Rio Gualaxo do Norte, objeto de estudo, é um dos rios que pertencem à bacia hidrográfica do Rio Doce, tendo sua nascente nas Serras de Ouro Preto, onde seu curso percorre 60 quilômetros até seu encontro com o rio do Carmo, na região de Barra Longa. O afluente principal do Rio Gualaxo do Norte é o Córrego Água Suja.

O Rio do Carmo é um dos formadores do Rio Doce, tendo sua nascente nas Serras de Ouro Preto, percorrendo as cidades de Mariana, Acaiaca e Barra Longa. O rio divide os municípios de Rio Doce e Ponte Nova, até ele se encontrar com o Rio Piranga, que a partir desse encontro se torna o rio Doce. Os afluentes principais do Rio do Carmo são o Rio Gualaxo do Norte e o Rio Gualaxo do Sul.

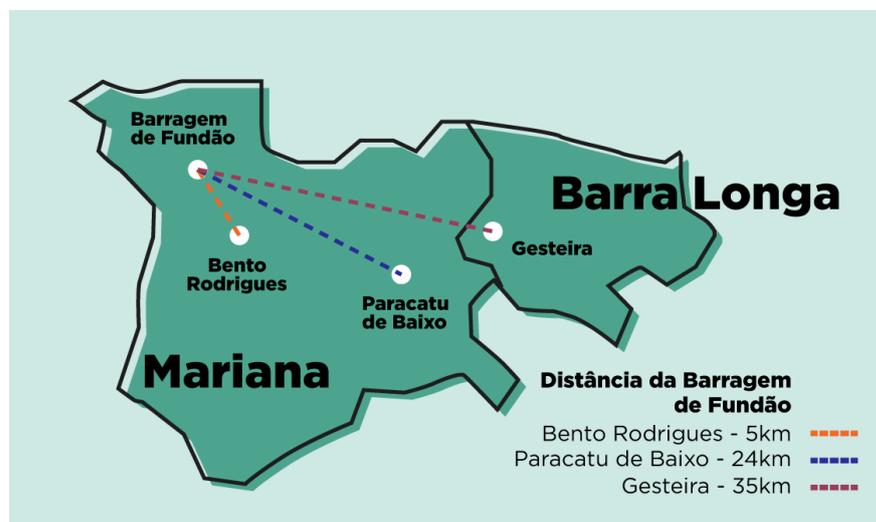
O trabalho abordará pontos que foram realizadas análise de água e sedimentos no município de Barra Longa, contemplando pontos localizados no Rio Gualaxo do Norte e no Rio do Carmo.

1.2 ROMPIMENTO DA BARRAGEM

A barragem do Fundão, que se situava no Complexo Industrial de Germano, no Complexo Minerário de Alegria, no município de Mariana em Minas Gerais, foi propriedade da empresa Samarco Mineração AS (controlada pelas empresas Vale e BHP) e entrou em operação no ano de 2008. Ao longo do tempo, esta barragem armazenava rejeitos provenientes de atividade de extração de minério de ferro.

No ano de 2015, a barragem do Fundão sofreu um rompimento, despejando cerca de 60 milhões de metros cúbicos de rejeitos e causando uma tragédia que culminou na morte de 19 pessoas, além de um desastre ambiental de grande proporção (MPMG). O material impactou os distritos de Bento Rodrigues e de Paracatu de Baixo, pertencentes ao município de Mariana e o distrito de Gesteira, pertencente ao município de Barra Longa (Figura 1.3). Além disso, a lama de rejeito atingiu diretamente o Rio Gualaxo do Norte, prejudicando 48 quilômetros do seu leito (do total de 60 quilômetros que ele possui). Por meio do Rio Gualaxo do Norte a lama de rejeito de mineração de ferro atingiu também o Rio do Carmo, na altura de Barra Longa (Figura 1.4), chegando ao Rio Doce, e seguindo no seu leito chegou até o Oceano Atlântico (após 16 dias do rompimento) na Praia de Regência no município de Linhares/ES, totalizando 663,2 km de corpos hídricos diretamente impactados (BRASIL, 2015, p. 3) (Figura 1.5).

Figura 1.3: Distritos impactados diretamente pelo rompimento da barragem de fundão.



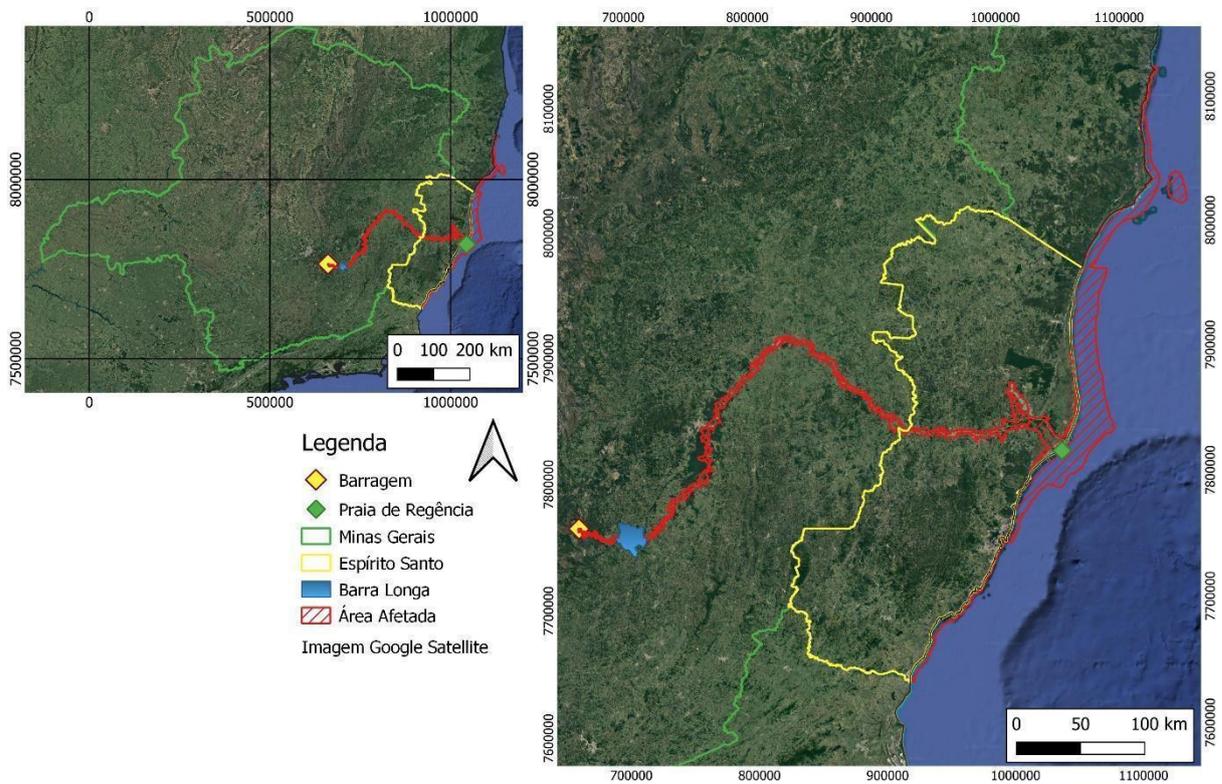
Fonte: Revista Dois Pontos.

Figura 1.4: Encontro do Rio do Carmo (limpo) e Rio Gualaxo do Norte (atingido inicialmente pelo rompimento) na cidade de Barra Longa, a cerca de 70 km de Bento Rodrigues. A foto é de um ano após o rompimento da barragem.



Fonte: Gustavo Basso/Vice.

Figura 1.5: Percursos da lama de rejeito desde Mariana/MG até Linhares/ES, passando pela área de estudo.



Fonte: elaborada pelo autor.

1.3 LOCALIZAÇÃO

O Rio do Carmo tem como um de seus principais afluentes o Rio Gualaxo do Norte, ambos pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Doce (Figura 1.6).

Figura 1.6: Hidrografia da bacia do rio Doce, com os principais cursos d'água.

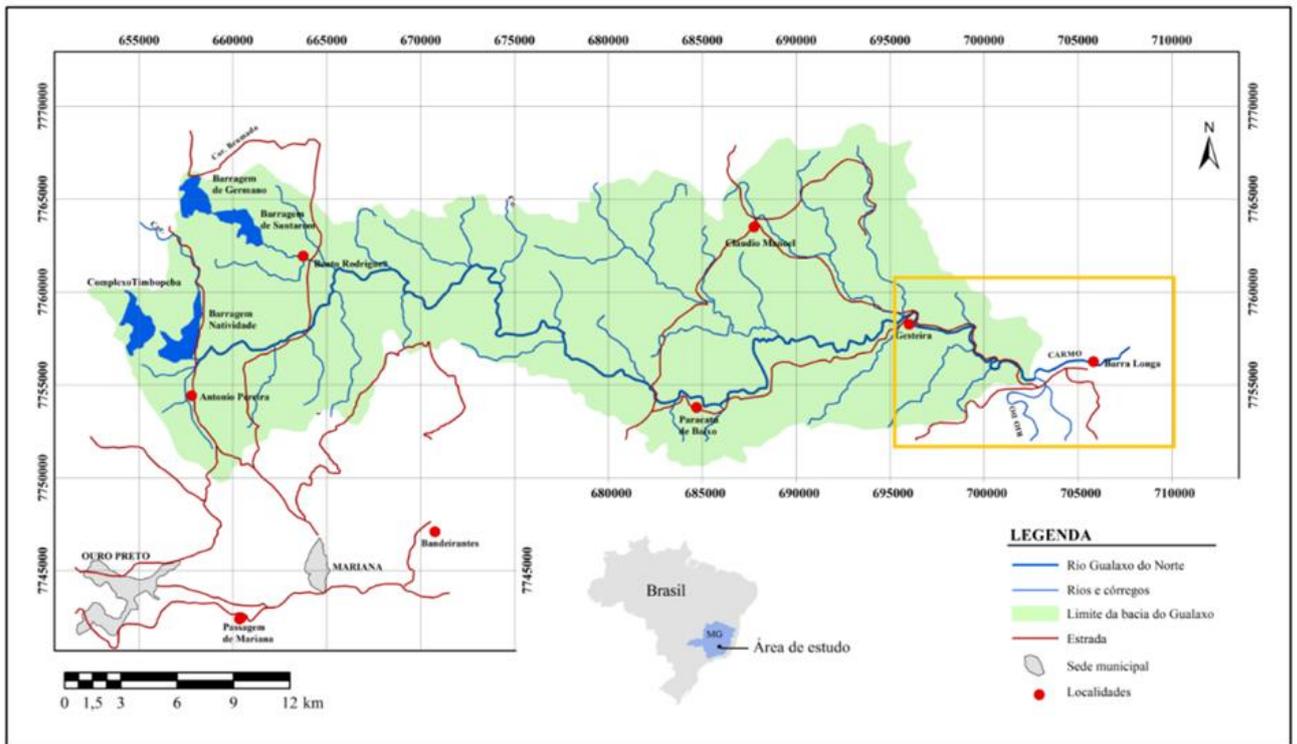


Fonte: CPRM.

O Rio Gualaxo do Norte possui sua nascente na serra do Espinhaço, Ouro Preto/MG e percorre uma extensão de 60 quilômetros até encontrar o Rio do Carmo, no município de Barra Longa-MG.

A área de estudo refere-se ao município de Barra Longa, pertencente à Bacia do Rio Doce e sub-bacia bacia do Rio Gualaxo do Norte e em alguns pontos da confluência deste com o Rio do Carmo conforme mostra a Figura 1.7.

Figura 1.7: Mapa da bacia do rio Gualaxo do Norte e área de estudo, dando ênfase à Barra Longa.



Fonte: elaborada pelo autor.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo primordial deste trabalho é analisar a distribuição geoquímica temporal de amostras de água, sedimentos e sedimentos em suspensão do Rio Gualaxo do Norte e do Rio do Carmo, nos pontos pertencentes ao município de Barra Longa, utilizando o banco de dados da Fundação Renova e comparando com as normas CONAMA 454 e EPA (RSL). Objetiva-se ainda comparar os valores das resoluções normativas a fim de compreender o grau de contaminação na área após o rompimento da barragem do Fundão.

Os objetivos secundários deste trabalho, contemplam compreender os impactos socioambientais a partir da análise geoquímica e no âmbito da saúde da comunidade de Barra Longa.

1.5 JUSTIFICATIVA

É de suma importância conhecer os elementos presentes nas águas e sedimentos.

Diante de um robusto banco de dados, é possível aproveitar essas informações que estão disponíveis para sociedade. A contaminação das águas fluviais impacta a agricultura, as pastagens e o consumo humano, além de prejudicar a biota e os peixes, afetando assim diretamente as comunidades. Analisar as águas e sedimentos presentes nos rios é de fundamental importância para gestão dos recursos hídricos, influenciando as tomadas de decisões para políticas públicas.

Além disso, traduzir dados produzidos em linguagem acessível de entendimento, através de gráficos e mapas geoquímicos, permitirá que as comunidades tenham maior compreensão dos impactos gerados pelo rompimento da barragem, os efeitos à saúde e as necessárias medidas de intervenção.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com o rompimento da barragem de Fundão em Bento Rodrigues, em novembro de 2015, Barra Longa passou a ser um dos municípios afetados pelo episódio, visto que a lama da barragem de rejeitos atingiu o rio Gualaxo do Norte e posteriormente o rio do Carmo, provocando uma súbita enchente na cidade e em comunidades rurais.

Este capítulo ilustrará revisões bibliográficas e dados importantes que fundamentam o trabalho.

2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS

2.1.1 Bacia do Rio Doce

A Bacia do Rio Doce está situada na região sudeste do Brasil, nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Possui uma extensão total de 853 km e uma área de drenagem com cerca de 83.465 km² (COELHO, 2007), sendo assim, uma bacia de domínio federal.

Possui aproximadamente 86% da sua drenagem em território Mineiro e os 14% restantes no Espírito Santo, contemplando um total de 255 municípios (ANA 2018). Dentre eles, destaca-se Barra Longa, município situado a cerca de 172 km de Belo Horizonte e que está inserido na região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais. Barra Longa possui uma área territorial de 383,628 km² e uma população estimada de 5.015 pessoas (IBGE 2020).

Os principais rios da bacia do rio Doce (Figura 1.6) são, em quilômetros lineares: Doce (610,56), Piranga (247,13), Manhuaçu (236,81), Santo Antônio (228,44), Piracicaba (206,89), Caratinga (172,9), Casca (163,36), Suaçuí Pequeno (114,29), Guandu (102,02), Panças (95,66), Santa Maria (73,70), Resplendor (38,94) e do Carmo (22,10) (Tabela 2.1), (Marcuzzo *et al.* 2011), sendo que os rios relevantes dessa bacia nesse trabalho são os rio Gualaxo do Norte (60 quilômetros) e o rio do Carmo.

Tabela 2.1: Principais rios da bacia do rio Doce, com suas respectivas características de altitude, gradiente, comprimento e o número de municípios que passam.

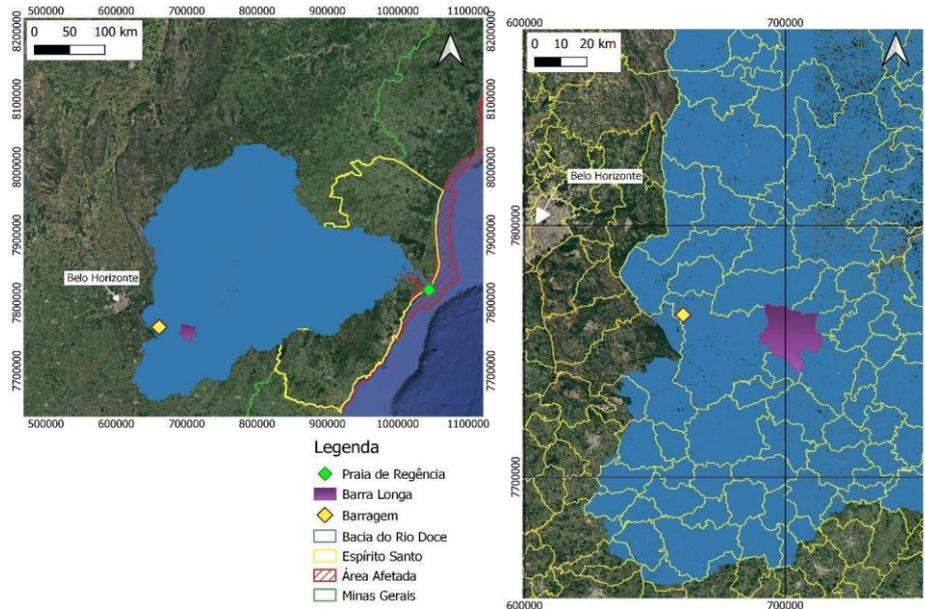
Nome do Rio	Altitude (m)		Gradiente do rio (m)	Comprimento Talvegue (km)	Nº de Municípios por onde passa o rio
	Nascente	Foz			
¹ Doce	1252	0	1252	857,11	43
Piranga	1252	373	879	247,13	12
Manhuaçu	825	80	745	236,81	12
Santo Antônio	1037	213	824	228,44	12
Piracicaba	1659	231	1428	206,89	14
Caratinga	1026	161	865	172,9	11
Casca	846	268	578	163,36	11
Suaçuí Pequeno	945	213	732	114,29	3
Guandu	401	134	267	102,02	3
Panças	432	77	355	95,66	3
Santa Maria	949	102	847	73,7	3
Carmo	1314	372	942	22,1	5
Resplendor	380	113	267	38,94	3

¹Dados considerando o Rio Doce desde sua nascente mais distante até sua foz.

Fonte: Marcuzzo et al. 2011.

A Figura 2.1 apresenta a localização da Bacia do Rio Doce em relação a área de estudo.

Figura 2.1: Localização da Bacia do Rio Doce em relação a área afetada em decorrência do rompimento da barragem e em relação a área de estudo.



Fonte: elaborada pelo autor.

2.1.2 Rio do Carmo

O Rio do Carmo pertence à Bacia do Rio Doce, tendo sua nascente no município de Ouro Preto, na serra do Espinhaço. A bacia do rio do Carmo, apresenta uma área de drenagem de 2.279 km², que equivale a 2,73% da bacia do rio Doce e corre por uma extensão de 134 km (Barbosa *et al.*, 2005). A região engloba 14 municípios, no total deles tem cerca de 278.000 habitantes, segundo estimativa do IBGE para o ano de 2000.

Os principais afluentes do Rio do Carmo são os Rios Gualaxo do Norte e Gualaxo do Sul, que se encontram nos municípios de Barra Longa e Mariana, respectivamente. Torna-se o Rio Doce na confluência do Rio do Carmo com o Rio Piranga, nos municípios de Rio Doce e Ponte Nova.

2.1.3 Rio Gualaxo do Norte

O Rio Gualaxo do Norte pertence à Bacia do Rio Doce, com sua nascente na cidade de Ouro Preto na serra do Espinhaço com altitude em cerca de 1380 metros, possuindo uma área de aproximadamente 250 km², e tem como seu afluente principal o córrego de Água Suja, na cidade de Mariana.

A bacia do Rio Gualaxo do Norte tem suas cabeceiras localizadas nas proximidades do distrito de Antônio Pereira (Ouro Preto-MG) e Bento Rodrigues (Mariana-MG) (*Souza et al.*, 2005). O rio principal segue seu médio curso em direção a leste e deságua no Rio do Carmo, no município de Barra Longa-MG (Costa, 2001).

2.1.4 Barra Longa

A cidade de Barra Longa está localizada no estado de Minas Gerais, na Zona da Mata, tendo sua população estimada pelo IBGE (2021) em 4.905 pessoas. Possui 383,628 km² e cerca de 334 metros de altitude.

O sistema de drenagem do município de Barra Longa integra a bacia do rio Doce sendo banhado pelos rios Piranga, Casca, Gualaxo do Sul, Gualaxo do Norte, do Carmo, Pomba, Paraíba do Sul, Paraibúna, rio Preto, assim como pelo Córrego Bom Sucesso (IEPHA, 2007).

O município de Barra Longa, juntamente com seu distrito de Gesteira, foi um dos municípios mais atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão em Mariana. O desastre causou significativo impacto ambiental no município, alteração da paisagem, contaminação dos rios do Carmo e Gualaxo do Norte por rejeitos de mineração, danos ao patrimônio cultural material, alterando o modo de vida da população local (DE ANDRADE 2018).

Com o rompimento da barragem, inúmeros impactos afetam comunidades tradicionais da área, principalmente relativos a fatores socioeconômicos, dentre elas, o município de Barra Longa.

De acordo com o Relatório do Plano Municipal de Saneamento Básico do município de Barra Longa, a agropecuária se configura como setor primário da economia do município, seguido pela indústria e setor de serviços (IBGE 2020). No município, destacam-se como atividades econômicas o cultivo de cana de açúcar, café, milho, arroz, feijão e frutas, além da pecuária leiteira. Significativas, também, são as criações de rebanho bovino de corte e leite, equinos, suínos, caprinos e aves. Em relação ao setor industrial, Barra Longa é responsável pela produção de laticínios, rapadura, aguardente de cana e capacidade de beneficiar e moer grãos (IEPHA, 2007).

O rompimento da barragem acarretou danos significativos para os bens culturais do município, causando impactos ambientais de grandes proporções, dos quais destaca-se a

contaminação da água colocando a população em situações de vulnerabilidade, com alteração da disponibilidade do recurso hídrico. A escassez de água afeta diretamente o saneamento, as atividades industriais e agropecuárias, a pesca, e a mineração da região, além de comprometer a saúde da população (Guerra, 2018).

2.2 QUADRILÁTERO FERRÍFERO

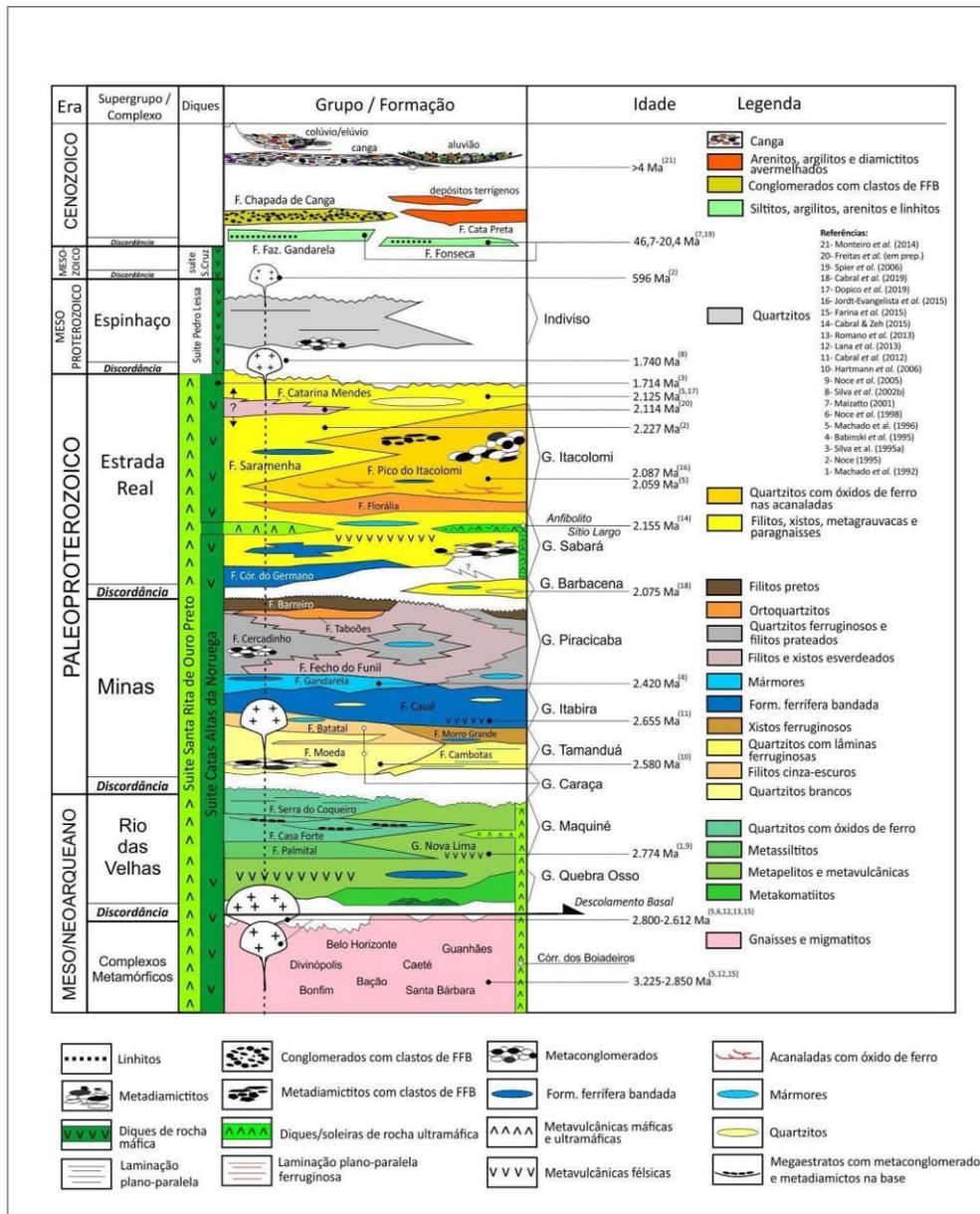
Situado na borda sudeste do Cráton do São Francisco, no centro sul do estado de Minas Gerais, o Quadrilátero Ferrífero é um dos mais marcantes conjuntos serranos do sudeste do Brasil. Sustentada por rochas arqueanas e proterozóicas, a morfologia da área pode ser definida como resultado da evolução a longo termo de um substrato geológico diverso deformado, resultante dos ciclos tectônicos Transamazônico e Brasileiro, com orogênese a 2 Ga e a 600 Ma, respectivamente (UHLEIN;NOCE, 2012).

O Quadrilátero Ferrífero se estende por uma área de aproximadamente 12.785 km² (Endo et al., 2019), é a mais importante província mineral do sudeste do Brasil, sendo que atualmente é uma grande produtora nacional de minério de ferro bruto e antigamente foi um importante polo aurífero na época do ciclo do ouro.

Em sua porção leste, o Quadrilátero é drenada por afluentes da bacia do Rio Doce. O rio Doce, nasce do encontro dos rios do Carmo e Piranga, sendo que o rio do Carmo tem sua nascente no Quadrilátero Ferrífero, em Ouro Preto na serra do Espinhaço com uma altitude próxima aos 1500 metros. Outro rio importante para a bacia do rio Doce que nasce no Quadrilátero é o Piracicaba, que tem sua nascente na serra do Caraça em Ouro Preto, com uma altitude de 1680 metros.

A região do Quadrilátero Ferrífero está organizada estratigraficamente conforme coluna estratigráfica ilustrada na Figura 2.2.

Figura 2.2: Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.

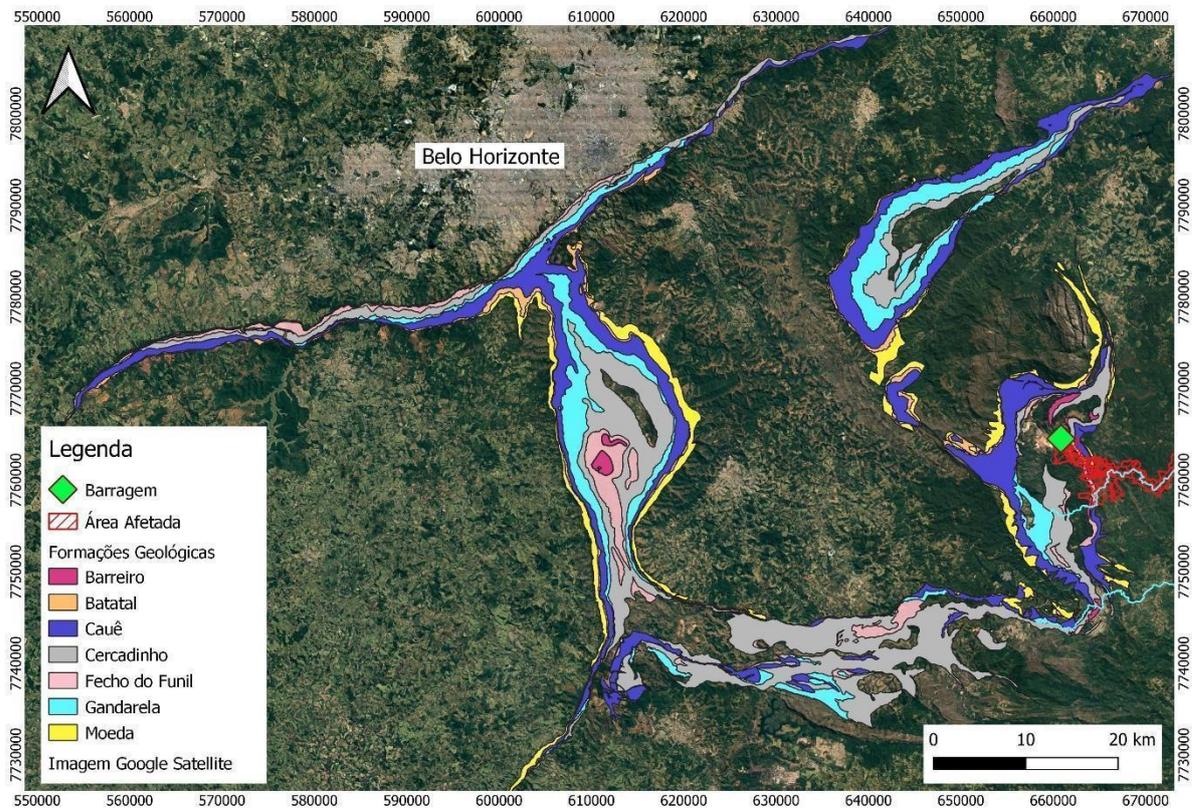


Fonte: Endo, 2019.

2.3 GEOLOGIA REGIONAL

De modo a otimizar a compreensão da área de estudo em relação ao Quadrilátero Ferrífero, a Figura 2.3 ilustra o arranjo do Quadrilátero Ferrífero demarcado por algumas das principais formações que compõem o Supergrupo Minas. O local do rompimento da barragem localiza-se na porção leste do Quadrilátero Ferrífero, com o Rio do Carmo e o Rio Gualaxo do Norte nas adjacências.

Figura 2.3: Quadrilátero Ferrífero demarcado pelas principais Formações do Supergrupo Minas e local de rompimento da barragem.

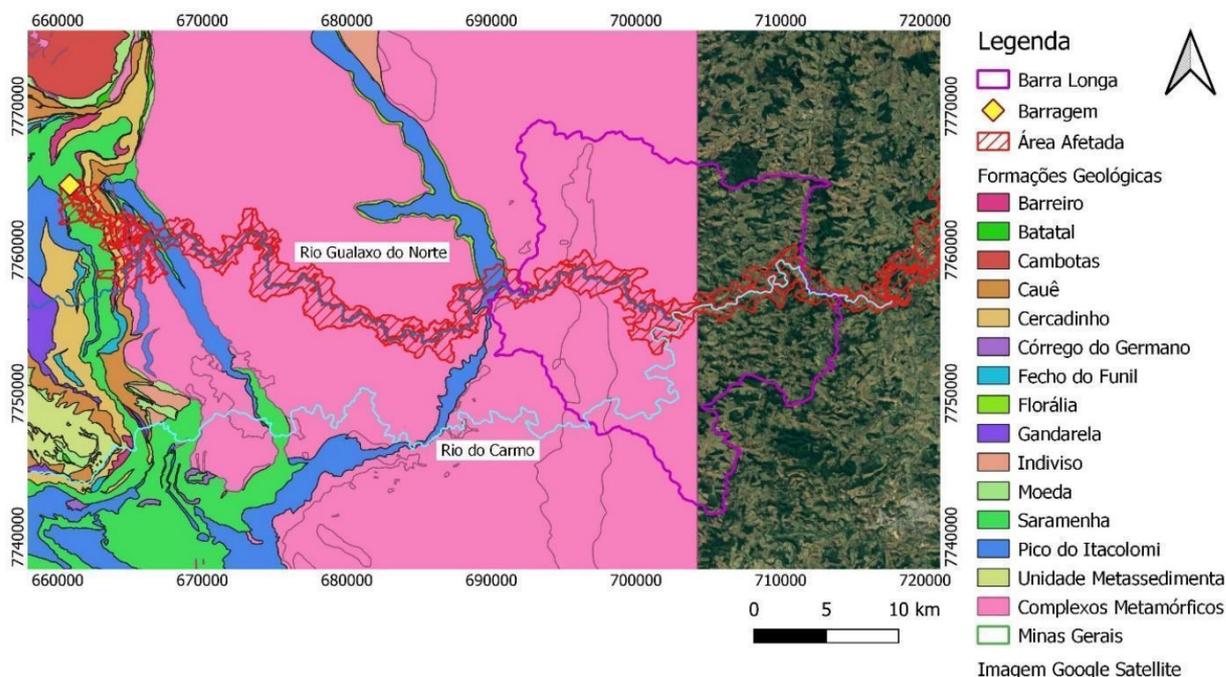


Fonte: elaborada pelo autor.

Geologicamente, o alto curso do Rio Gualaxo do Norte situa-se nos domínios de rochas supracrustais do Quadrilátero Ferrífero, tendo predomínio de quartzitos, itabiritos e filitos do Supergrupo Minas. Seu médio curso drena rochas arqueanas predominando gnaisses e metabásicas, litotipos característicos dos complexos metamórficos granito-gnáissicos, além de xistos e quartzitos do Supergrupo Rio das Velhas (*greenstone belt*). Já seu baixo curso drena gnaisses e granitos do Complexo Santa Bárbara (Costa et al., 2003) (Figura 2.3).

O Complexo Metamórfico representado na Figura 2.4, trata-se do Complexo Santa Bárbara, a Oeste da Formação Pico do Itacolomi (disposta norte-sul) e a leste, trata-se do Complexo Mantiqueira com parte do Complexo Acaiaca, sendo que o complexo Mantiqueira se estende para a área de estudo, apesar de não ser totalmente contemplado na base de dados utilizada.

Figura 2.4: Localização dos Rios em Análise em relação à Geologia do Quadrilátero Ferrífero.



Fonte: Endo, 2019. Sistema de Coordenadas SIRGAS 2000, Zonas 23S.

Os litotipos presentes nas formações supracitadas serão apresentados a seguir com base no Livro “Quadrilátero Ferrífero: Avanços do conhecimento nos últimos 50 anos” e no Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000: uma celebração do cinquentenário da obra de Dorr (1969).

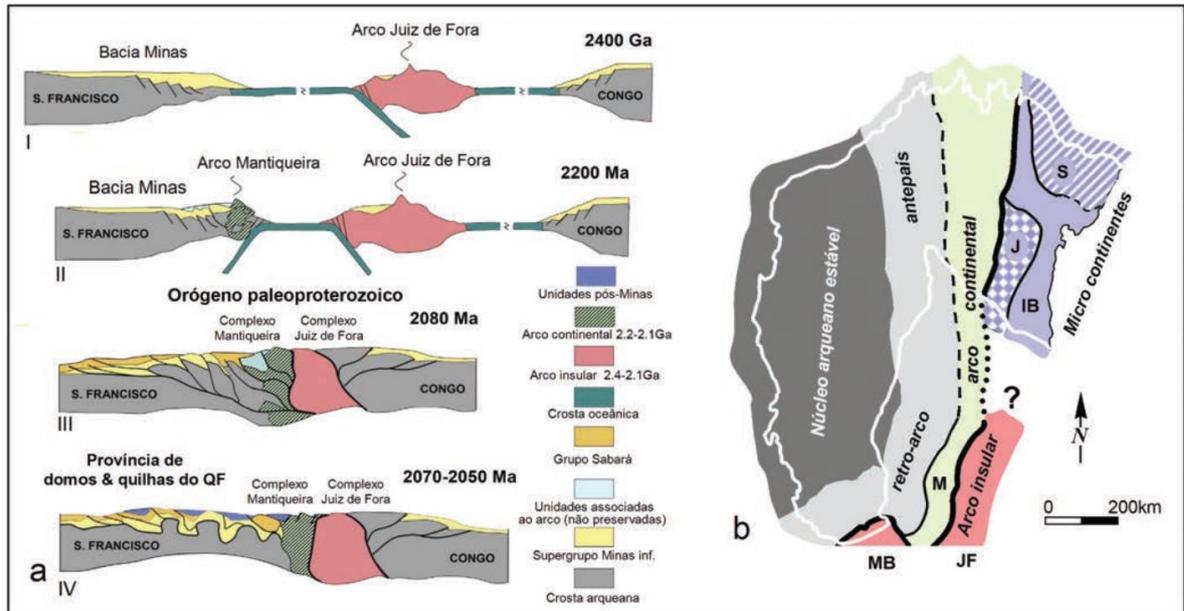
2.3.1 Complexos Metamórficos Granito-Gnáissicos

Os complexos metamórficos são compostos por gnaisses bandados ou não, granitoides, migmatitos, anfíbolitos e corpos máficos ultramáficos. (Endo et al., 2019).

2.3.1.1 Complexo Mantiqueira

O Complexo Mantiqueira data do Paleoproterozoico, é composto por gnaisses granodioríticos e representa um grande panorama geotectônico na porção sul do Cráton São Francisco, como ilustra a Figura 2.5.

Figura 2.5: (a) Modelo geotectônico da evolução do orógeno transmazônico a partir de colisão e inversão da bacia margem passiva Minas em quatro estágios por Aguilar et al. (2017), no qual é incluída a geração do arco magmático Mantiqueira na margem franciscana. (b) Tentativa de reconstrução do cenário pós-colisional do evento transmazônico, no qual estariam envolvidos o arco Mantiqueira na margem do paleocontinente São Francisco (Bloco do Gavião), os terrenos juvenis do Cinturão Mineiro (M) e Juiz de Fora (JF), além dos microcontinentes Serrinha (S), Jequié (J) e Itabuna-Salvador-Curaçá (IB) do leste baiano.



Fonte: Aguilar et al. (2017).

2.3.1.2 Complexo Acaiaca

O Complexo Acaiaca data do Paleoproterozoico e é constituído por gnaisses granulíticos e enderbitos.

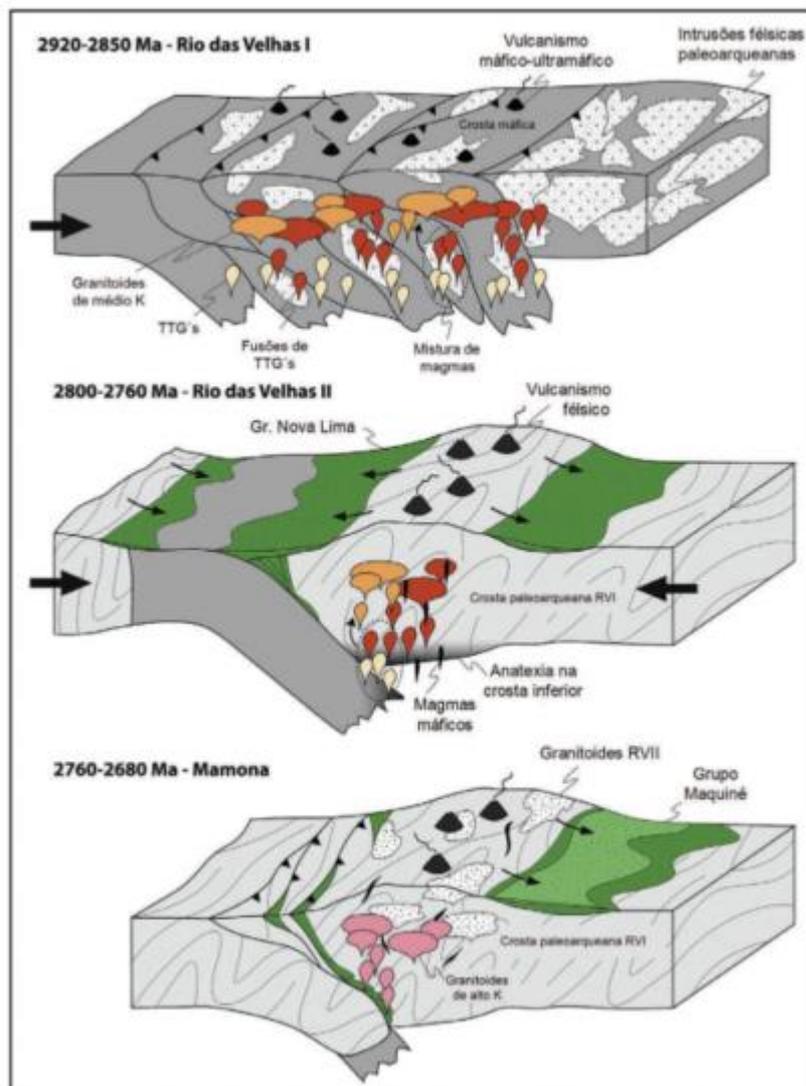
2.3.1.3 Complexo Santa Bárbara

O Complexo Santa Bárbara formou-se do evento Santa Bárbara com a colocação das rochas TTGs entre 3.220 Ma e 3.200 Ma. É composto por ortognaisses tonalíticos-trondhjemiticos-granodioríticos e graníticos e migmatitos que datam do mesoarqueano.

2.3.2 Supergrupo Rio das Velhas

O Supergrupo Rio das Velhas (Loczy & Ladeira 1976) trata-se de um greenstone com uma evolução a partir de um rifte continental. Possui um interessante modelo geotectônico (Baltazar & Zuchetti (2007)) (Figura 2.6).

Figura 2.6: Modelo geotectônico em três estágios para a evolução do Supergrupo Rio das Velhas.



Fonte: Endo, 2019.

2.3.2.1 Grupo Nova Lima

Possui intercalação de rochas de origem sedimentar e vulcânica que, com presença de eventos hidrotermais e deformações que deram origem a xistos, xistos cloríticos e filitos. É comum haver camadas ou lentes de filitos grafitosos, formações ferríferas, dolomitos e metagrauvas e quartzitos.

O Grupo Nova Lima apresenta uma variedade de litotipos, tais como: lavas básicas, grauvacas, quartzitos com intercalações de formações ferríferas, dolomitos quartzosos e rochas ankeríticas quartzosas, conglomerados e filitos carbonáticos.

2.3.3 Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas possui quatro grupos, sendo eles da base para o topo: Tamanduá, Caraça, Itabira e Piracicaba. Representa uma sucessão continental-marinha (Dorr 1969) e representa um dos estágios de evolução de uma bacia de margem passiva (Alkmim & Martins Neto 2012).

2.3.3.1 Grupo Caraça

O Grupo Caraça possui a Formação Moeda na Base e a Formação Batatal no topo.

2.3.3.1.1 Formação Moeda

A Formação Moeda consiste em um grupo predominantemente de quartzito, quartzitos sericíticos, filitos e metaconglomerados.

2.3.3.2 Grupo Itabira

O Grupo Itabira possui rochas metassedimentares marinhas (Dorr 1969) e representa o registro integral da bacia de margem passiva (Alkmim & Marshak 1998).

2.3.3.2.1 Formação Cauê

A Formação Cauê é caracterizada por itabiritos, itabiritos dolomíticos, itabiritos anfibolíticos e, subordinadamente, de filitos, quartzitos e mármore.

2.3.3.2 Formação Gandarela

A Formação Gandarela possui litologias de mármore dolomíticos, filitos dolomíticos, dolomitos ferruginosos, filitos e itabiritos como sua característica.

2.3.3.3 Grupo Piracicaba

O grupo Piracicaba é constituído por rochas metassedimentares marinhas e possui quatro formações: Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro.

2.3.3.3.1 Formação Cercadinho

A Formação cercadinho possui quartzitos ferruginosos, filitos prateados e, subordinadamente, por dolomitos, xistos sericíticos e metaconglomerados.

2.3.3.3.2 Formação Fecho do Funil

A Formação Fecho do Funil é caracterizada por filitos, filitos dolomíticos, metassiltitos, dolomitos quartzosos e argilosos.

2.3.3.3.3 Formação Barreiro

Filitos grafitosos, filitos e xistos subordinados são os litotipos que caracterizam a Formação Barreiro.

2.3.4 Supergrupo Estrada Real

O Supergrupo estrada real representa uma sucessão do tipo *flysch* e molassa sin-orogênicos de pelo menos 3.625 m de espessura (Dorr 1969, Noce 1995, Reis *et al.* 2002).

2.3.4.1 Grupo Sabará

As rochas do Grupo Sabará são metassedimentares marinhas.

2.3.4.1.1 Formação Saramenha

A Formação Saramenha possui cloritaxistos, mica xistos com intercalações de metagrauvas, quartzitos e formação ferrífera bandada.

2.3.4.2 Grupo Itacolomi

O Grupo Itacolomi representa rochas metassedimentares continentais.

2.3.4.2.1 Formação Florália

A Formação Florália é representada por ortoquartzitos.

2.3.4.2.2 Formação Pico do Itacolomi

A Formação Pico do Itacolomi é marcada por quartzitos do Grupo Itacolomi Dorr (1969), com predomínio de quartzitos com estratificação cruzada acanalada marcada por trilhas de óxido de ferro, metaconglomerados com seixos, calhaus e raramente matacões de veios de quartzo, quartzito, itabirito, filito e granito.

2.3.5 Suíte Santa Rita de Ouro Preto

A Suíte Santa Rita de Ouro Preto é caracterizada por magmatismo ultramáfico intrusivo nas unidades metassedimentares do Paleoproterozoico. Um batólito representa essa unidade junto a vários *stocks* e por um enxame de diques com extensões que variam de 2 km a 15 km (Endo *et al.* 2019 a, b).

Há corpos ultramáficos metamorfizados em fácies xisto-verde (Gonçalves *et al.* 2011) e diques com direção NW-SE além de deformação cisalhante sinistral superimposta (Gonçalves *et al.* 2011). As principais rochas metaultramáficas são o esteatito (pedra-sabão) e o serpentinito (Jordt-Evangelista & Silva 2005).

2.4 FUNDAÇÃO RENOVA E BASE DE DADOS

A Fundação Renova é uma organização sem fins lucrativos que se encarrega da mobilização para a reparação dos danos causados pelo rompimento da barragem de Fundão, criada em 2016 com a missão de implementar e gerir os programas de reparação dos impactados pelo rompimento da barragem. A Fundação possui um compilado de dados de acesso público em seu site de monitoramento de água, sedimentos e testemunhos da bacia do Rio Doce, o que permite trabalhar no processo de reparação dos danos, desde o município de Mariana/MG até a foz do Rio Doce, no município de Linhares/ES, com variadas ações de curto e longo prazo.

2.5 IMPLICAÇÃO DOS ELEMENTOS TRAÇOS NA SAÚDE HUMANA E ELEMENTOS ANALISADOS

O excesso do consumo e da exposição de elementos traços apresenta grande risco para o organismo humano e pode acarretar sérios problemas na saúde do indivíduo.

O elemento manganês é utilizado pelo organismo de forma saudável em pequenas quantidades, entretanto seu excesso é considerado tóxico e pode causar danos em alguns sistemas do corpo. Tal exposição excessiva por esse elemento, seja por inalação ou de forma oral, pode atingir o sistema nervoso central e trazer sintomas semelhantes à doença de Parkinson, como perda ou diminuição de neurônios, o que gera tremores, dificuldades de coordenação motoras e problemas de memórias (Lima, 2013).

A ingestão de arsênio inorgânico através do consumo de água traz inúmeras consequências para a saúde humana também quando há a exposição crônica. Tal exposição pode aumentar o risco da ocorrência de câncer e doenças cutâneas, gastrointestinais, vasculares, diabetes mellitus e neuropatias periféricas (De Lima Rodrigues, 2008).

Referente ao elemento bário, segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), a principal exposição da população pelo elemento bário é dada pela ingestão de água e de alimentos contaminados. A ingestão de pequenas quantidades de bário em curtos espaços de tempo pode provocar vômito, cólica estomacal, diarreia, dificuldade respiratória, alteração da pressão sanguínea, adormecimento da face e debilidade muscular. A ingestão de altas quantidade de compostos de bário que estão solúveis em água pode causar alterações no ritmo cardíaco e paralisia, no caso mais grave pode levar a óbito se não houver tratamento.

No que tange o elemento ferro, a toxicidade do ferro pode ocorrer também pelo acúmulo crônico desse elemento, segundo o Sistema Único de Saúde (SUS) essa contaminação pode ter como consequência doenças como diabetes mellitus, cirrose e podem estar presentes também dores articulares e abdominal, fadiga e perda ponderal. Uma das principais doenças que podem ser citadas como intoxicação com o excesso de ferro são as doenças relacionadas às doenças coronárias, na qual há o entupimento das veias do coração por esse elemento.

Além disso, outras informações serão analisadas, como a alcalinidade, carbono orgânico total e zoobentos.

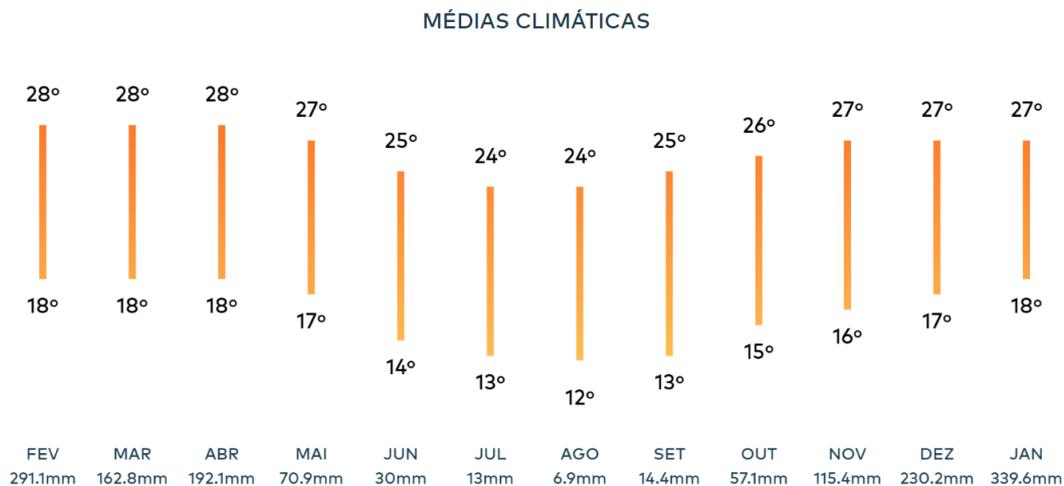
A alcalinidade da água representa a capacidade que um sistema aquoso tem para neutralizar ácidos fortes. Uma solução de baixa alcalinidade tem o pH diminuído por um ácido fraco, e uma solução de alta alcalinidade não tem grande alteração no pH, pois seus íons livres neutralizaram o ácido fraco. O elemento carbono orgânico total é um dado importante, uma vez que o carbono, pelas leis de Van der Waals, tem a capacidade de adsorver materiais pesados. Os zoobentos, por sua vez, representam o número total de indivíduos e materiais terrígenos.

2.6 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

2.6.1 Clima

Na região de Barra Longa o clima é caracterizado como tropical. Possui índices consideráveis de precipitação (300mm em média) no verão, entre os meses de dezembro e fevereiro, estação que também é marcada pelas maiores temperaturas, com uma média da máxima de 28°C. O outono e a primavera, de março a abril e de setembro a novembro, respectivamente, são as estações com temperaturas mais agradáveis, com mínima média de 17°C e máxima de 26°C. O inverno, nos meses de junho a setembro é marcado por temperaturas que chegam até 12°C e baixa umidade relativa do ar (Figura 2.7). A pluviosidade média é de 2018 mm/ano, com distribuição irregular e chuvas concentradas no verão.

Figura 2.7: Médias climáticas e precipitação por mês. Fonte: Data de acesso: setembro de 2021.

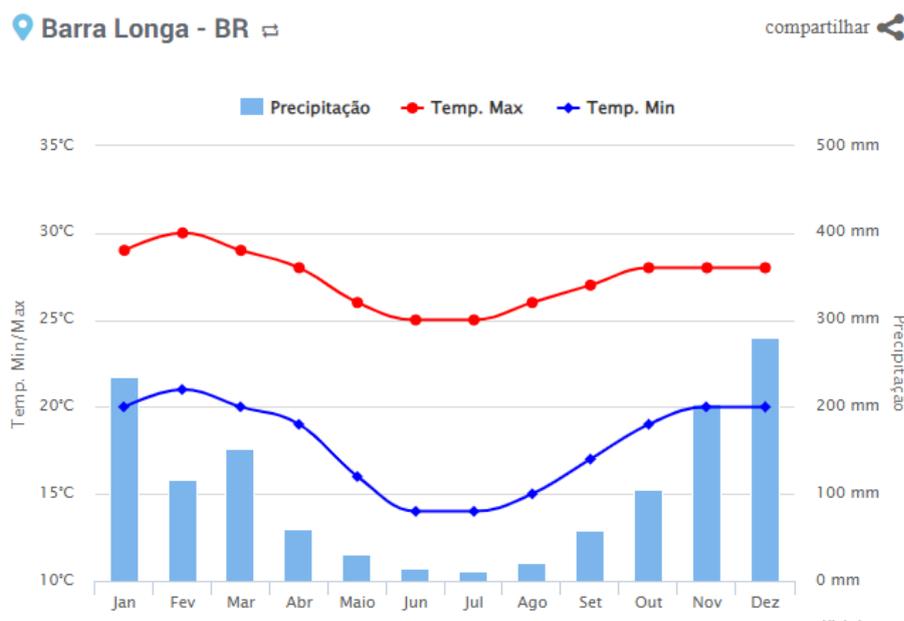


Fonte: elaborada pelo autor.

2.6.2 Pluviosidade

Referente a pluviosidade, os índices de precipitação são maiores nos meses do verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e menores índices nos demais meses comparados com o verão, conforme apresentado na Figura 2.8.

Figura 2.8: Comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano de 2023.



Fonte: Clima Tempo Data de acesso: março de 2024.

Conseguimos perceber aqui no gráfico para análise da pluviosidade nos meses do ano de 2023 que temos os picos de chuva nos meses de novembro, dezembro e janeiro. Aqui conseguimos perceber que a estação Verão, correspondente aos meses de dezembro à março é a estação com mais volumes de chuvas. E as estações Outono e Inverno, correspondentes ao período de 20 de março a 21 de setembro, são as estações com menor volumes de chuvas, sendo os meses junho e julho os meses com menores valores de chuvas.

Tabela 2.2: Dados de Pluviosidade nos meses do ano de 2023 com temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C) e precipitação de chuvas (mm).

Mês	Mínima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	20°	29°	234
Fevereiro	21°	30°	116
Março	20°	29°	152
Abril	19°	28°	60
Maió	16°	26°	31
Junho	14°	25°	14
Julho	14°	25°	12
Agosto	15°	26°	21
Setembro	17°	27°	59
Outubro	19°	28°	105
Novembro	20°	28°	204
Dezembro	20°	28°	280

Fonte: Clima-Tempo.

2.6.3 Relevo e Hidrografia

O relevo da região é marcado pelas feições da porção localizada a Oeste do Quadrilátero Ferrífero, mais especificamente a oeste do Anticlinal de Mariana. No que tange o relevo, no ordenamento territorial é pouco plano, com ondulações e parte montanhoso. A altitude média é de 400m.

A feição de relevo está integralmente na Bacia do Rio Doce. Os rios presentes na região são o Rio Gualaxo do Norte e o Rio do Carmo, objetos desse estudo.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de analisar os dados disponíveis pela Fundação Renova em seu site, por meio da confecção de gráficos e diagramas os confrontando e comparando aos valores da resolução CONAMA 454/12, CONAMA 357/05 e EPA (RSL), com a finalidade de criar uma relação quantitativa dos elementos após o rompimento da barragem de Fundão, o presente trabalho irá seguir as seguintes etapas:

3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

A revisão bibliográfica foi uma etapa importante para compilação dos dados. A principal base de consulta bibliográfica foram trabalhos na área feitos e ou orientados na disciplina de Geologia Ambiental, lecionada pela orientadora deste trabalho e informações das bases de dados extraídos da Fundação Renova.

3.2 LEVANTAMENTO DE BANCO DE DADOS

Utilizou-se, neste trabalho, o banco de dados da Fundação Renova disponível na internet, com informações dos levantamentos de distribuição geoquímica temporal de 2018 até 2021 de amostras de água e sedimentos coletados em pontos ao longo do Rio Gualaxo do Norte e Rio do Carmo, ambos contemplando a região do município de Barra Longa.

Salienta-se que os dados utilizados foram retirados a partir do Programa de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático de Água e Sedimento (PMQQS), que tem o propósito de acompanhar ao longo do tempo a recuperação da bacia hidrográfica do Rio Doce e zona costeira e estuarianas adjacentes.

3.3 INTEGRAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Posteriormente ao levantamento do banco de dados, foi feita a organização das informações obtidas, confecções gráficos no Excel com os dados e especialmente com mapas desenvolvidos no QGIS.

3.4 METODOLOGIA DA TRATATIVA DOS DADOS

Os dados foram obtidos no site da Fundação Renova (<https://portal-de-monitoramento-rio-doce-fundacaorenova.hub.arcgis.com/pages/pa-download>) e foram filtrado de acordo com os anos, com os elementos e com os tipos de ensaios.

Os dados obtidos do banco de dados da Fundação Renova contemplam as informações de coordenadas dos pontos, localidades, periodicidade das amostragens e entre outras informações coletadas.

Foi utilizada a base de dados de águas fluviais e sedimentos, disponibilizada no site supracitado, com os parâmetros físico-químicos, turbidez, oxigênio dissolvido e todos os elementos químicos que tiveram concentrações acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA 454/12, CONAMA 357/05 desde 2018 até fevereiro de 2021, principalmente para os elementos traço.

No que tange os elementos ferro, manganês, por não terem limites na legislação brasileira foram utilizados os limites da EPA RSL em sedimentos para conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Valores limites dos principais elementos para sedimentos e água.

Parâmetro		Unidade	Valor	Resolução
Arsênio	Água	mg/L	0.01	CONAMA 357
Ferro	Água	mg/L	0.3	CONAMA 357
Ferro	Sedimentos	mg/kg	55000	EPA RSL
Manganês	Água	mg/L	0.1	CONAMA 357
Manganês	Sedimentos	mg/kg	1800	EPA RSL
Mercúrio	Água	mg/L	0.0002	CONAMA 357

Fonte: resoluções CONAMA 357 e a EPA RSL

Os dados foram setorizados e analisados conforme a categoria e trabalhos no Excel e foram feitas análises de correlação Pearson usando software estatístico R. O QGis foi utilizado para geração de mapas e para uma análise visual do local e da dispersão de cada elemento.

3.5 PARÂMETROS UTILIZADOS

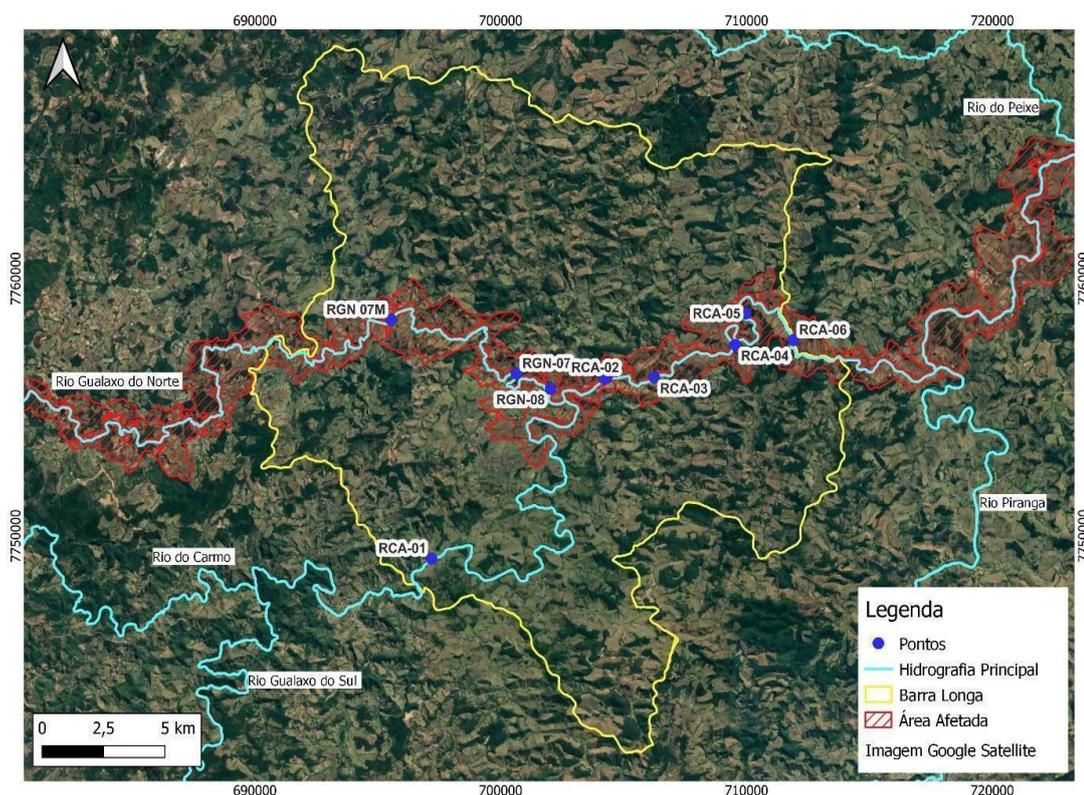
A qualidade da água e sedimentos é de suma importância e afeta diretamente a comunidade em diversos âmbitos como ambientalmente, economicamente e principalmente a saúde da população local. Devido a essas preocupações e a escassez de informações, após o

rompimento da Barragem de Fundão, visto que ainda há presença dos rejeitos nos leitos e barrancos dos rios da região. Para isso utilizou-se, como limites normativos as resoluções CONAMA 454/12; 357/05 e juntamente com os limites da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA RSL).

3.6 LEVANTAMENTO DO ACERVO BIBLIOGRÁFICO

Foram extraídos dados sobre água, e sedimentos de amostras dos pontos no Rio Gualaxo do Norte e no Rio do Carmo no município de Barra Longa. Os pontos são os seguintes: RGN07M; RGN-08; RGN-07; RCA-02; RCA-03; RCA-05; RCA-04; RCA-06 e RCA-01, conforme a Figura 3.1.

Figura 3.1: Pontos de Análise no município de Barra Longa.



Fonte: elaborada pelo autor.

Os parâmetros considerados para análise contemplam elementos químicos: Arsênio

(mg/kg); Bário (mg/kg); Carbono orgânico total; Ferro (mg/kg); Manganês (mg/kg); Mercúrio (mg/kg), frações granulométricas: Areia fina (0,25 a 0,125 mm); Areia grossa (1 a 0,5 mm) ; Areia média (0,5 a 0,25 mm); Areia muito fina (0,125 a 0,062 mm); Areia muito grossa (2 a 1 mm); Argila (0,00394 a 0,0002 mm) e parâmetros físico-químicos, coletados desde agosto de 2017 a dezembro de 2021.

Esses parâmetros estão disponíveis em planilhas encontradas no banco de dados do Portal de Monitoramento Quali-quantitativo Sistemático de Água e Sedimento (PMQQS). Foram pesquisados também os valores limites para estes parâmetros nos sedimentos, estabelecidos pelo EPA (RSL).

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE CORRELAÇÃO ENTRE ELEMENTOS

Foram realizadas análises de Correlação de Pearson que é uma técnica estatística para medir o quão correlacionados dois elementos são para cada um dos pontos do Rio do Carmo e do Rio Gualaxo do Norte. Essas análises e seus devidos gráficos foram feitos no software R. O R é uma linguagem de programação estatística e gráfica muito utilizada para manipulação, análise e visualização de dados, sendo considerada uma das melhores ferramentas para essa finalidade.

Os elementos utilizados para a análise de correlação foram: manganês, carbono orgânico, ferro, zinco, cobre, arsênio, bário, níquel e mercúrio. E foram realizadas as correlações de manganês, carbono orgânico e ferro com todos os outros elementos.

3.8 CONFECÇÃO DE GRÁFICOS E DIAGRAMAS ELEMENTARES

As informações extraídas são plotadas, juntamente com os limites de referência para cada parâmetro, por meio de gráficos e diagramas gerados no Excel, permitindo uma análise comparativa entre os valores, além de estabelecer relações variáveis entre valores de determinados elementos.

Os gráficos para as análises da Correlação de Pearson realizadas foram plotados por meio de gráficos gerados pelo software estatístico R, utilizado para esses testes realizados.

Os produtos gerados serão apresentados em forma de tabelas e gráficos Excel, com demarcação dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 para água e o CONAMA

Ferreira, I. A. A. 2024. Análise da distribuição temporal dos elementos químicos das águas...

454/12 para sedimentos, caso o elemento não possuir limites pelo mesmo, será utilizado o EPA.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Após baixar o robusto banco de dados, foram analisadas todas as informações de cada tipo de amostra (água e sedimentos, sedimentos em suspensão e testemunhos) para os anos entre 2017 e 2021. Algumas informações não existiam e outras foram selecionadas de modo randomizado devido a grande quantidade de informações disponíveis no banco de dados.

Dessa maneira, serão analisadas as seguintes informações: alcalinidade; arsênio; bário; ferro; manganês; mercúrio; granulometria; carbono orgânico total e zoobentos, presentes em amostras de água; sedimentos; sedimentos em suspensão e testemunhos nos pontos RCA-01; RCA-02; RCA-03; RCA-04; RCA-05; RCA-06; RGN-07M; RGN-07 e RGN-08, nos anos de 2017 a 2021. As informações disponíveis analisadas de cada amostra estão elencadas na Tabela 4.1

Tabela 4.1: Amostras analisadas e disponibilidade das informações.

RIO	AMOSTRA	INFORMAÇÃO EXISTENTE			
		ÁGUA	SEDIMENTOS	SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO	TESTEMUNHOS
RIO DO CARMO	RCA-01	SIM	SIM	SIM	SIM
RIO DO CARMO	RCA-02	SIM	SIM	NÃO	SIM
RIO DO CARMO	RCA-03	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
RIO DO CARMO	RCA-04	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
RIO DO CARMO	RCA-05	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
RIO DO CARMO	RCA-06	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
RIO GUALAXO DO NORTE	RGN07-M	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
RIO GUALAXO DO NORTE	RGN-07	SIM	NÃO	NÃO	NÃO
RIO GUALAXO DO NORTE	RGN-08	NÃO	SIM	SIM	SIM

Fonte: elaborada pelo autor.

4.1 ÁGUA

Para amostra de água, foram analisados os elementos arsênio total; ferro; manganês e mercúrio, além da alcalinidade para os pontos do Rio do Carmo (RCA-01; RCA-02; RCA-03; RCA-04; RCA-05; RCA-06) e Rio Gualaxo do Norte (RGN-07 e RGN-07M).

4.1.1. Alcalinidade

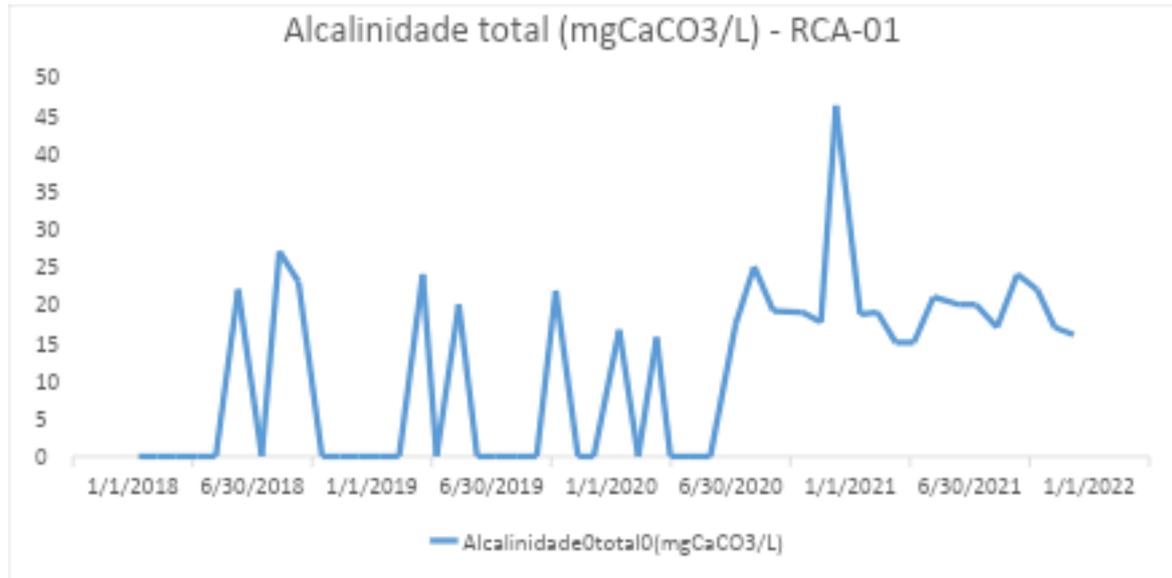
As informações de alcalinidade na água foram analisadas para as amostras: RCA-01; RCA-02; RCA-03; RCA-04; RCA-05; RCA-06; RGN-07M; RGN-07, ilustradas respectivamente na Figura 4.1 até No ponto RGN-07 da amostra de alcalinidade total para o Rio Gualaxo do Norte possuímos dados apenas do ano de 2018 e aqui percebemos que a amostra apresenta muitos valores iguais a zero, apresentando apenas 3 períodos que contemos valores, sendo esses os meses de junho a agosto, com maior valor em 08/2018 igual a 32 mg/L.

Figura 4.8.

4.1.1.1 RCA-01

Aqui temos uma ausência de medidas em algumas datas e com exceção de 01/2021 onde ocorre o pico com valor de 46,17 mg/L, observa-se uma certa manutenção nos valores de alcalinidade, sendo desses o maior valor 27 mg/L em 07/2018.

Figura 4.1: Dados de Alcalinidade da amostra RCA-01.

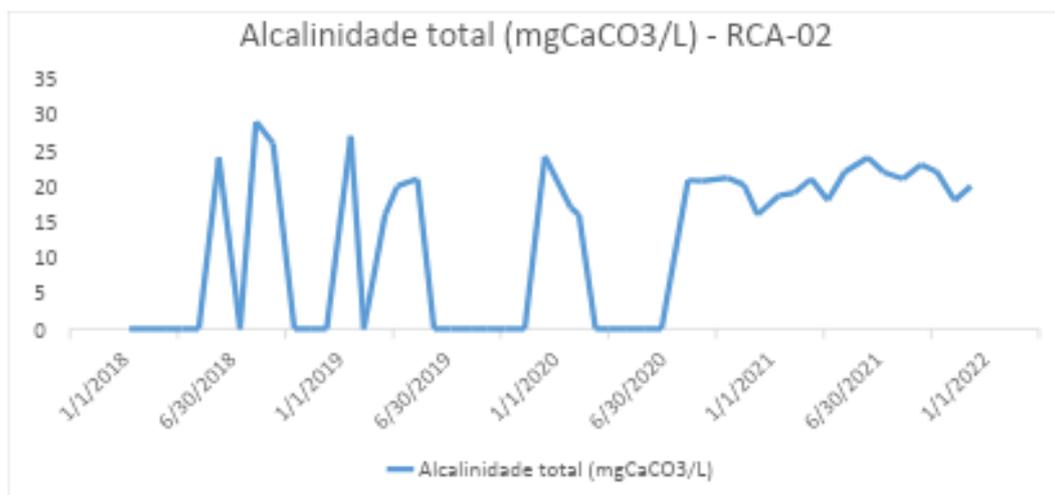


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.1.2 RCA-02

Na amostra de alcalinidade total para a água no ponto RCA-02 do Rio do Carmo percebemos uma melhor distribuição dos picos dos valores dessa variável. Percebemos que o pico de alcalinidade total se dá em 08/2018, com valor igual a 29 mg/L, e que em vários meses do ano de 2018 a 2020 não temos valores nessa variável. Após 10/07/2020 temos apenas valores positivos para a alcalinidade total na amostra.

Figura 4.2: Dados de Alcalinidade da amostra RCA-02.



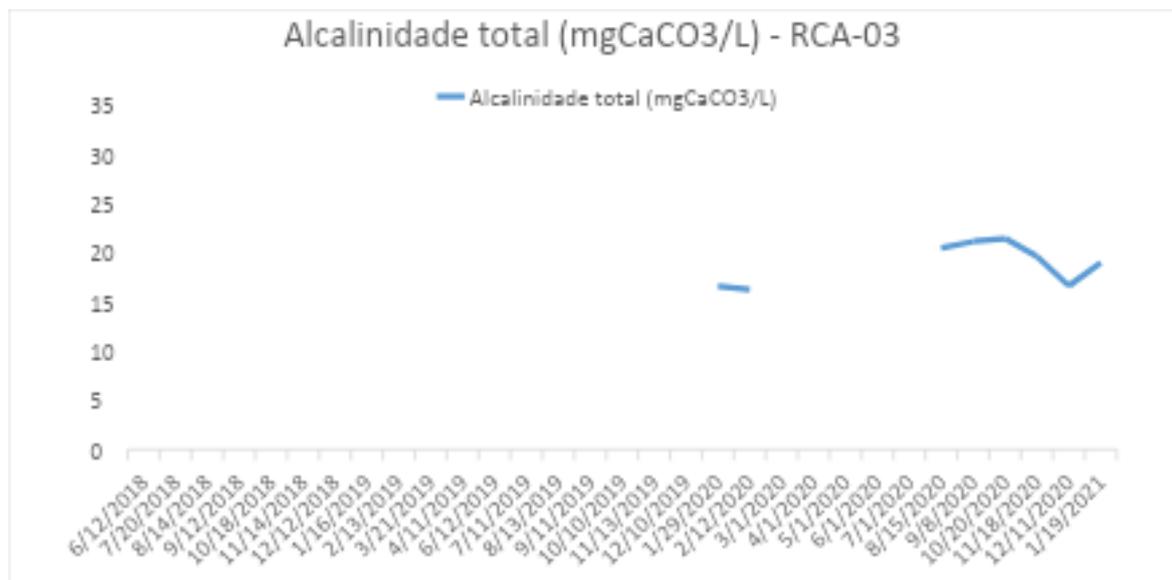
Ferreira, I. A. A. 2024. Análise da distribuição temporal dos elementos químicos das águas...

Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.1.3 RCA-03

Para o ponto RCA-03 da amostra de alcalinidade total do Rio do Carmo observamos que o pico ocorre em 08/2018 com valor igual a 29 mg/L e apresenta também muitos valores altos no ano de 2019 e 2020, mas que os valores só continuam altos após 08/2020. Como nas outras amostras observamos vários períodos com valores iguais a zero na amostra de alcalinidade total.

Figura 4.3: Dados de Alcalinidade da amostra RCA-03.

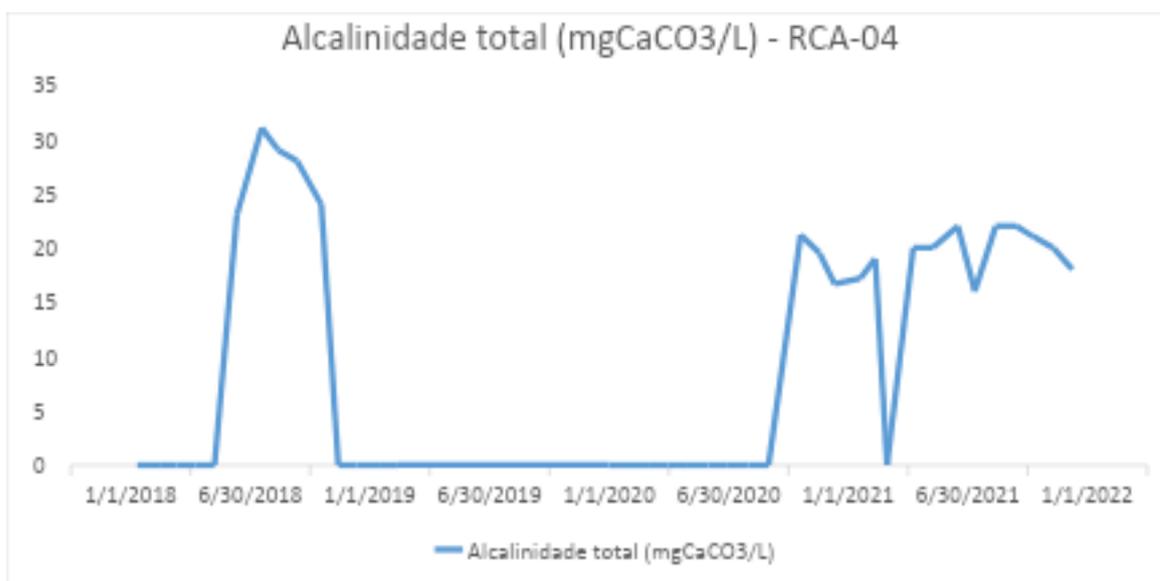


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.1.4 RCA-04

Para a amostra de RCA-04 de alcalinidade total do Rio do Carmo já temos dados de janeiro de 2018 a novembro de 2021 como outras amostras. Aqui também percebemos vários meses com dados iguais a zero nos anos de 2018 a 2020. O pico aqui percebemos que ocorre em 07/2018 com valor igual a 31 mg/L de alcalinidade total seguido por valores altos até 11/2018. Após isso temos apenas valores iguais a zero e apenas em 10/2020 voltam a crescer.

Figura 4.4: Dados de Alcalinidade da amostra RCA-04.

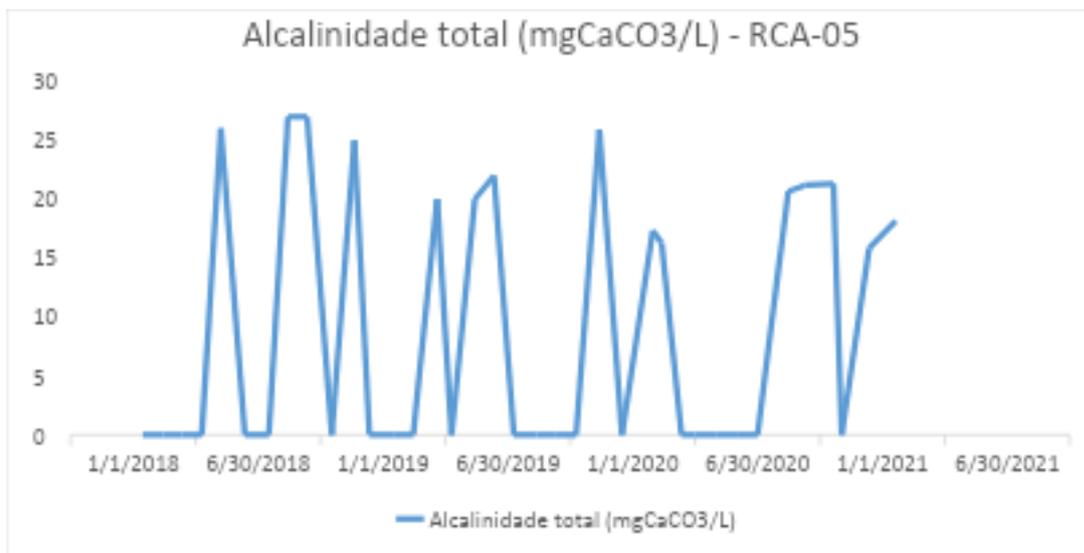


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.1.5 RCA-05

Para a amostra de RCA-05 de alcalinidade total do Rio do Carmo também temos valores desde janeiro de 2018. Aqui percebemos que o pico ocorre em 08/2018 com valor igual a 27 mg/L, mas que os valores altos são mais bem distribuídos pela amostra ocorrendo em todos os anos. Como em todas as outras amostras percebemos vários pontos com valores iguais a zero na amostra.

Figura 4.5: Dados de Alcalinidade da amostra RCA-05.

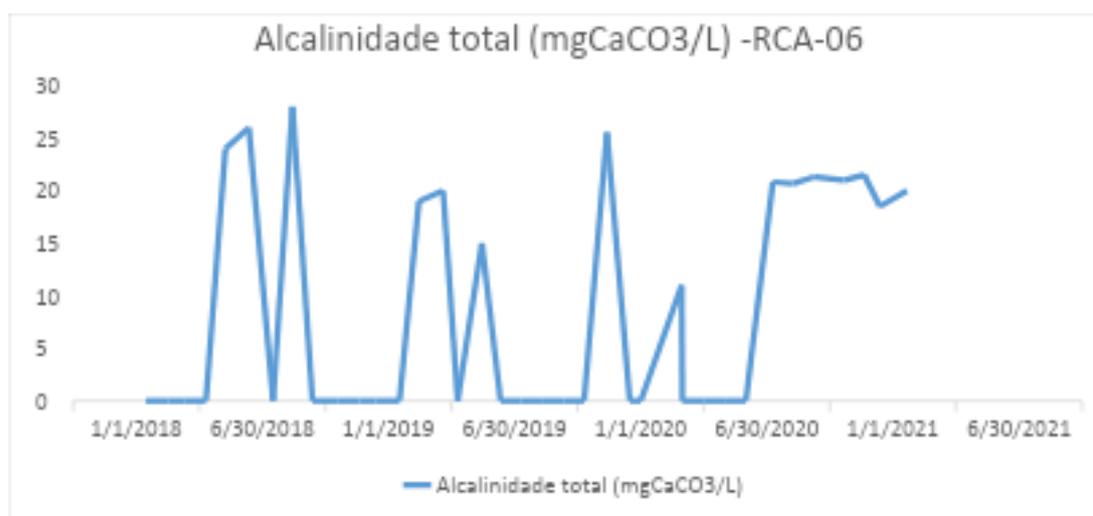


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.1.6 RCA-06

Na amostra de alcalinidade total do ponto RCA-06 do Rio do Carmo observamos o mesmo comportamento dos outros pontos. Aqui também possuímos o pico da amostra em 08/2018, com valor igual a 28 mg/L, e após isso vários valores iguais a zero, apresentando alguns valores positivos em 2019 e 2020, mas apenas valores positivos a partir de 07/2020.

Figura 4.6: Dados de Alcalinidade da amostra RCA-06.

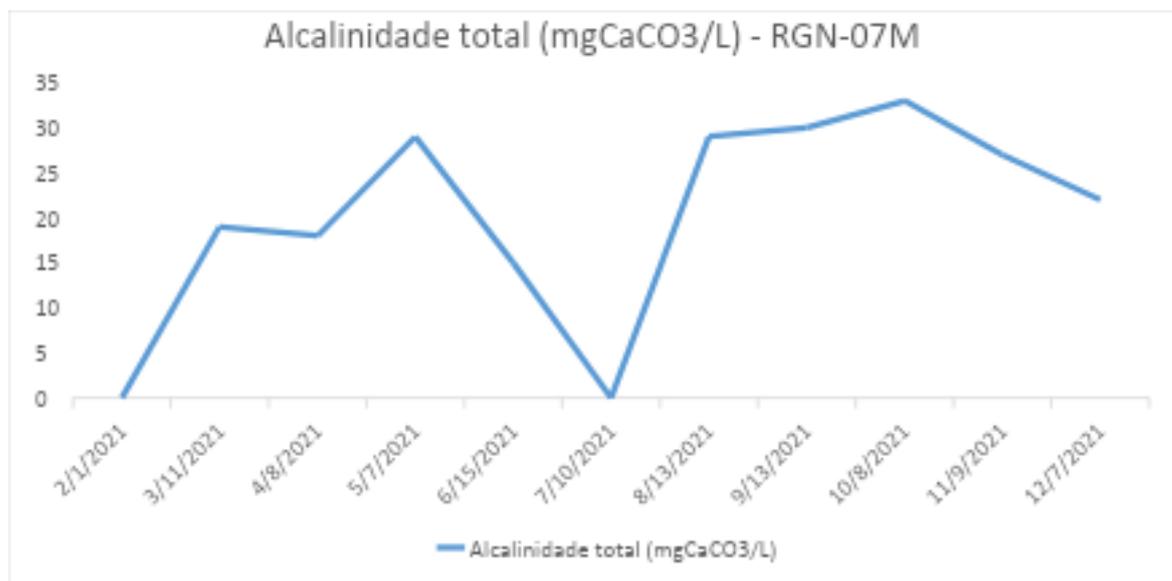


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.1.7 RGN-07M

Na amostra de alcalinidade total para a água no Rio Gualaxo do Norte possuímos menos dados que na amostra do Rio do Carmo, pois possuímos dados apenas de 2021. No ponto RGN-07M percebemos apenas 2 valores iguais a zero e um crescimento após 02/2021. Em 07/2021 temos que o valor de alcalinidade total é igual a zero, mas após isso também temos crescimento nesses valores, sendo o pico da amostra em 10/2021 com valor igual a 33 mg/L.

Figura 4.7: Dados de Alcalinidade da amostra RGN-07M.

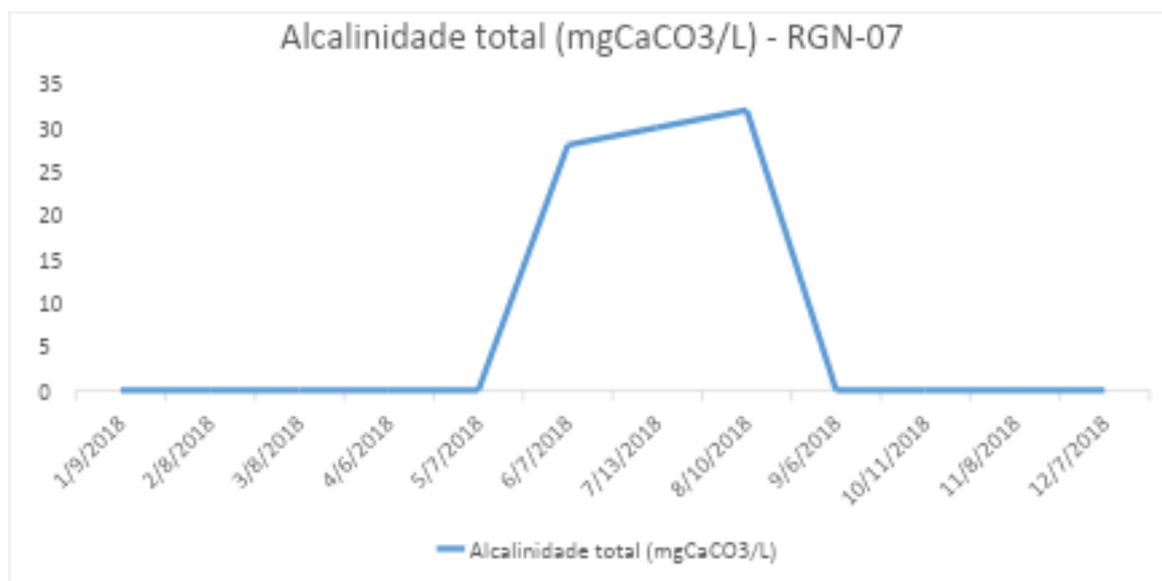


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.1.8 RGN-07

No ponto RGN-07 da amostra de alcalinidade total para o Rio Gualaxo do Norte possuímos dados apenas do ano de 2018 e aqui percebemos que a amostra apresenta muitos valores iguais a zero, apresentando apenas 3 períodos que contemos valores, sendo esses os meses de junho a agosto, com maior valor em 08/2018 igual a 32 mg/L.

Figura 4.8: Dados de Alcalinidade da amostra RGN-07.



Fonte: elaborada pelo autor.

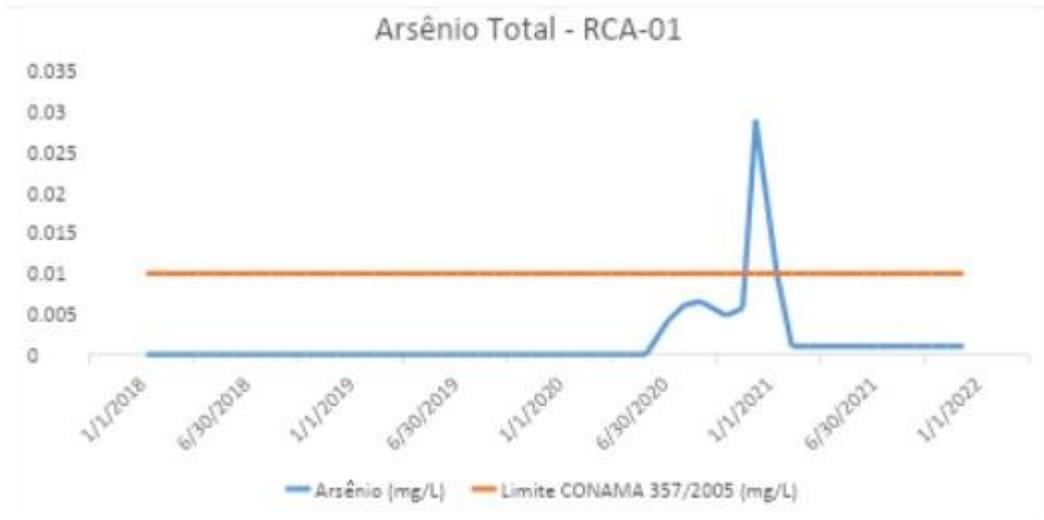
4.1.2 Arsênio Total

As informações de arsênio total na água foram analisadas para as amostras: RCA-01; RCA-02; RCA-03; RCA-04; RCA-05; RCA-06; RGN-07M; RGN-07, ilustradas respectivamente na Figura 4.9 até Figura 4.16.

4.1.2.1 RCA-01

Para a amostra de arsênio total na água do ponto RCA-01 do Rio do Carmo percebemos que de 01/2018 a 06/2020 possuímos apenas valores iguais a zero ou inferior ao limite de LD. A partir desta data possuímos valores de arsênio total na amostra, mas com valores muito baixos, sendo o pico em 12/2020 com valor de 0,02896 mg/L.

Figura 4.9: Dados de Arsênio Total da amostra RCA-01.



Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.2.2 RCA-02

O comportamento dos dados da amostra de arsênio total no ponto RCA-02 do Rio do Carmo é muito parecido com os dados do ponto RCA-01, sendo que no período de 01/2018 a 07/2020 temos valores iguais ou próximo de zero e o pico se dá em 12/2020, mas com um valor muito baixo de arsênio total, sendo esse valor igual a 0,01093 mg/L.

Figura 4.10: Dados de Arsênio Total da amostra RCA-02.

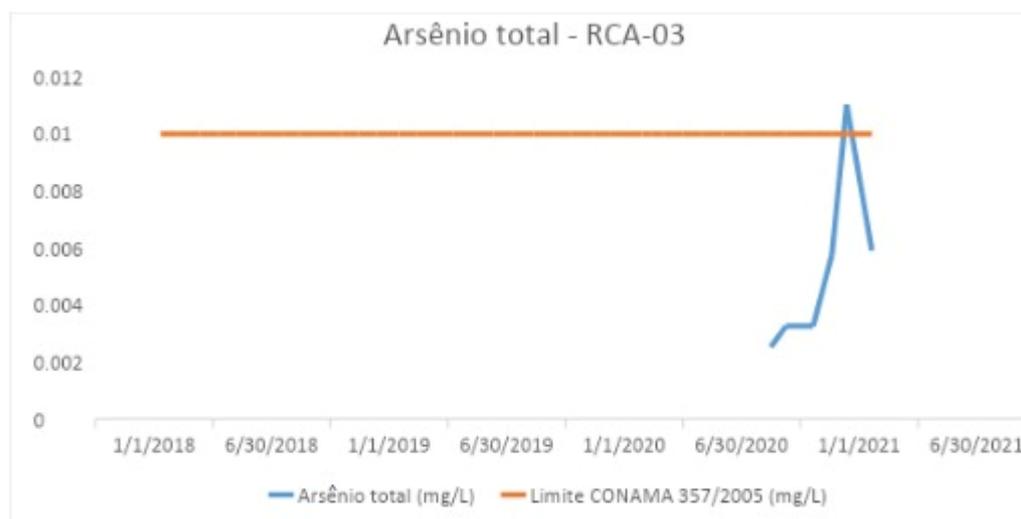


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.2.3 RCA-03

Para a amostra de arsênio total na água do ponto RCA-03 do Rio do Carmo possuímos valores apenas para dados no período de 08/2020 a 01/2021, sendo esses valores também muito baixos, apresentando um pico em 12/2020 com valor igual a 0,01103 mg/L.

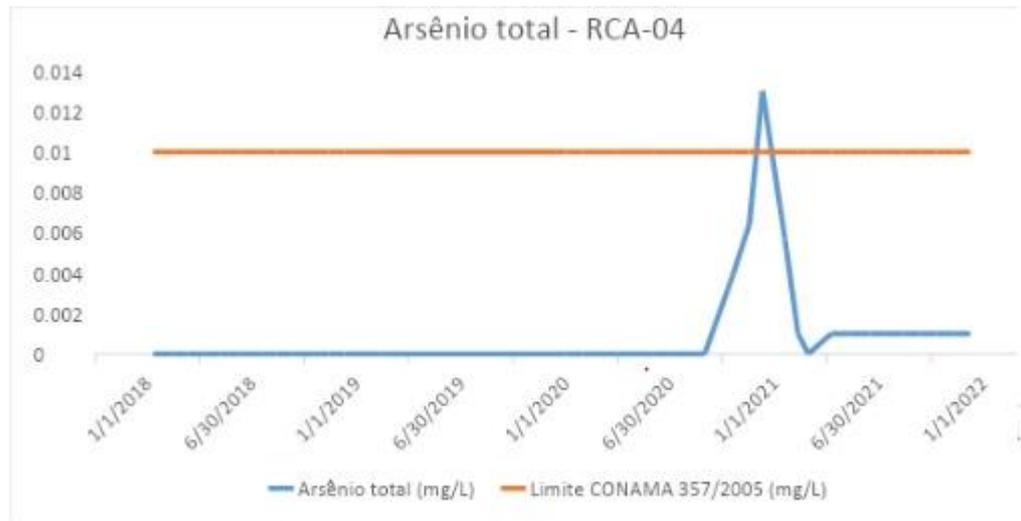
Figura 4.11: Dados de Arsênio Total da amostra RCA-03.



Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.2.4 RCA-04

Para a amostra de arsênio total na água do ponto RCA-04 do Rio do Carmo temos também um comportamento muito parecido com os pontos RCA-01 e RCA-02, onde no período de 01/2018 a 09/2020 possuímos apenas valores iguais ou a próximo de zero na amostra e um pico em 12/2020 com valor também muito baixo de arsênio total igual a 0,01302 mg/L.

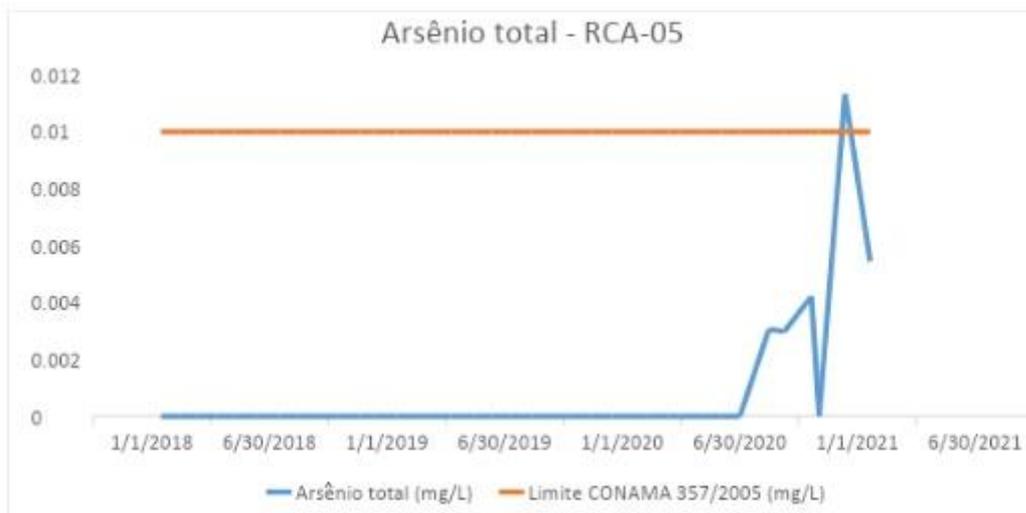
Figura 4.12: Dados de Arsênio Total da amostra RCA-04.

Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.2.5 RCA-05

Para a amostra de arsênio total na água do ponto RCA-05 do Rio do Carmo também temos um comportamento muito parecido com os pontos RCA-01, RCA-02 e RCA-04, entretanto, aqui temos dados apenas 01/2021. Até 07/2020 possuímos valores iguais ou próximo de zero na amostra e apenas em 08/2020 os valores começam a crescer, com um pico em 12/2020 de valor igual a 0,01133 mg/L.

Figura 4.13: Dados de Arsênio Total da amostra RCA-05.

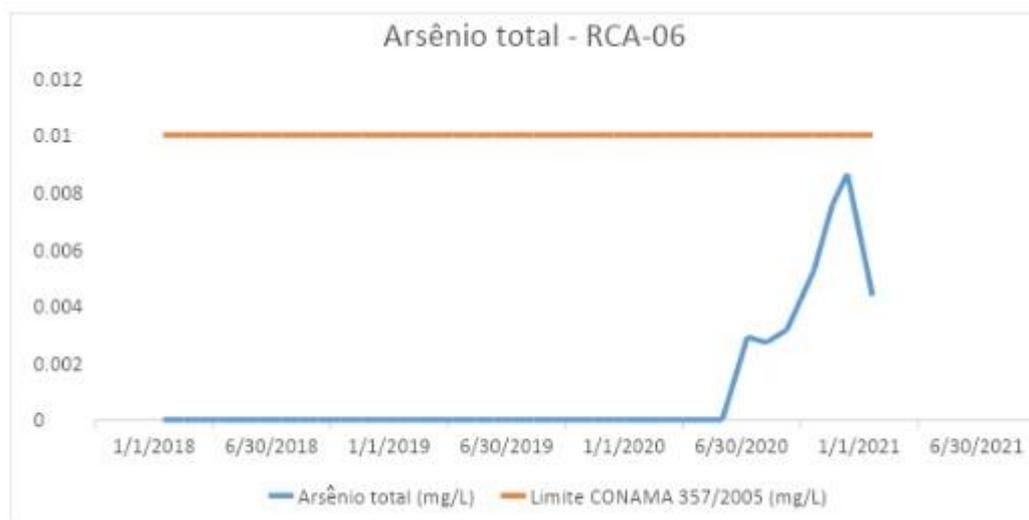


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.2.6 RCA-06

A amostra de arsênio total na água do ponto RCA-06 do Rio do Carmo apresenta um comportamento muito parecido com o ponto RCA-05, apresentando valores iguais ou a próximo de zero no período de 01/2018 a 06/2020, apresentando um crescimento apenas a partir de 07/2020 e um pico em 12/2020 com valor igual a 0,00864 mg/L. Nessa amostra também possuímos dados apenas até 01/2021.

Figura 4.14: Dados de Arsênio Total da amostra RCA-06.

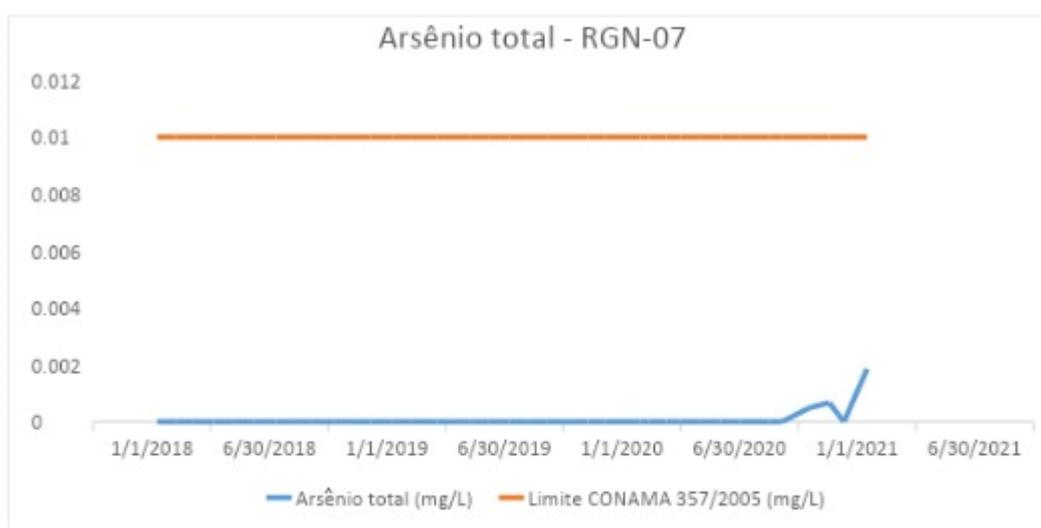


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.2.7 RGN-07

A amostra de arsênio total na água do ponto RGN-07 do Rio Gualaxo do Norte possui valores ainda menores do que os apresentados para os pontos do Rio do Carmo. Aqui também como nos outros pontos analisados possuímos no período de 01/2018 a 09/2020 apenas valores iguais ou próximo de zero e um pequeno crescimento a partir de 10/2020, apresentando um pico em 01/2021 com valor igual a 0,00186 mg/L.

Figura 4.15: Dados de Arsênio Total da amostra RGN-07.

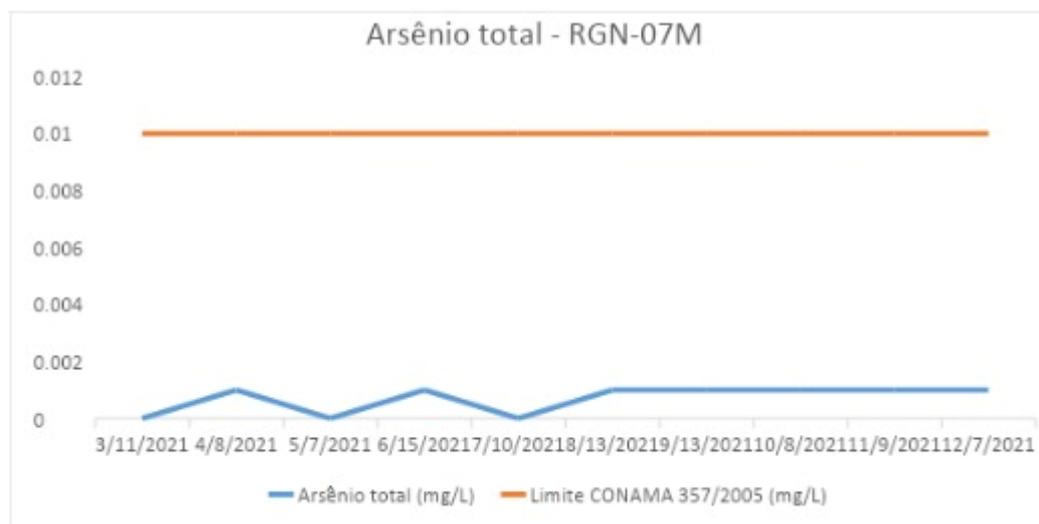


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.2.8 RGN-07M

Aqui na amostra de arsênio total na água para o ponto RGN-07M do Rio Gualaxo do Norte apresentamos mais valores diferentes de zero do que nos outros pontos analisados. Entretanto, também são valores muito baixos também iguais a 0,001 mg/L em 04/2021, 06/2021 e 08/2021 sendo que após esse último período possuímos apenas valores iguais a 0,001 mg/L na amostra.

Figura 4.16: Dados de Arsênio Total da amostra RGN-07M.



Fonte: elaborada pelo autor.

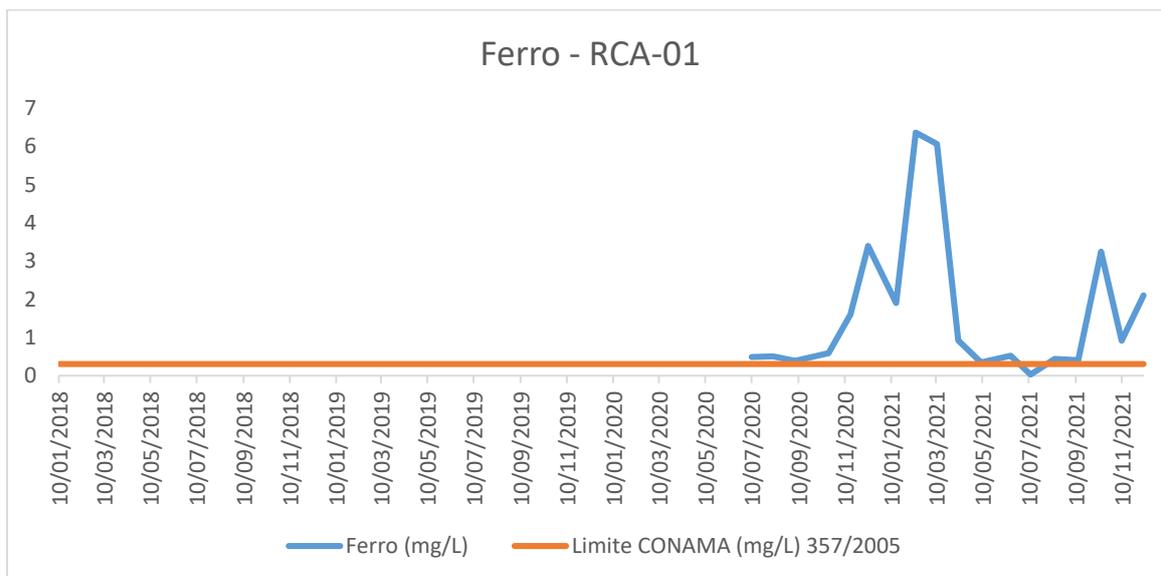
4.1.3 Ferro

As informações de ferro total na água foram analisadas para as amostras: RCA-01; RCA-02; RCA-03; RCA-04; RCA-05; RCA-06; RGN-07M; RGN-07, ilustradas respectivamente na Figura 4.17 até Figura 4.23 e Tabela 4.2.

4.1.3.1 RCA-01

Para a amostra de ferro na água para o ponto RCA-01 do Rio do Carmo até 09/2020 temos que os valores são iguais a 0,3 mg/L e apenas após esse período começam a ter variações, sendo que o pico ocorre em 02/2021, com valor igual a 6,37 mg/L.

Figura 4.17: Dados Ferro da amostra RCA-01.

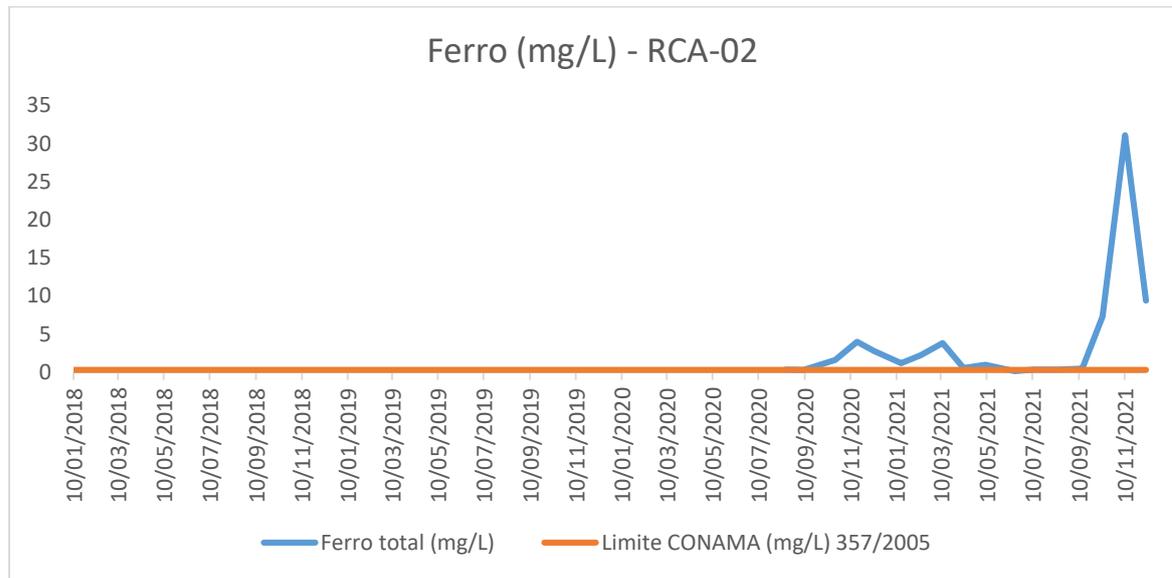


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.3.2 RCA-02

Para a amostra de ferro na água para o ponto RCA-02 do Rio do Carmo até 10/2020 também temos que os valores são iguais a 0,3 mg/L e apenas após esse período começam a ter variações. Aqui conseguimos perceber que temos valores mais altos de ferro na água do que no ponto RCA-01, sendo o pico em 11/2021 com valor igual a 31,1 mg/L.

Figura 4.18: Dados Ferro da amostra RCA-02.

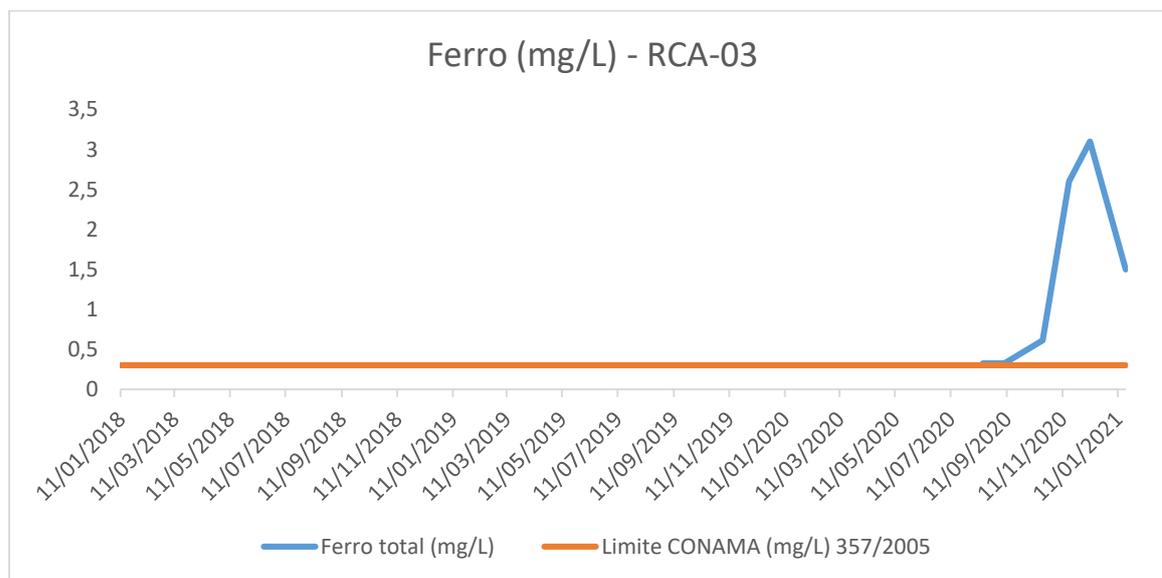


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.3.3 RCA-03

Para a amostra de ferro na água para o ponto RCA-03 do Rio do Carmo também até 10/2020 temos que os valores são iguais a 0,3 mg/L e apenas após esse período começam a ter variações. Aqui conseguimos perceber que o pico ocorre em 12/2020, mas com um valor muito menor que o do ponto RCA-02, sendo esse igual a 3,1 mg/L.

Figura 4.19: Dados Ferro da amostra RCA-03.

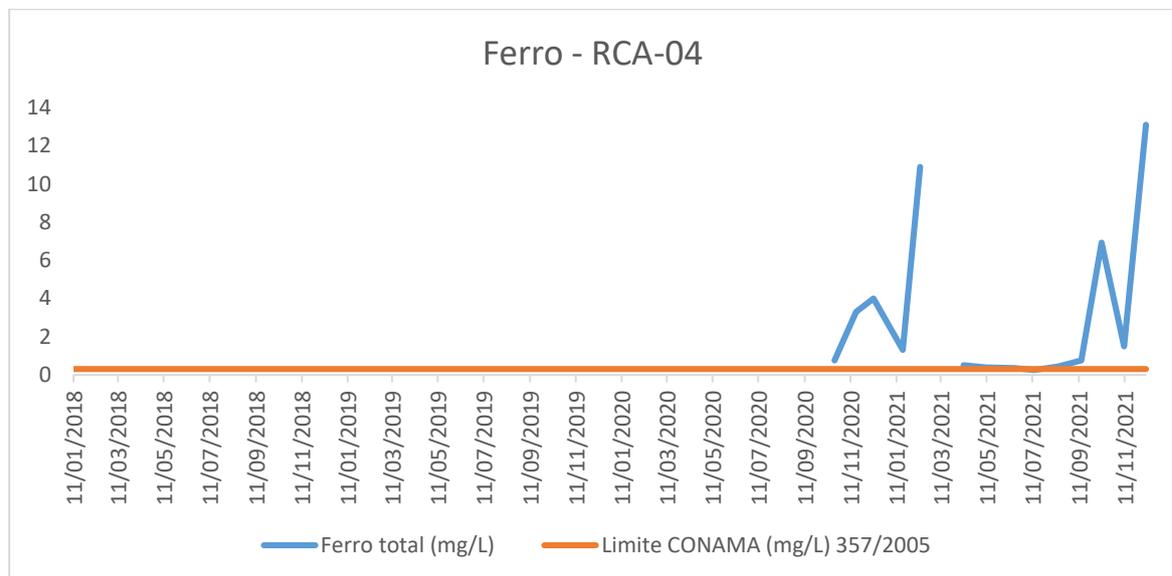


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.3.4 RCA-04

Para a amostra de ferro na água para o ponto RCA-04 do Rio do Carmo também temos que até 09/2020 os valores são iguais a 0,3 mg/L e apenas após esse período começam a ter variações. Aqui percebemos que o pico ocorre em 12/2021 sendo esse valor igual a 13,1 mg/L. Conseguimos perceber aqui também um comportamento parecido nos valores entre 10/2020 a 02/2021 e 05/2021 a 12/2021, onde ocorre uma alta nos valores, seguido por uma queda e novamente uma alta.

Figura 4.20: Dados Ferro da amostra RCA-04.

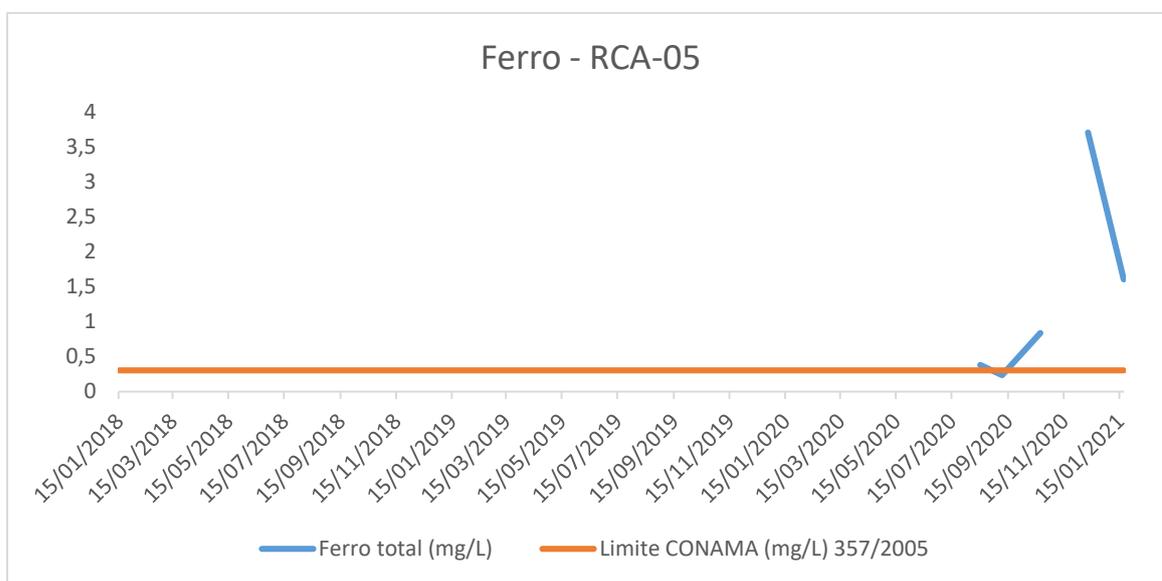


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.3.5 RCA-05

Para a amostra de ferro na água para o ponto RCA-05 do Rio do Carmo também temos que até 09/2020 os valores são iguais a 0,3 mg/L e apenas após esse período começam a ter variações. Aqui conseguimos perceber que o pico ocorre em 12/2020 com valor igual a 3,7 mg/L. Entretanto, aqui percebemos um comportamento diferente das outras amostras, pois não temos os dados de 11/2020, ocasionando uma quebra nos dados.

Figura 4.21: Dados Ferro da amostra RCA-05.

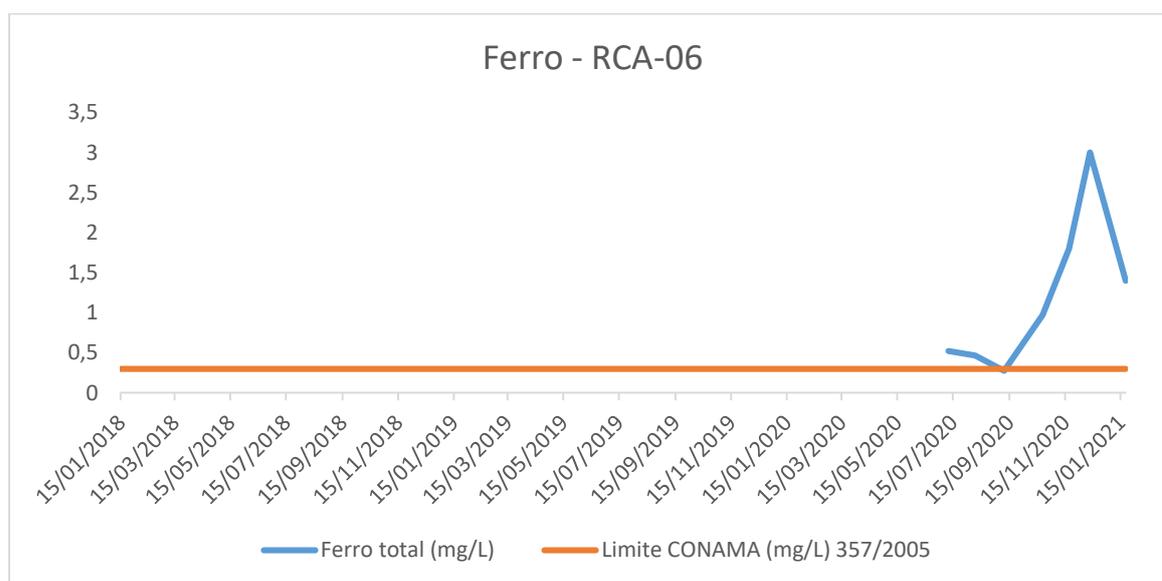


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.3.6 RCA-06

Para a amostra de ferro na água para o ponto RCA-06 do Rio do Carmo diferentemente das outras temos que apenas até 06/2020 os valores são iguais a 0,3 mg/L e apenas após esse período começam a ter variações. Aqui conseguimos perceber que o pico também ocorre em 12/2020 com valor igual a 3 mg/L.

Figura 4.22: Dados Ferro da amostra RCA-06.



Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.3.7 RGN-07

Para a amostra de ferro na água para o ponto RGN-07 do Rio Gualaxo do Norte temos apenas o dado para 01/2021 com valor de 2,1 mg/L, portanto não conseguimos realizar uma análise dos valores para outros períodos como foi feita para outros pontos.

Tabela 4.2: Dados Ferro da amostra RGN-07.

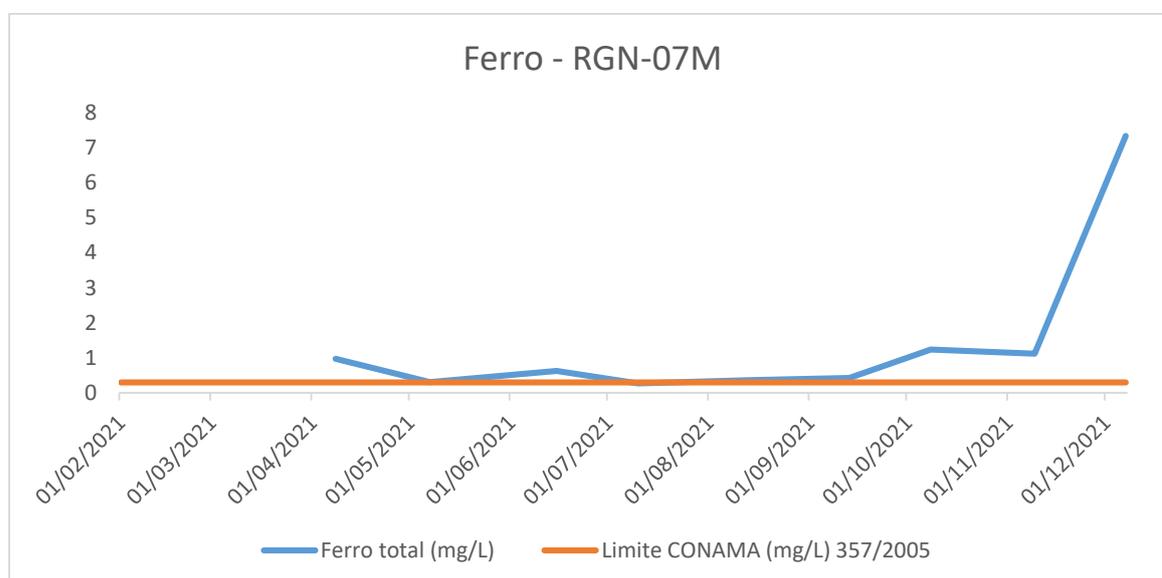
Data da Amostra	Ferro total (mg/L)	Limite CONAMA (mg/L) 357/2005
15/01/2021	2,1	0,3

Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.3.8 RGN-07M

Por fim, temos a amostra de ferro na água para o ponto RGN-07M do Rio Gualaxo do Norte. Aqui possuímos dados apenas para o ano de 2021, mas conseguimos perceber que de 02/2021 a 03/2021 temos um valor único de 0,976 mg/L na amostra e após isso percebemos uma alta e queda para os meses subsequentes e um pico no em 12/2021 com valor de 7,33 mg/L.

Figura 4.23: Dados Ferro da amostra RGN-07M.



Fonte: elaborada pelo autor.

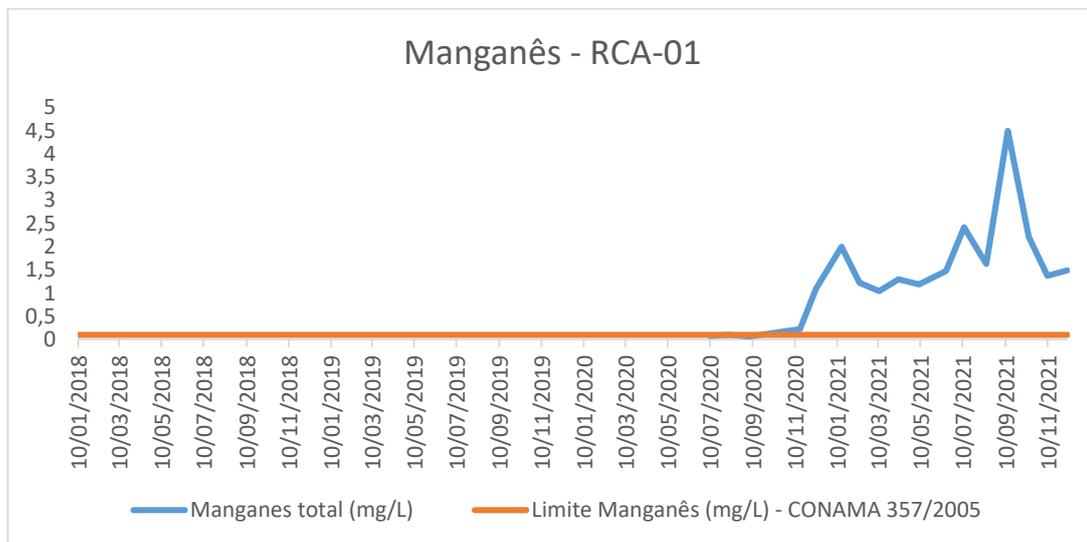
4.1.4 Manganês

As informações de manganês na água foram analisadas para as amostras: RCA-01; RCA-02; RCA-03; RCA-04; RCA-05; RCA-06 e RGN-07, ilustradas respectivamente da Figura 4.24 até Figura 4.30.

4.1.4.1 RCA-01

Para a amostra de manganês na água para o ponto RCA-01 do Rio do Carmo conseguimos perceber que até 11/2020 possuímos valores muito baixos, sendo todos iguais a 0,1 mg/L. Após esse período já conseguimos perceber uma alta nesses valores, sendo o pico em 09/2021 com valor igual a 4,5 mg/L e após isso uma queda novamente.

Figura 4.24: Dados Manganês na amostra RCA-01.

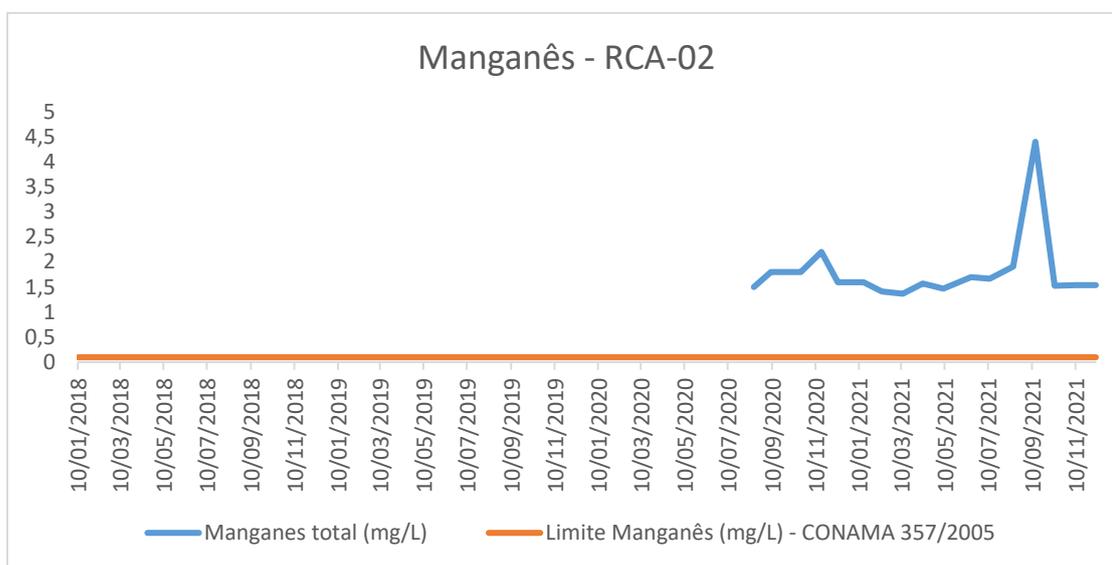


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.4.2 RCA-02

Para a amostra de manganês na água para o ponto RCA-02 do Rio do Carmo conseguimos perceber um comportamento um pouco parecido com o ponto RCA-02 com valores muito baixos iguais a 0,1 mg/L até 07/2020 e após isso algumas altas e baixas nos valores. Após esse período conseguimos perceber uma alta relevante nesses valores, sendo o pico em 09/2021 com valor igual a 4,4 mg/L.

Figura 4.25: Dados Manganês na amostra RCA-02.

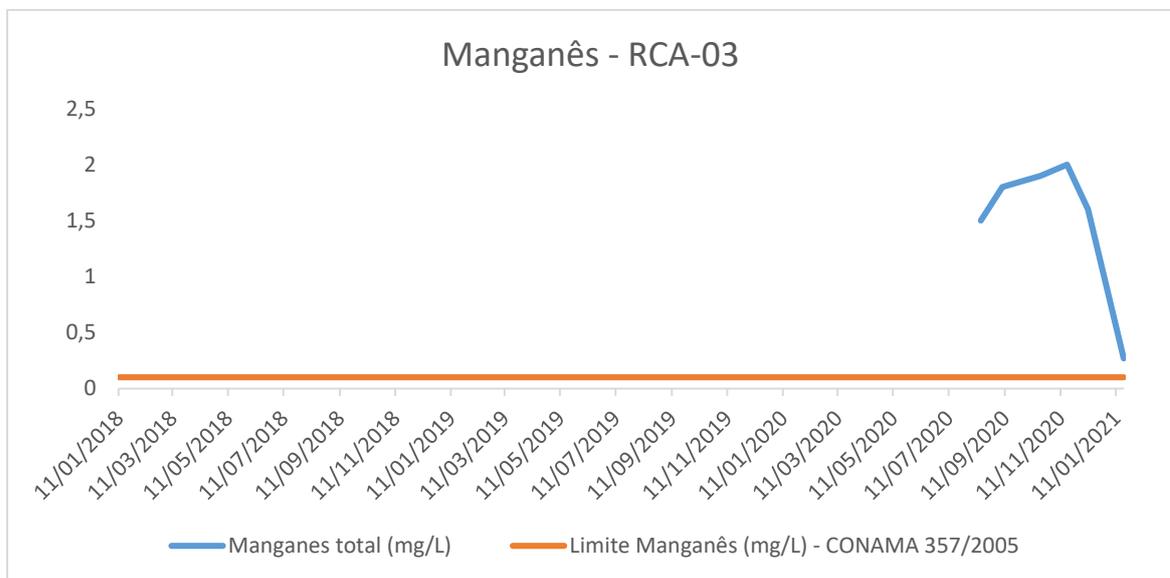


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.4.3 RCA-03

Para a amostra de manganês na água para o ponto RCA-03 do Rio do Carmo já não temos um comportamento muito parecido com os pontos RCA-01 e RCA-02. Aqui até o período de 08/2020 temos valores muito baixos de manganês iguais a 0,1 mg/L. Ainda em 08/2020 percebemos uma alta relevante nos valores, ocorrendo o pico em 11/2020 com valor igual a 2 mg/L, e após isso uma queda também muito relevante nos valores.

Figura 4.26: Dados Manganês na amostra RCA-03.

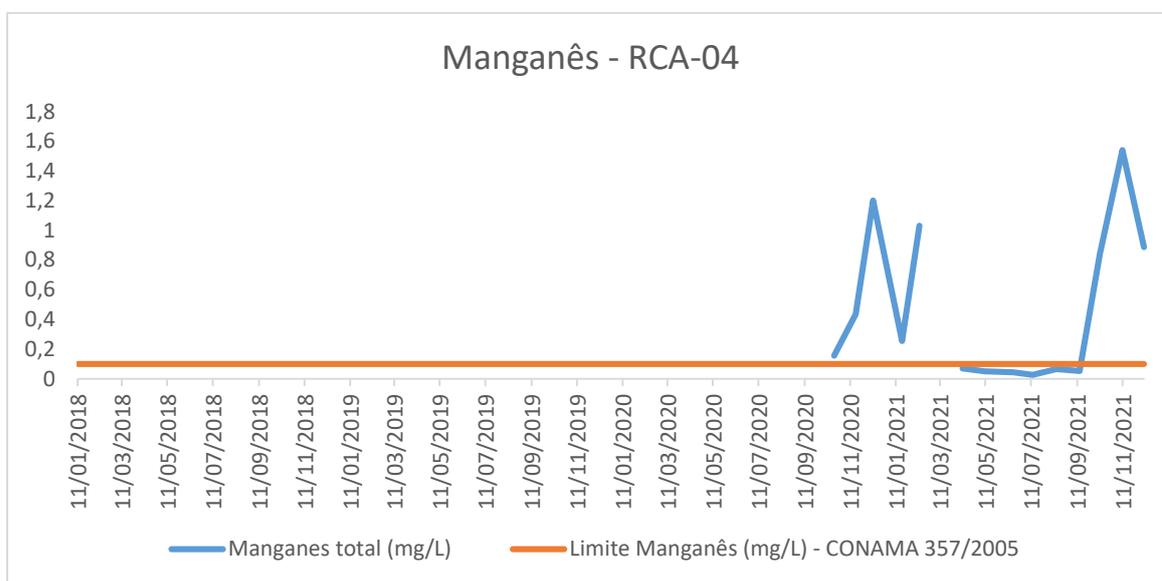


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.4.4 RCA-04

Para a amostra de manganês na água para o ponto RCA-04 do Rio do Carmo também temos um comportamento parecido com os pontos anteriores, apresentando valores até 10/2020 muito baixos de 0,1 mg/L. Após esse período já apresentamos altas significativas até 02/2021 e uma queda bem significativa nos períodos seguintes, voltando a ter uma alta em 10/2021 e apresentando o pico em 11/2021 com valor igual a 1,54 mg/L.

Figura 4.27: Dados Manganês na amostra RCA-04.

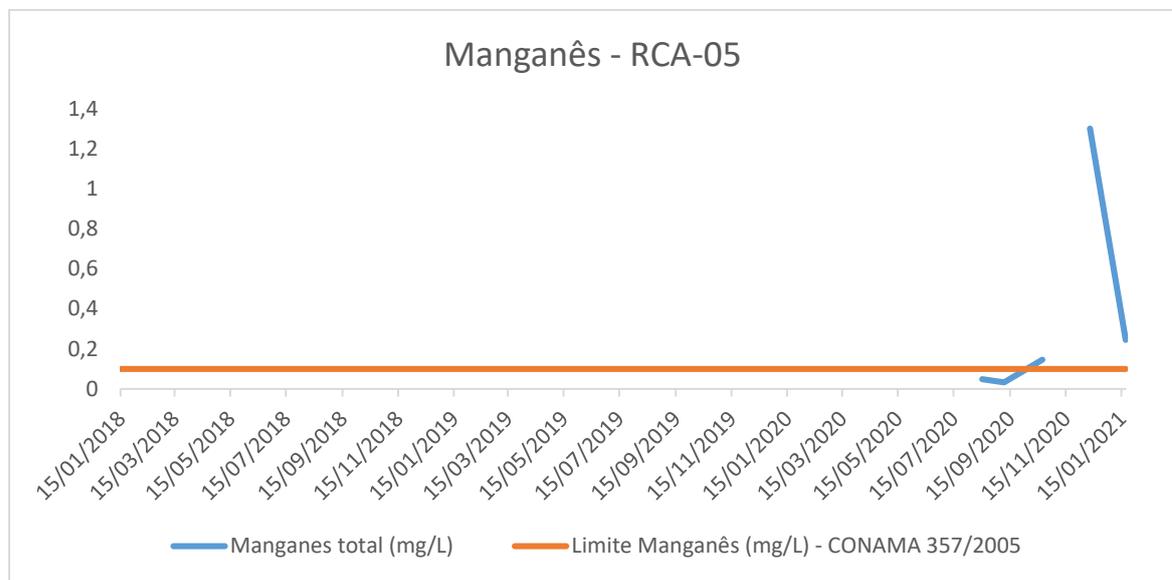


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.4.5 RCA-05

Para a amostra de manganês na água para o ponto RCA-05 do Rio do Carmo também até 10/2020 possuímos valores muito baixos de manganês iguais a 0,1 mg/L. Ainda em 10/2020 possuímos uma pequena alta na amostra e após isso só possuímos uma alta em 12/2020, onde ocorre o pico com valor igual a 1,3 mg/L, acontecendo depois uma queda relevante nos valores.

Figura 4.28: Dados Manganês na amostra RCA-05.

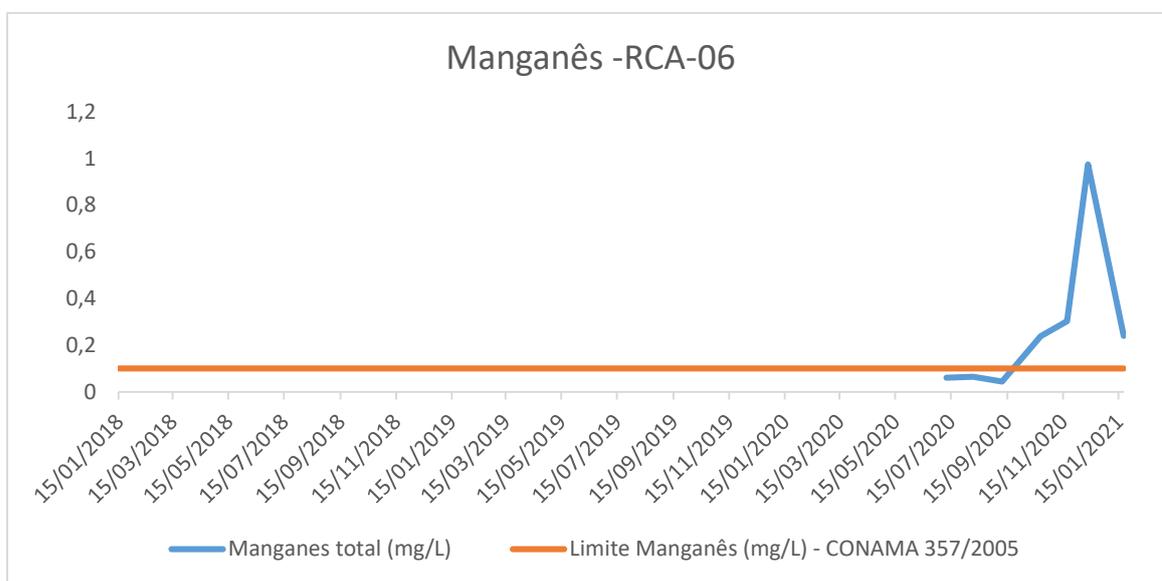


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.4.6 RCA-06

Para a amostra de manganês na água para o ponto RCA-06 do Rio do Carmo apresentamos um comportamento um pouco parecido com os pontos RCA-01 e RCA-02, apresentando até 09/2020 valores muito baixos de manganês iguais a 0,1 mg/L. Após esse período já temos uma alta relevante, sendo o pico em 12/2020 com valor igual a 0,974 mg/L, e após isso também quedas relevantes.

Figura 4.29: Dados Manganês na amostra RCA-06.

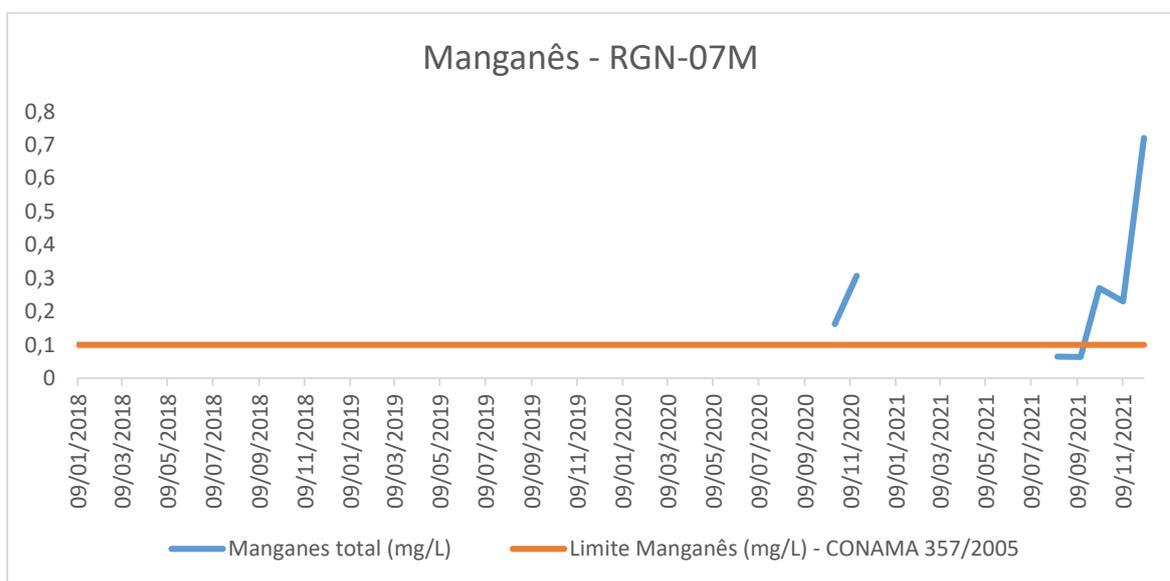


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.4.7 RGN-07

Para a amostra de manganês na água para o ponto RGN-07 do Rio Gualaxo do Norte temos até 09/2020 valores muito baixos de manganês iguais a 0,1 mg/L. No período de 10/2020 a 11/2020 já possuímos uma pequena alta nos valores e após isso uma queda novamente, seguidos por uma nova alta em 10/2021 e obtendo um pico em 12/2021 com valor igual a 0,721 mg/L.

Figura 4.30: Dados Manganês na amostra RGN-07.



Fonte: elaborada pelo autor.

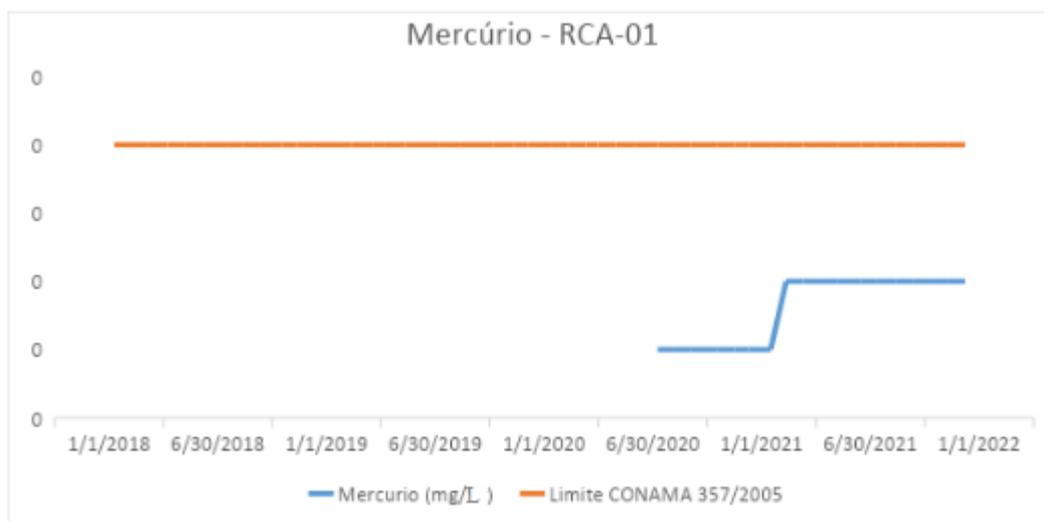
4.1.5 Mercúrio

As informações de mercúrio total na água foram analisadas para as amostras: RCA-01; RCA-02; RCA-03; RCA-04; RCA-05; RCA-06, RGN-07 e RGN-07M, ilustradas respectivamente da Figura 4.31 até Figura 4.37.

4.1.5.1 RCA-01

Para a amostra de mercúrio total na água no ponto RCA-01 do Rio do Carmo conseguimos perceber em todos os períodos apresentados valores bem abaixo do limite CONAMA 357/2005, sendo esse 0,0002 mg/L, onde os maiores valores ocorrem no período de 02/2021 a 12/2021 com valores iguais a 0,0001 mg/L.

Figura 4.31: Dados Mercúrio na amostra RCA-01.

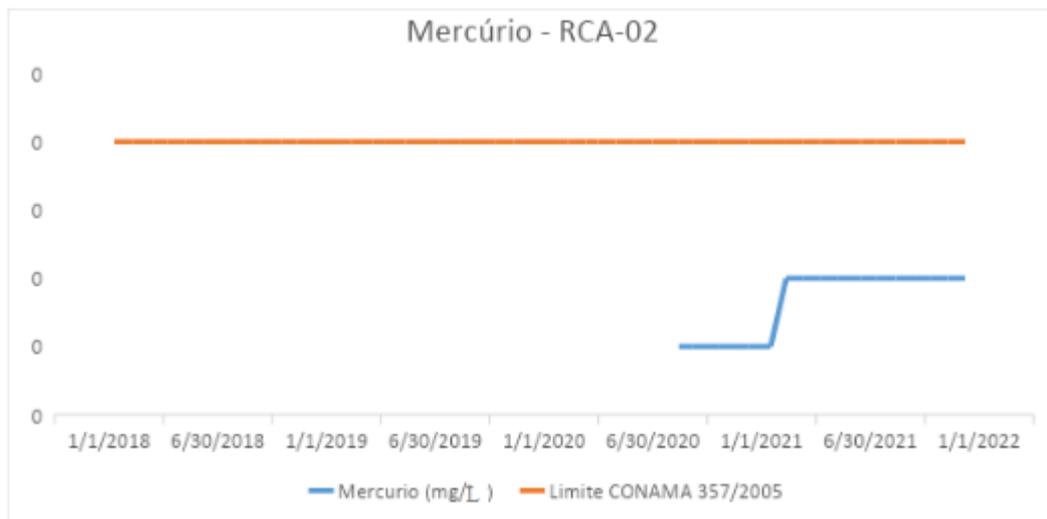


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.5.2 RCA-02

Para a amostra de mercúrio total na água para o ponto RCA-02 do Rio do Carmo também igual ao do ponto RCA-01, onde temos valores muito abaixo do limite CONAMA 357/2005, sendo esses valores iguais a 0,0005 até 01/2021 e uma pequena alta após 02/2021.

Figura 4.32: Dados Mercúrio na amostra RCA-02.



Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.5.3 RCA-03

Para a amostra de mercúrio total na água para o ponto RCA-03 do Rio do Carmo possuímos apenas dado em 01/2021, sendo esse valor também bem abaixo do limite CONAMA 357/2005, sendo igual a 0,0005 mg/L.

Tabela 4.3: Dados Mercúrio na amostra RCA-03.

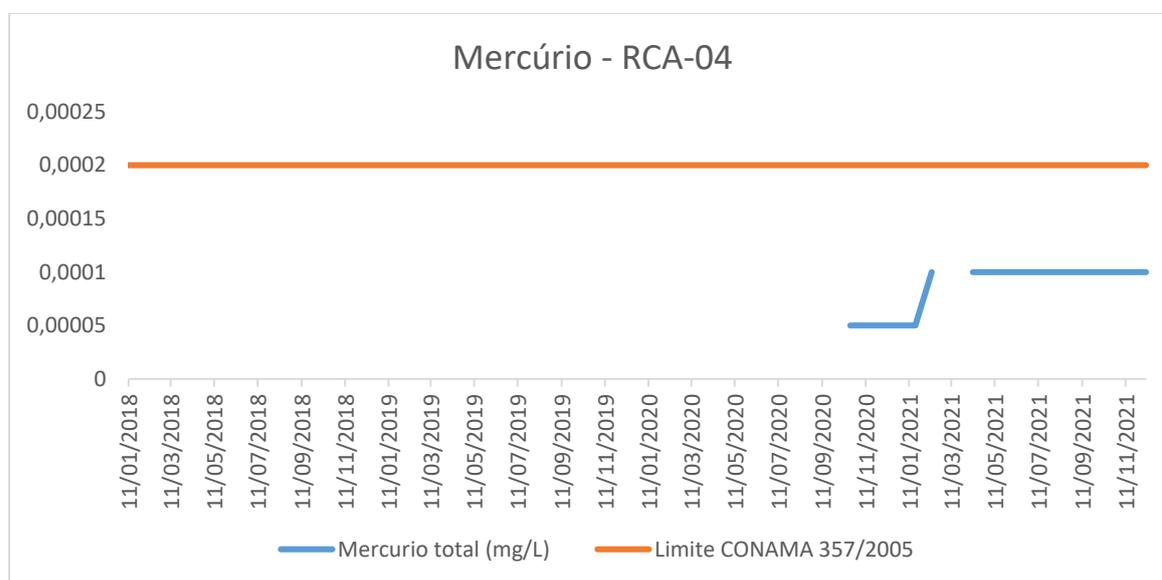
Data da Amostra	Mercúrio total (mg/L)	Limite CONAMA 357/2005
19/01/2021	0,00005	0,00020

Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.5.4 RCA-04

Para a amostra de mercúrio total na água no ponto RCA-04 do Rio do Carmo, assim como nos outros pontos já apresentados os valores são bem abaixo do limite CONOMA 357/2005, sendo esses no período de 10/2020 até 01/2021 acontecendo uma pequena alta em 02/2021 e voltando a ter dados apenas após 04/2021, com valores iguais a 0,0001 mg/L.

Figura 4.33: Dados Mercúrio na amostra RCA-04.

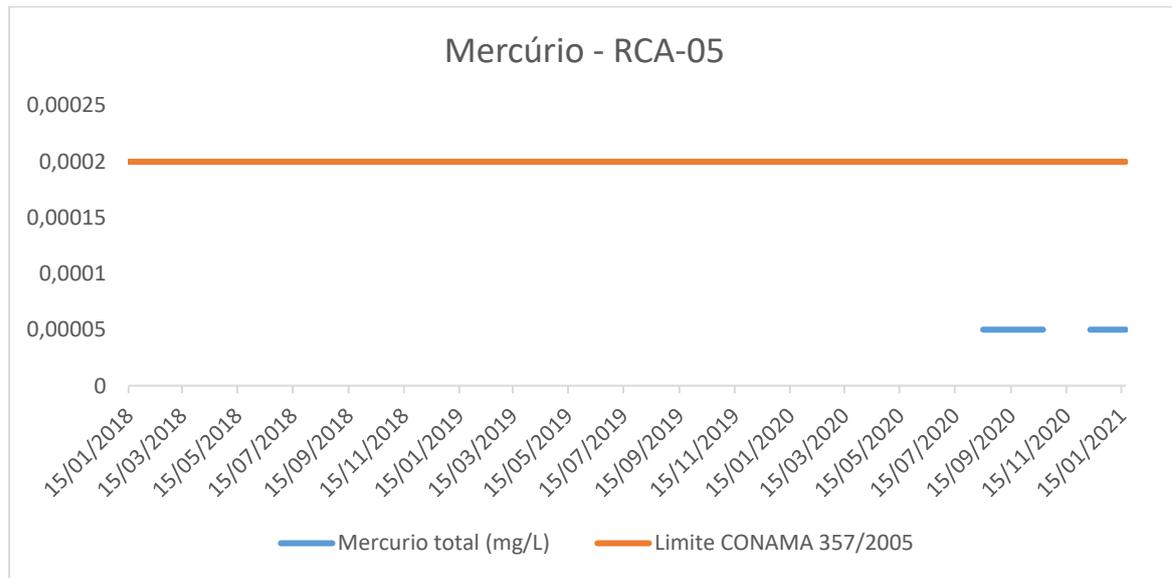


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.5.5 RCA-05

Para a amostra de mercúrio total na água no ponto RCA-05 do Rio do Carmo aqui assim como os demais pontos já apresentados, possuímos valores bem abaixo do limite CONAMA 357/2005, sendo esses para os períodos de 08/2020 a 10/2020 e depois apenas para 12/2020 a 01/2021 com valores iguais a 0,00005 mg/L.

Figura 4.34: Dados Mercúrio na amostra RCA-05.

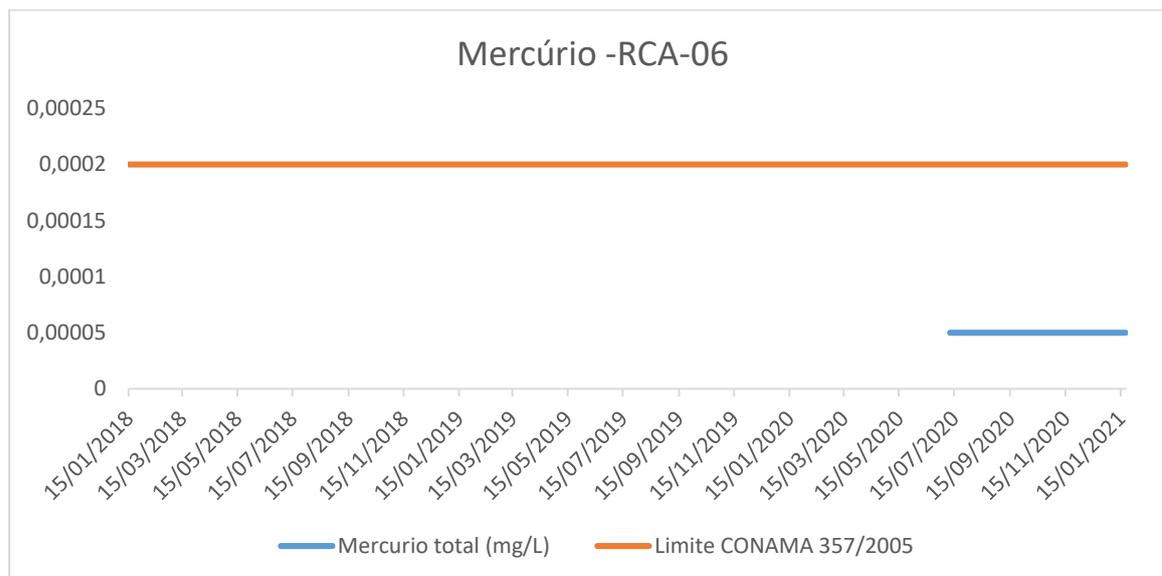


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.5.6 RCA-06

Para a amostra de mercúrio total na água para o ponto RCA-06 no Rio do Carmo assim como os demais pontos já apresentados, os valores de mercúrio total são bem abaixo do limite CONAMA 357/2005, sendo esses todos iguais a 0,00005 mg/L.

Figura 4.35: Dados Mercúrio na amostra RCA-06.

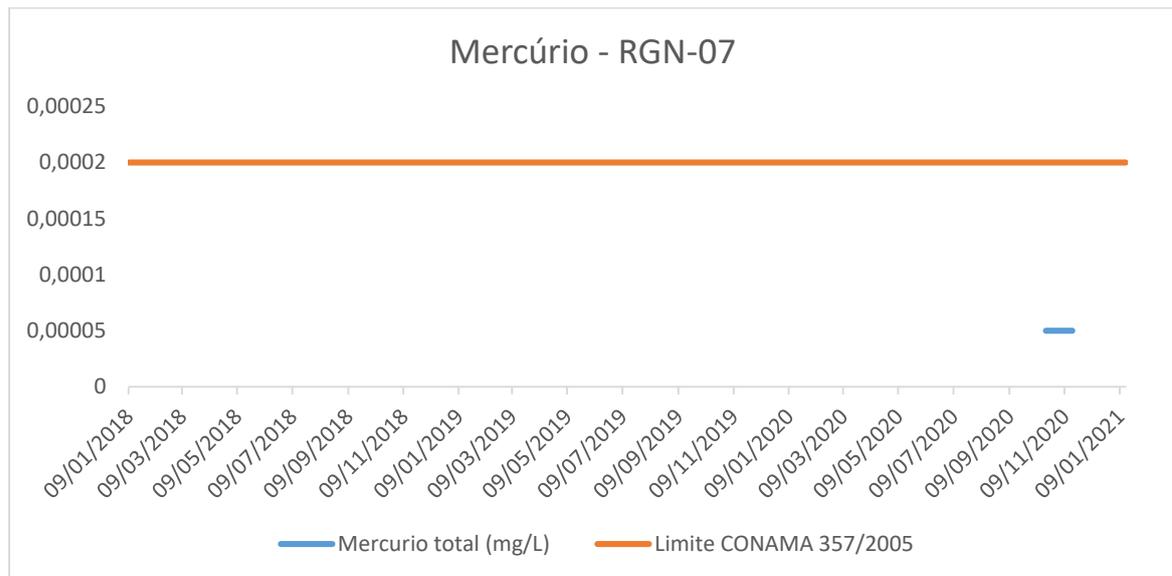


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.5.7 RGN-07

Para a amostra de mercúrio total na água para o ponto RGN-07 do Rio Gualaxo do Norte possuímos dados apenas para o período de 10/2020 a 11/2020, sendo esses valores muito abaixo do limite CONAMA 357/2005, cm valores iguais a 0,00005 mg/L.

Figura 4.36: Dados Mercúrio na amostra RGN-07.

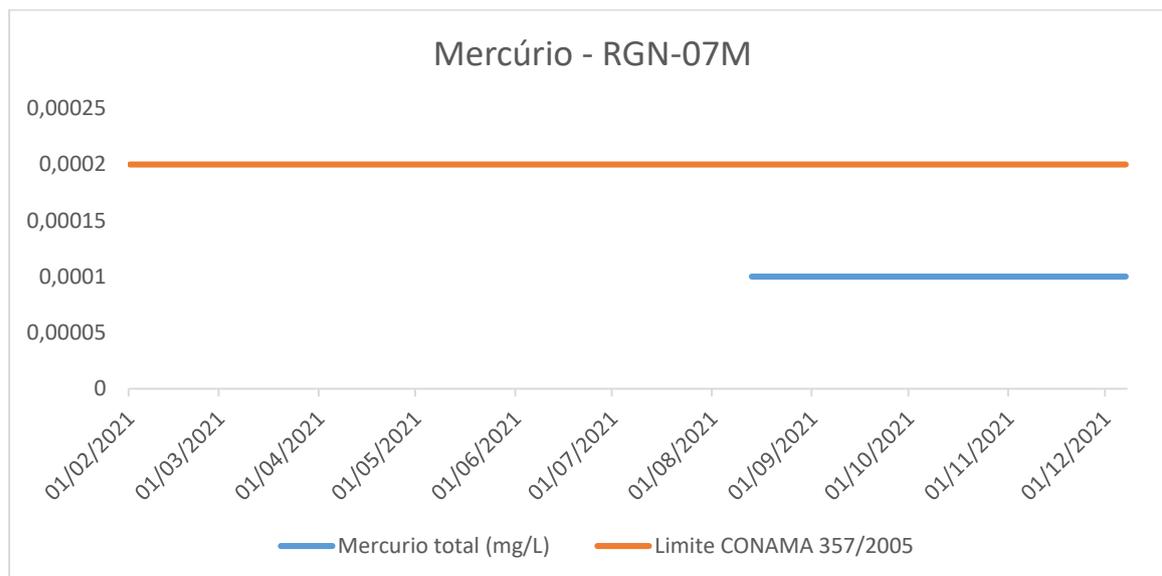


Fonte: elaborada pelo autor.

4.1.5.8 RGN-07M

Para a amostra de mercúrio total na água para o ponto RGN-07M do Rio Gualaxo do Norte também possuímos dados apenas no período de 08/2021 a 12/2021, sendo esses valores bem abaixo do limite CONAMA 357/2005, iguais a 0,0001 mg/L.

Figura 4.37: Dados Mercúrio na amostra RGN-07M.



Fonte: elaborada pelo autor.

4.2 SEDIMENTOS

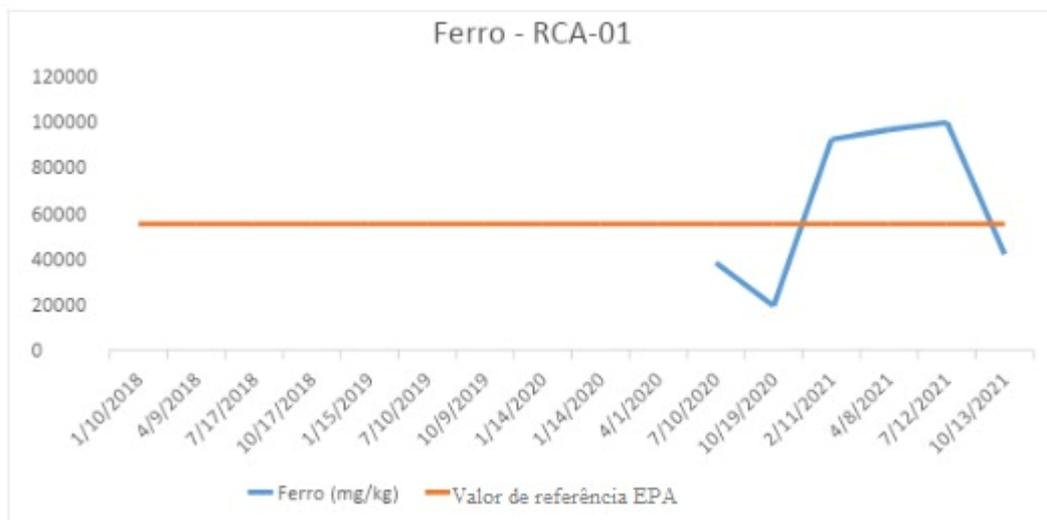
Para sedimentos, foram analisados os elementos arsênio, ferro e manganês, em amostras do Rio do Carmo (RCA-01 e RCA-02) e do Rio Gualaxo do Norte (RGN-08). A amostra RCA-02 não apresentou informações referente a sedimentos para alguns elementos.

4.2.1 Ferro

4.2.1.1 RCA-01

Para a amostra de ferro em sedimentos para o ponto RCA-01 do Rio do Carmo percebemos valores apenas após 07/2020, sendo esses até 02/2021 abaixo do limite EPA RSL e após isso, uma alta sendo o pico em 07/2021 com valor igual a 99.400 mg/kg, conforme apresentado na Figura 4.38.

Figura 4.38: Dados de Ferro na amostra RCA-01.

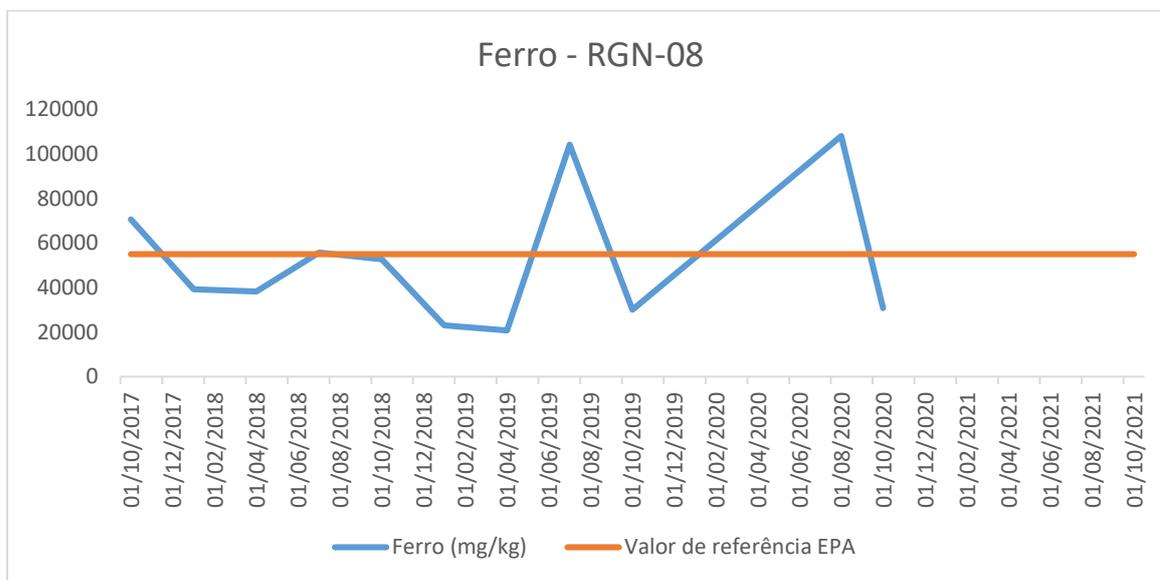


Fonte: elaborada pelo autor.

4.2.1.2 RGN-08

Para a amostra de ferro em sedimentos para o ponto RGN-08 do Rio Gualaxo do Norte possuímos dados apenas no período de 10/2017 a 10/2020 e até 04/2019 são abaixo do valor de referência EPA RSL, tendo uma alta após isso e seu pico em 08/2020 com valor igual a 108.040 mg/kg, conforme apresentado na Figura 4.39.

Figura 4.39: Dados de Ferro na amostra RGN-08.



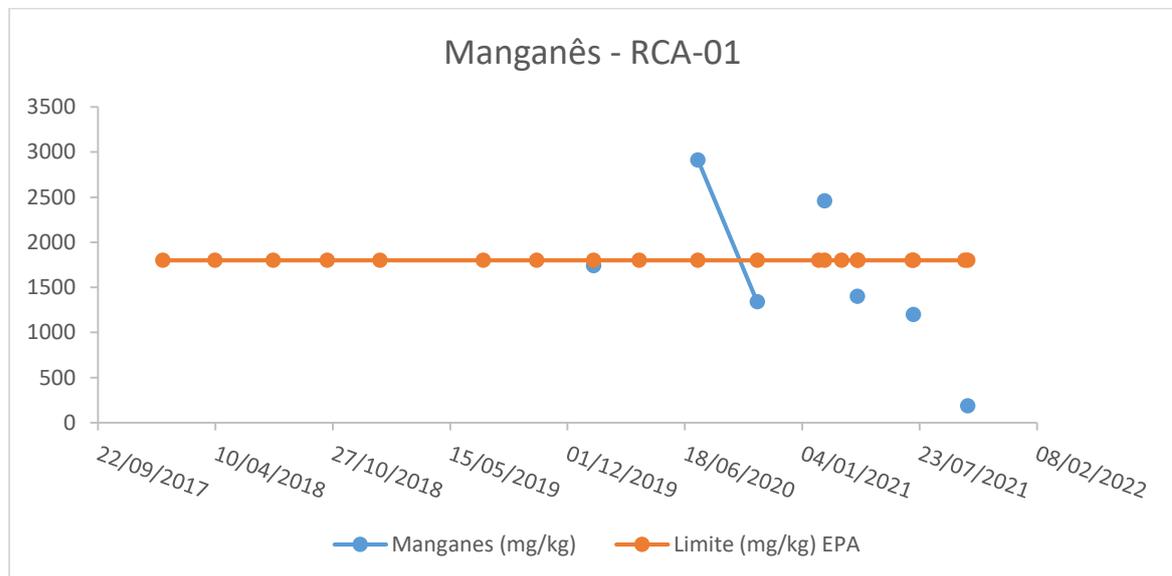
Fonte: elaborada pelo autor.

4.2.2 Manganês

4.2.2.1 RCA-01

Para a amostra de manganês em sedimentos para o ponto RCA-01 do Rio do Carmo e percebemos um comportamento um pouco diferente dos demais. Temos aqui apenas 6 pontos que temos dados. No mês 07/2020 temos o pico com valor de 2914 mg/kg e após uma queda no mês 10/2020 com valor igual a 1342 mg/kg. O ponto com menor valor de manganês ocorre em 10/2021 com valor igual a 187 mg/kg, como mostrado na Figura 4.40.

Figura 4.40: Dados de Manganês na amostra RCA-01.

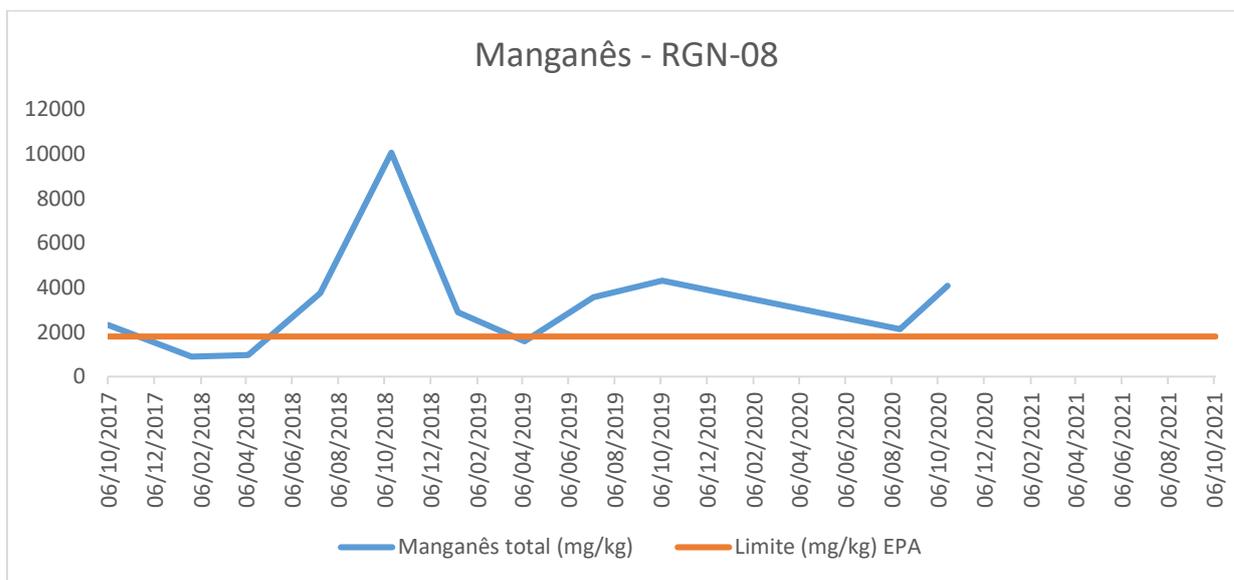


Fonte: elaborada pelo autor.

4.2.2.2 RGN-08

Para a amostra de manganês em sedimentos para o ponto RGN-08 do Rio Gualaxo do Norte temos os dados apenas para o período de 10/2017 a 10/2020. Aqui percebemos uma alta nos valores a partir de 04/2018, e um pico nos valores em 10/2018 com valor igual a 10057 mg/kg, como mostrado na Figura 4.41.

Figura 4.41: Dados de Manganês na amostra RGN-08.



Fonte: elaborada pelo autor.

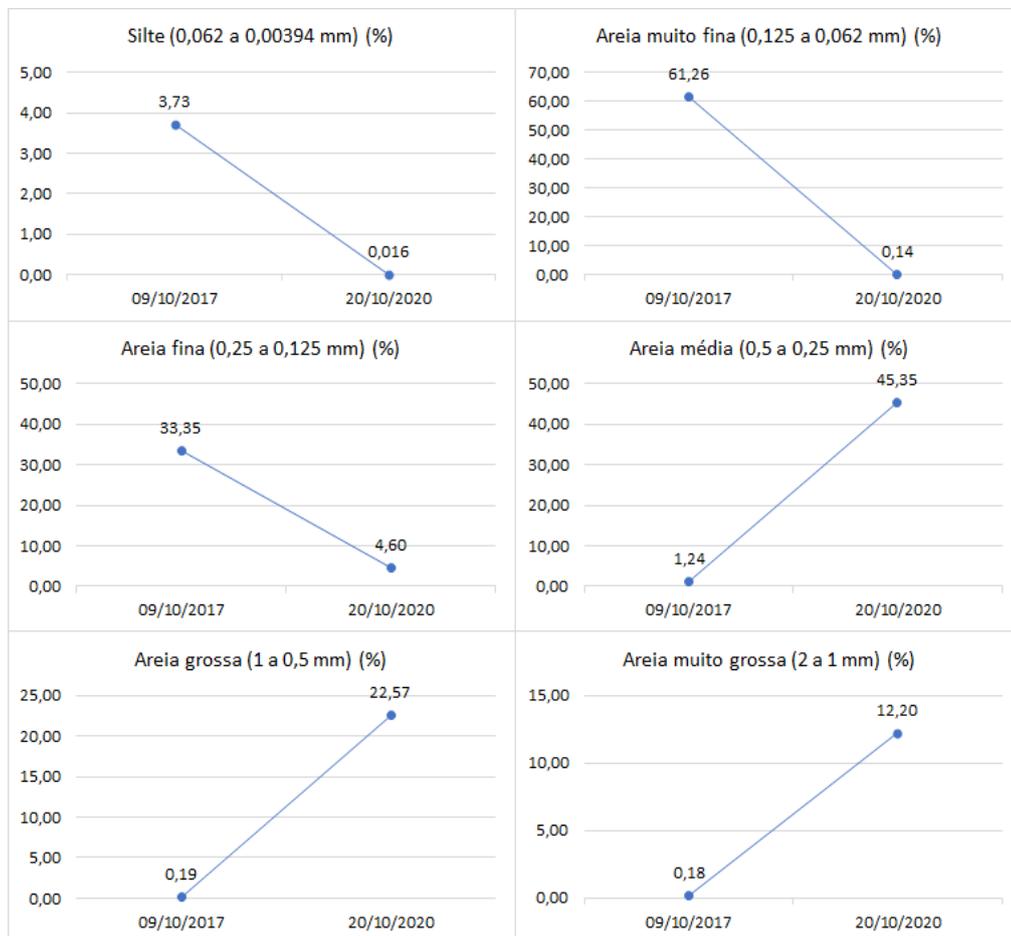
4.3 GRANULOMETRIA

Foi avaliada a granulometria para a amostra RCA-02 (Rio do Carmo) e para a amostra RGN-08 (Rio Gualaxo do Norte), como será apresentado da Figura 4.42 até a Figura 4.45.

4.3.1 RCA-02

Para a amostra de percentual de granulometria em sedimento do ponto RCA-02 do Rio do Carmo temos as análises para Silte, Argila, Areia Fina, Areia Média e Areia Grossa. Aqui temos os dados para apenas 09/10/2017 e 20/10/2020 e conseguimos perceber um comportamento parecido para ambos, sendo alguns com quedas e outros com altas. Para Silte, Areia muito fina e Areia fina temos quedas relevantes nos valores para 2020, já para Areia média, Areia grossa e Areia muito grossa temos altas relevantes para 2020.

Figura 4.42: Gráficos granulometria (%) amostra de sedimento RCA 02.

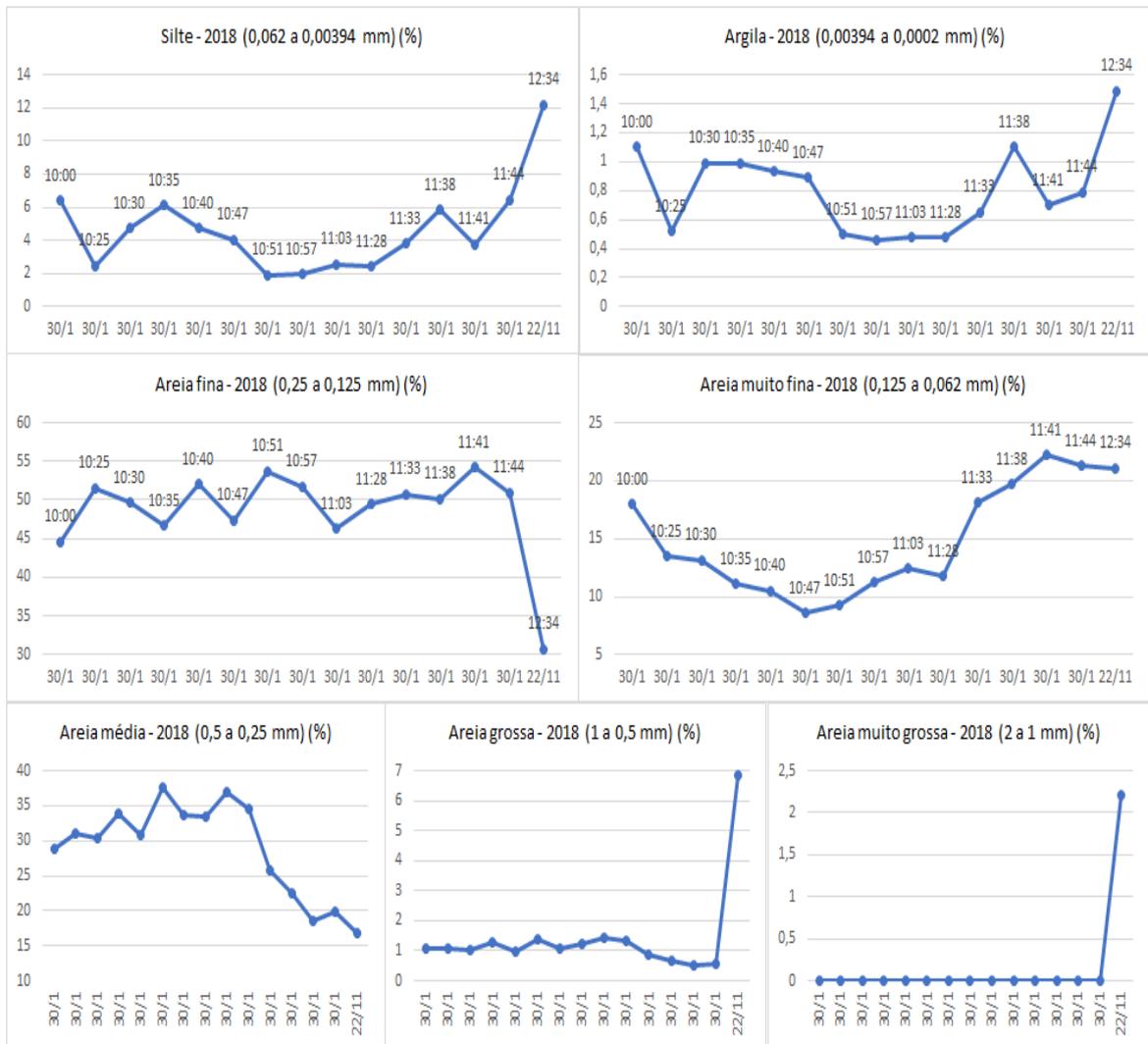


Fonte: elaborada pelo autor.

Para a amostra de percentual de granulometria em testemunho no ponto RCA-02 do Rio do Carmo temos dados apenas para o ano de 2018. Aqui percebemos um comportamento parecido para Silte, Argila e Areia muito fina com quedas e altas sendo a maior alta nos

últimos meses do ano. Para Areia fina e Areia média também percebemos um comportamento parecido entre eles, com altas nos meses iniciais do ano e quedas nos últimos meses do ano. Por fim, para Areia grossa e Areia muito grossa também temos um comportamento muito parecido, onde até 10/2018 temos valores bem baixos e uma enorme alta em 11/2018.

Figura 4.43: Gráficos granulometria (%) amostra de testemunho RCA-02.

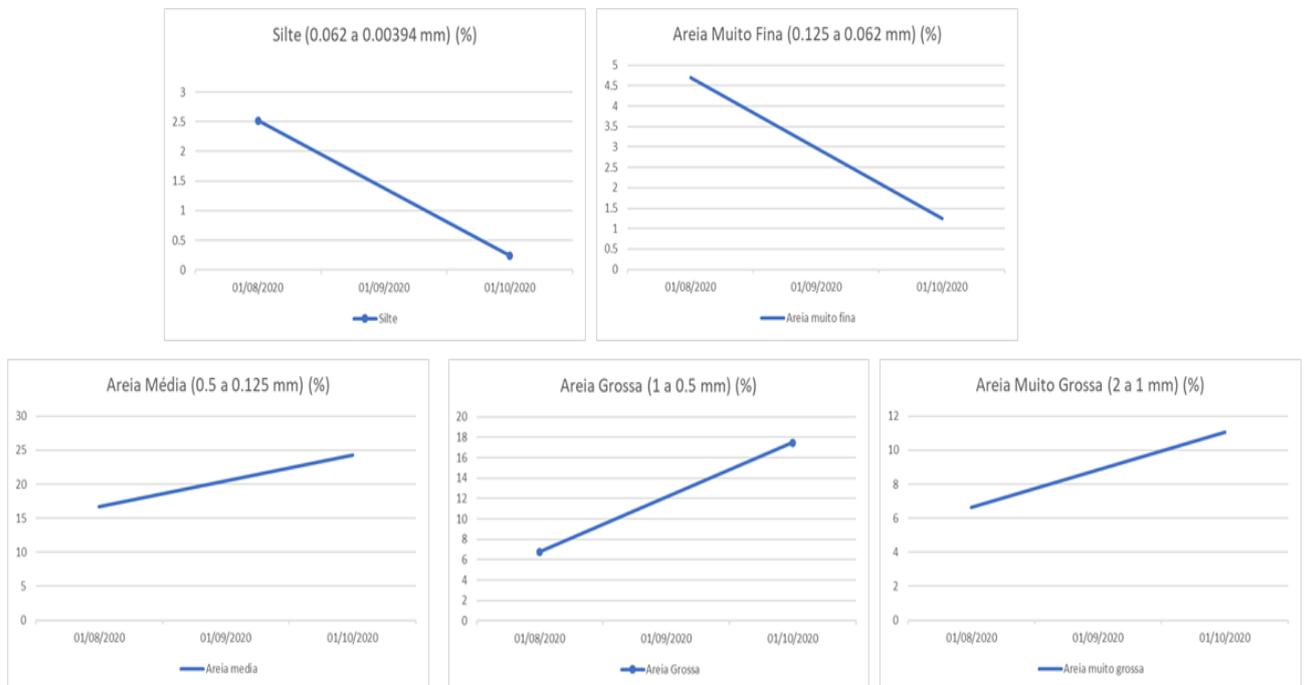


Fonte: elaborada pelo autor.

4.3.2 RGN-08

Para a amostra de frações granulométricas em sedimento no ponto RGN-08 do Rio Gualaxo do Norte temos dados apenas para o período de 08/2020 a 10/2020. Aqui percebemos um comportamento parecido para Silte e Areia muito fina, onde começamos com um valor alto e temos uma queda brusca para os dados. Já para Areia média, Areia grossa e Areia muito grossa temos comportamentos também parecido entre si, onde há uma alta nos valores no final do ano. Argila não foi considerada nessa amostra.

Figura 4.44: Disposição das frações granulométricas presentes na amostra de sedimento RGN-08.

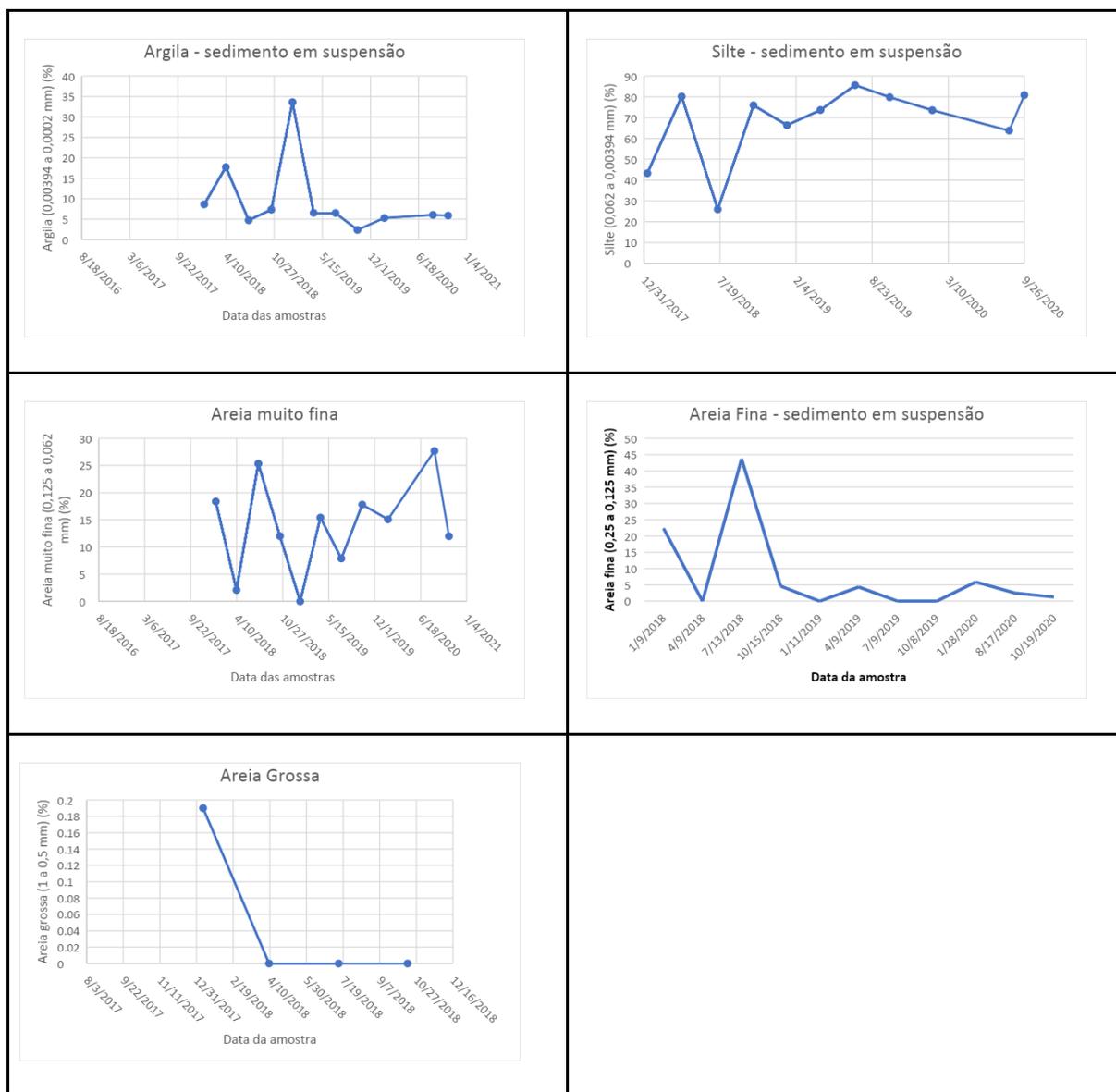


Fonte: elaborada pelo autor.

Para a amostra de frações granulométricas em sedimentos em suspensão no ponto RGN-08 do Rio Gualaxo do Norte temos dados de 2017 a 2021 para algumas análises. Para Argila, Silte e Areia muito fina temos um comportamento parecido entre os dados com altas e quedas, entretanto para silte temos alta no último período analisado e para os outros uma queda nesse período. Para Areia fina percebemos um pico em 07/2018 e após isso uma queda brusca e valores baixos. Por fim, para Areia grossa percebemos que a amostra inicia com um

valor alto (em relação aos outros da mesma amostra) em 01/2018 e após isso uma queda brusca em 04/2018, seguidos por esses valores baixos até 10/2018.

Figura 4.45: Disposição das frações granulométricas presentes na amostra de sedimentos em suspensão RGN-08.



Fonte: elaborada pelo autor.

4.4 Carbono Orgânico Total

A informação de carbono orgânico total foi analisada para os pontos RCA-01; RCA-02; RCA-03; RCA-04; RCA-05; RCA-06, sendo que para RGN-07 não haviam dados na base

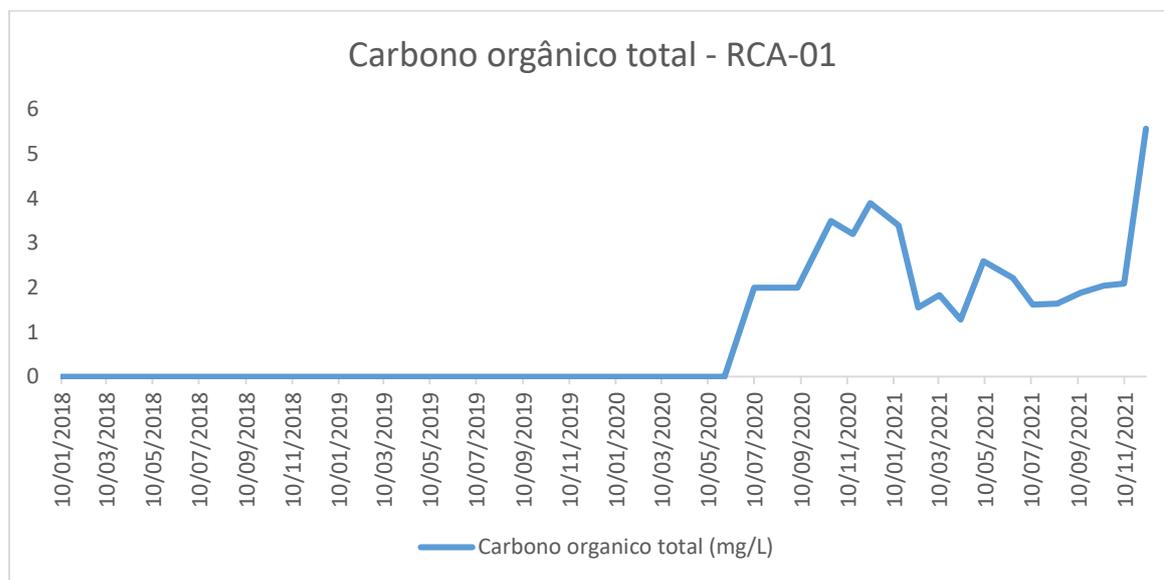
analisada. As informações são ilustradas graficamente, respectivamente da Figura 4.46 até Figura 4.51.

As informações com dados iguais a zero nos gráficos ilustram a situação de que não haviam dados na base analisada, não necessariamente que o valor de fato era zero.

4.4.1 RCA-01

Para a amostra de carbono orgânico total no ponto RCA-01 no Rio do Carmo temos dados após 07/2020 e com esses dados conseguimos perceber uma alta nos valores até 12/2020 e após isso uma queda até 04/2021, seguido por uma alta e uma nova queda. Por fim, temos o pico dos valores em 12/2021 com valor igual a 5,57 mg/L.

Figura 4.46: Dados Carbono Orgânico da amostra RCA-01.

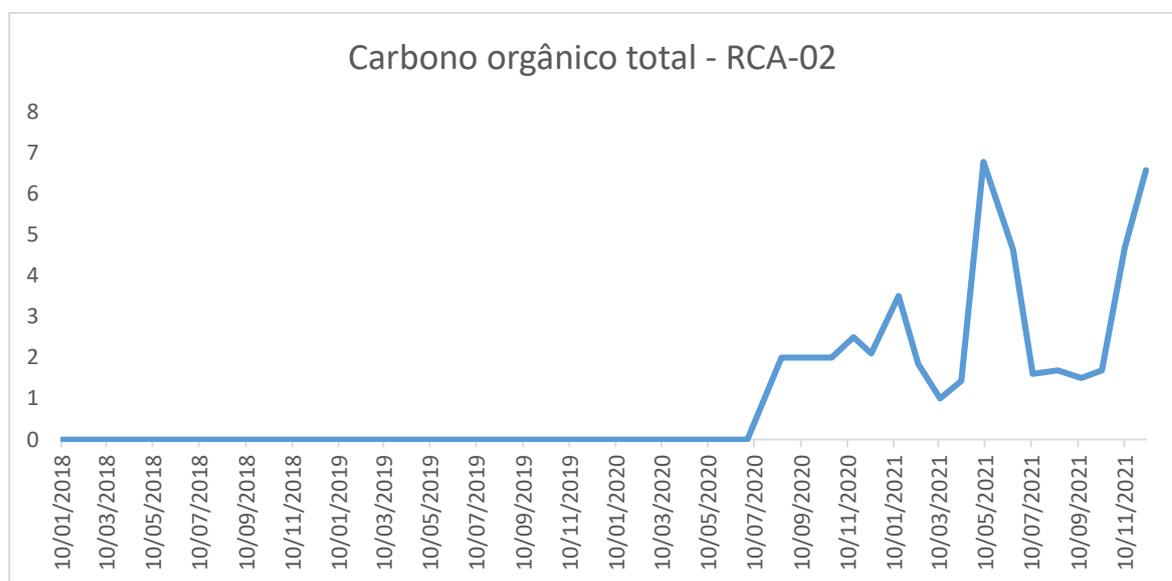


Fonte: elaborada pelo autor.

4.4.2 RCA-02

Para a amostra de carbono orgânico total no ponto RCA-02 do Rio do Carmo temos um comportamento um pouco parecido com o ponto RCA-01. No período de 08/2020 a 01/2021 temos uma alta nos valores, seguido uma baixa e uma nova alta em 04/2021, ocorrendo o pico em 05/2021 com valor igual a 6,77 mg/L. Após isso também temos uma queda nos valores e uma nova alta.

Figura 4.47: Dados Carbono Orgânico da amostra RCA-02.

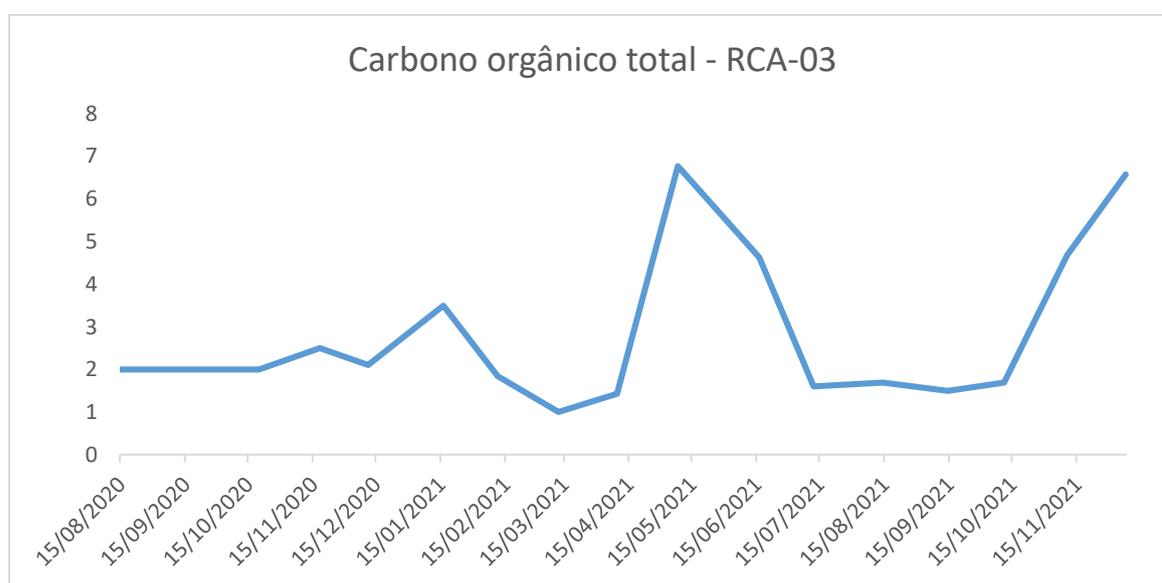


Fonte: elaborada pelo autor.

4.4.3 RCA-03

Para a amostra de carbono orgânico total no ponto RCA-03 do Rio do Carmo também temos dados para o período de 08/2020 a 12/2021. Aqui temos uma leve alta nos valores até 01/2021 e após isso uma queda. Em 05/2021 há uma alta relevante nos valores, onde encontramos o pico da amostra com valor igual a 6,77 mg/L, e após isso uma nova queda, seguido após por uma nova alta para os meses finais do ano de 2021.

Figura 4.48: Dados Carbono Orgânico da amostra RCA-03.

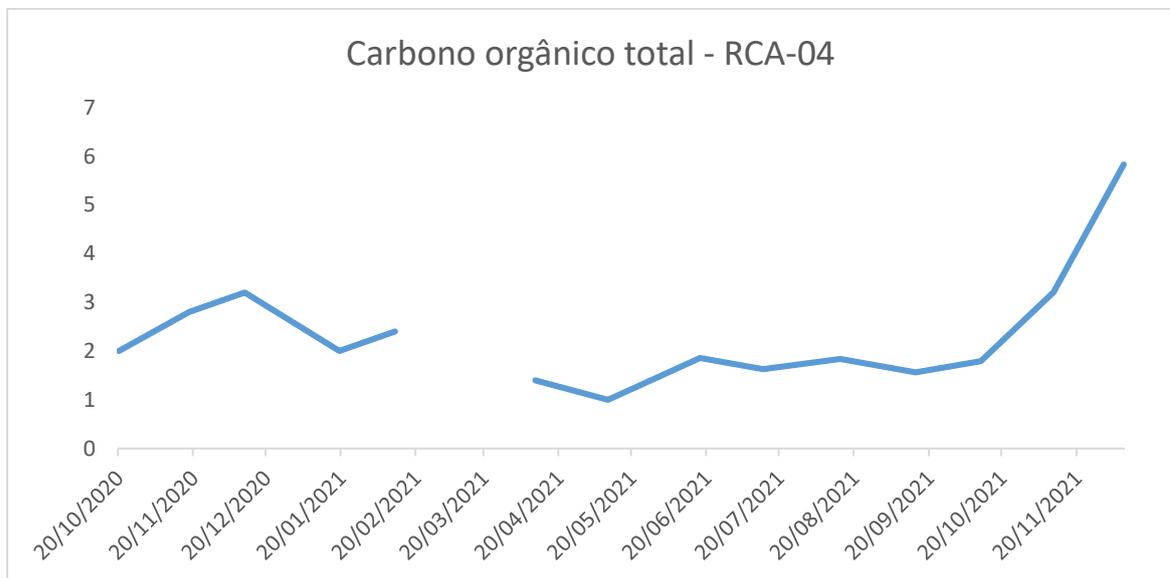


Fonte: elaborada pelo autor.

4.4.4 RCA-04

Para a amostra de carbono orgânico total no ponto RCA-04 do Rio do Carmo temos dados de 10/2020 a 02/2021 e após isso apenas de 04/2021 a 12/2021. Para o período de 10/2020 temos que o pico ocorre em 12/2020 com valor igual a 3,2 mg/L seguido por uma queda e depois uma alta. Já para o período de 04/2021 a 11/2021 temos valores até parecidos até 10/2021 e após isso uma alta relevante nos valores, com pico em 12/2021 com valor igual a 5,83 mg/L.

Figura 4.49: Dados Carbono Orgânico da amostra RCA-04.

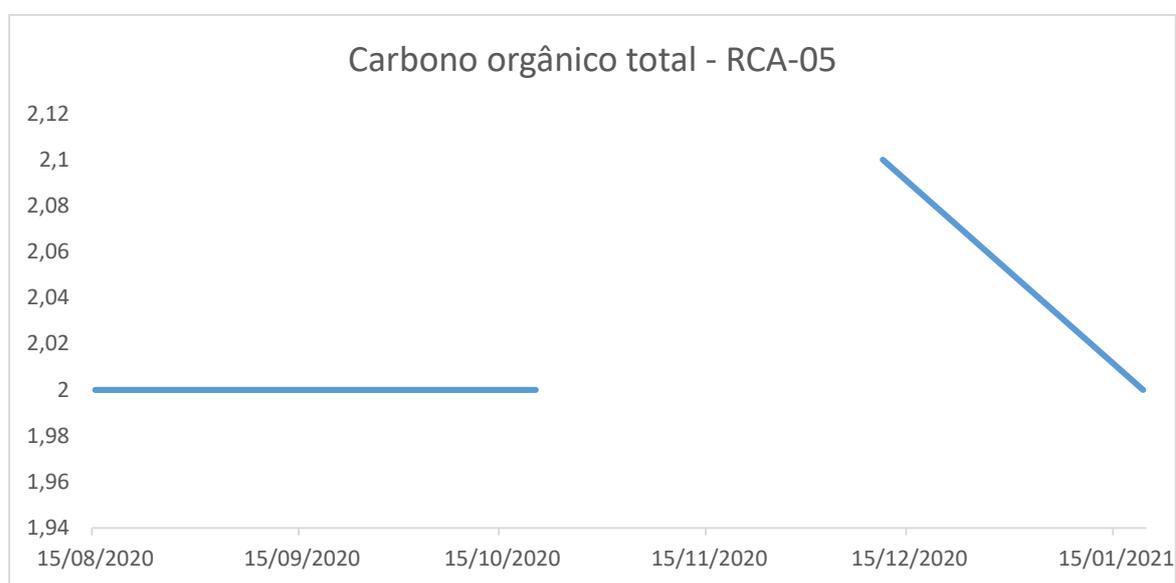


Fonte: elaborada pelo autor.

4.4.5 RCA-05

Para a amostra de carbono orgânico total no ponto RCA-05 do Rio do Carmo temos que em 11/2020 não temos dados. No período de 08/2020 a 10/2020 temos valores iguais e baixos, sendo esses 2 mg/L. Já para 11/2020 temos o maior valor de carbono orgânico na amostra, correspondendo a 2,1 mg/L, que não é muito diferente dos demais, e após isso temos uma queda nos valores até 01/2021.

Figura 4.50: Dados Carbono Orgânico da amostra RCA-05.

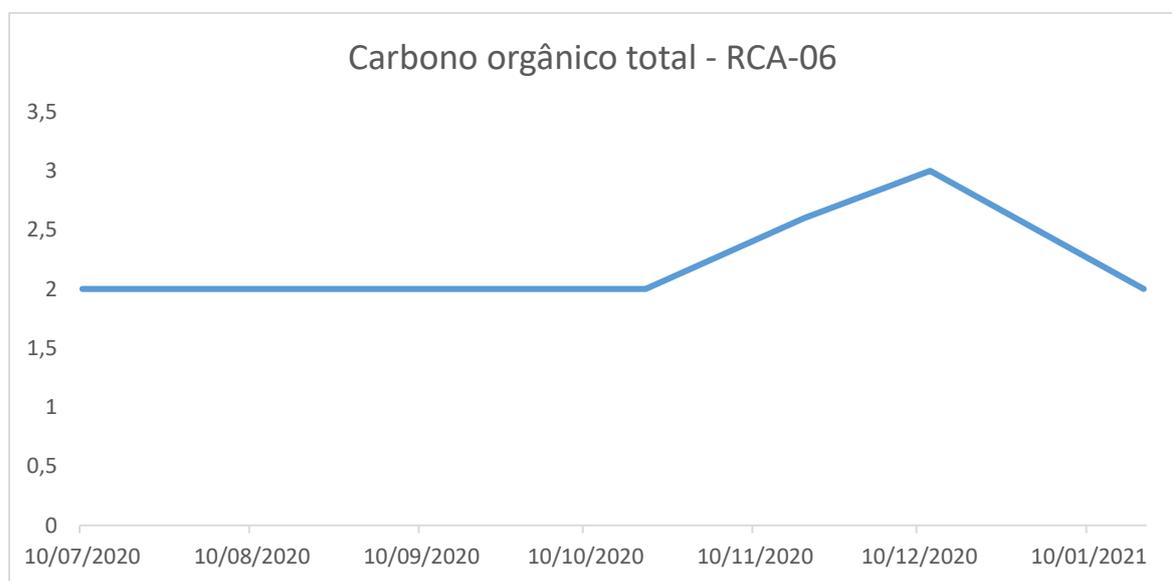


Fonte: elaborada pelo autor.

4.4.6 RCA-06

Para a amostra de carbono orgânico total no ponto RCA-06 do Rio do Carmo também temos um comportamento parecido com o ponto RCA-05, onde no período de 07/2020 a 10/2020 temos que os valores todos são iguais a 2 mg/L. Após isso temos uma alta nos valores, onde o pico ocorre em 12/2020 com valor igual a 3 mg/L e seguidos também por uma nova queda nos valores.

Figura 4.51: Dados Carbono Orgânico da amostra RCA-06.



Fonte: elaborada pelo autor.

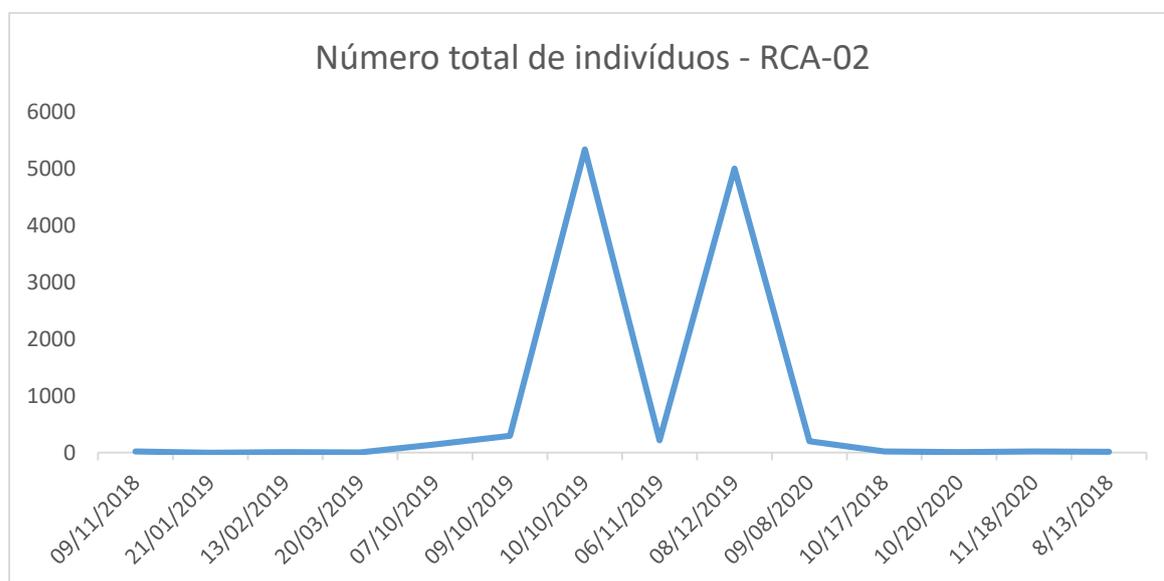
4.5 Zoobentos

Para informações de zoobentos, os pontos RCA-02 (Rio do Carmo) e RGN-08 (Rio Gualaxo do Norte) foram analisados, respectivamente Figura 4.52 e Figura 4.53.

4.5.1 RCA-02

Para a amostra de zoobentos no ponto RCA-02 do Rio do Carmo, onde analisamos número total de indivíduos, temos as análises para o período de 09/2018 a 12/2020. Aqui percebemos até 10/2019 valores bem baixos de indivíduos e após isso uma alta relevante, com pico em 10/10/2019 com 5334 indivíduos. Após isso temos uma queda relevante nos valores de indivíduos, seguido por uma nova alta e uma baixa novamente.

Figura 4.52: Dados de zoobentos da amostra RCA-02.

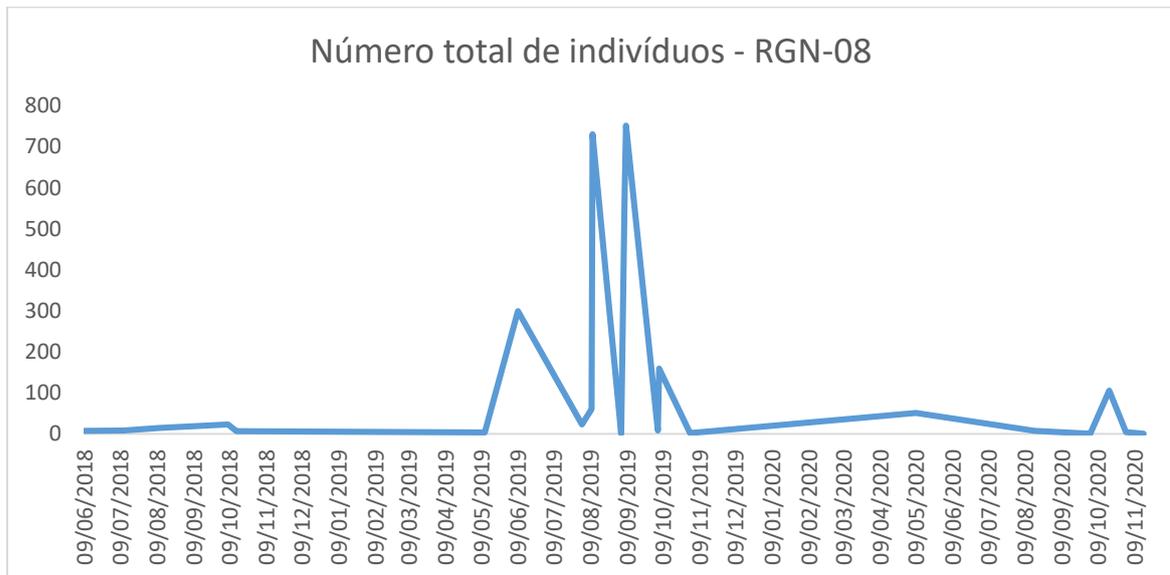


Fonte: elaborada pelo autor.

4.5.2 RGN-08

Para a amostra de zoobentos no ponto RGN-08 do Rio Gualaxo do Norte, onde analisamos número total de indivíduos, temos as análises para o período de 09/2018 a 12/2020. Aqui, até 05/2019 temos valores bem baixo de indivíduos, seguido por uma alta relevante nos valores em 06/2019 e uma nova queda. Em 08/2019 percebemos uma alta relevante nos valores, seguido por uma queda brusca e uma nova alta relevante dos valores, onde ocorre o pico em 09/2019 com 752 indivíduos. Após esse período temos uma nova queda brusca, onde os valores de 10/2019 a 11/2020 são muito baixos, com maior valor igual a 4 indivíduos.

Figura 4.53: Dados de zoobentos da amostra RGN-08.



Fonte: elaborada pelo autor.

4.6 Correlação de Pearson - Água

Para as análises de correlação de Pearson foram utilizados todos os pontos da amostra do Rio do Carmo para água, sendo eles RCA-01, RCA-02, RCA-03, RCA-04, RCA-05 e RCA-06, mas com todos os dados juntos em uma única base de dados.

Para a amostra do Rio Gualaxo do Norte foram utilizados os pontos RGN-07 e RGN-07M para água, também juntos na mesma base de dados. Isso foi feito para conseguirmos

analisar a correlação entre os elementos nas amostras para verificarmos se há influência de algum elemento em outro.

Os elementos utilizados em todas as análises foram Ferro, Arsênio, Bário, Cobre, Manganês, Mercúrio, Níquel e Zinco, pois para as como as correlações com os outros elementos obtiveram valores muito baixos e são consideradas bem fracas e até irrelevantes para o estudo, por isso não foi considerado para a criação dos gráficos. Para o elemento Mercúrio na amostra do Rio do Carmo não foi possível realizar nenhuma correlação, pois a amostra para esse elemento tem dimensões incompatíveis com a dos outros elementos. Para o elemento Carbono na amostra do Rio Gualaxo do Norte não foi possível realizar nenhuma correlação, pois a amostra para esse elemento não apresenta dados. Entretanto, para essa amostra foi considerado o elemento Mercúrio nas análises.

Algo também importante de se relatar é que na amostra do Rio do Carmo, possuímos dados apenas para o período de 07/2020 a 12/2021. Para os outros meses e anos apresentados na amostra, não possuem dados. Já para o Rio Gualaxo do Norte, obtemos dados apenas para o período de 10/2020 a 12/2021.

Segue abaixo pela Tabela 4.4, os valores das melhores correlações realizadas na amostra do Rio do Carmo.

Tabela 4.4: Correlações de Pearson para os elementos da amostra de água no Rio do Carmo.

Elementos	Valor Correlação
Arsênio e Bário	0.7353
Arsênio e Cobre	0.7825
Arsênio e Níquel	0.6596
Bário e Cobre	0.7287

Fonte: elaborada pelo autor.

Segue abaixo pela Tabela 4.5, os valores das melhores correlações realizadas na amostra do Rio Gualaxo do Norte.

Tabela 4.5: Correlações de Pearson para os elementos da amostra de água no Rio Gualaxo do Norte.

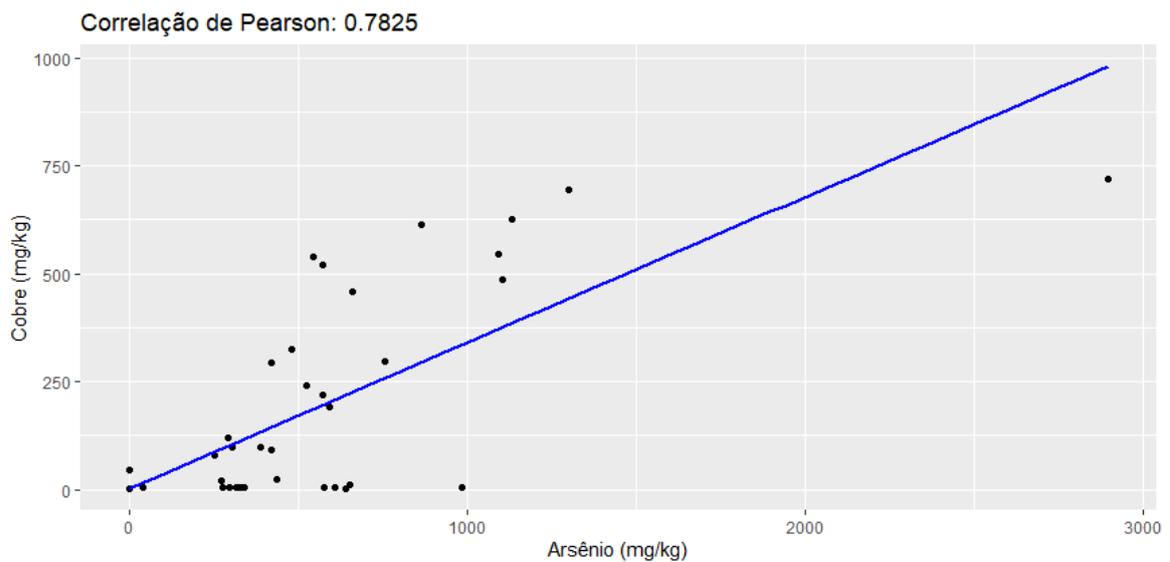
Elementos	Valor Correlação
Arsênio e Bário	0.6961
Arsênio e Manganês	0.7142
Arsênio e Zinco	0.8326
Bário e Manganês	0.8601
Bário e Níquel	0.7089
Manganês e Zinco	0.6378

Fonte: elaborada pelo autor.

4.6.1 Rio do Carmo

4.6.1.1 Arsênio e Cobre

Aqui nos pontos do Rio do Carmo, percebemos uma correlação boa entre os elementos arsênio e cobre, com valor igual a 0,7825. Esse valor indica que quanto maior o nível de arsênio na amostra, maior o nível de cobre.

Figura 4.54: Correlação de Pearson entre Arsênio e Cobre no Rio do Carmo para amostra de água.

Fonte: elaborada pelo autor.

Esse alto valor de correlação entre os elementos Arsênio e Cobre, possivelmente se deu pois o período na amostra onde apresentam valores a serem analisados, foi o período dos meses de 07/2020 a 12/2021. O período considerado de chuvas para o estado de Minas Gerais é o período de outubro a março. Dessa forma, pode-se considerar que o período de chuvas pode ter sido um influenciador nos valores da amostra e no valor da correlação, mas que não foi o único influenciador, pois temos dados para o período de seca em Minas Gerais, que ocorre de abril a setembro.

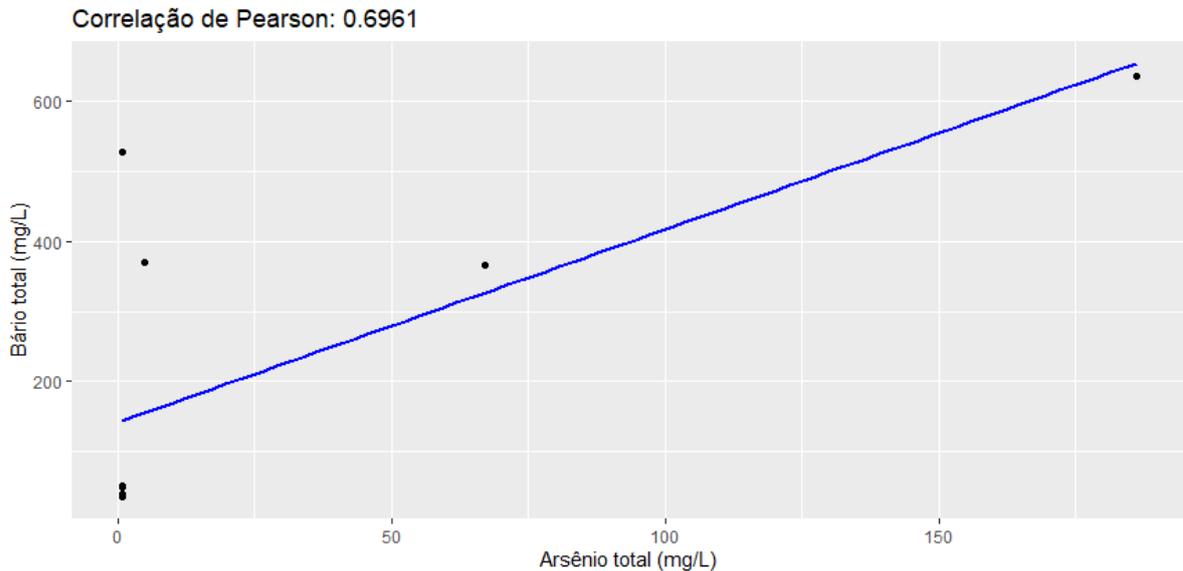
Conseguimos perceber pela Figura 4.54, que essa alta correlação ocorre principalmente com os pontos no intervalo de 0 a 1500 mg/kg para o elemento Arsênio e de 0 a 750 para o elemento Cobre, com 1 ponto discrepante.

4.6.2 Rio Gualaxo do Norte

4.6.2.1 Arsênio e Bário

Para os elementos arsênio e bário no Rio Gualaxo do Norte, percebemos uma correlação também boa e positiva com valor igual a 0,6961. Esse valor significa uma forte influência do elemento arsênio nos valores do elemento bário, como é mostrado no gráfico. E devido a correlação ser positiva, indica que quanto maior a quantidade de arsênio na amostra, maior a de bário também.

Figura 4.55: Correlação de Pearson entre Arsênio e Bário no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.



Fonte: elaborada pelo autor.

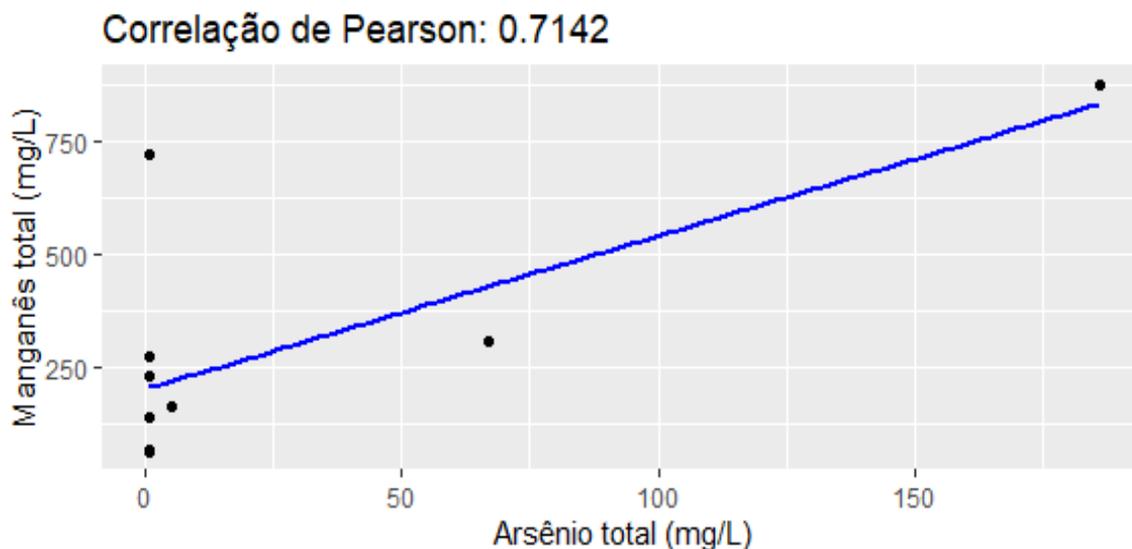
Esse valor de correlação entre os elementos Arsênio e Bário, possivelmente se deu pois o período na amostra onde apresentam valores a serem analisados, foi o período de 10/2020 a 12/2021. O período considerado de chuvas para o estado de Minas Gerais é o período de outubro a março. Dessa forma, pode-se considerar que o período de chuvas pode ter sido um influenciador nos valores da amostra e no valor da correlação, mas que não foi o único influenciador, pois temos dados para o período de seca em Minas Gerais, que ocorre de abril a setembro.

Consegue-se perceber pela Figura 4.55, que não temos muitos pontos para a análise de correlação, mas que os principais pontos estão no intervalo de 0 a 600 mg/L para o elemento Bário e de 0 a 25 mg/L para o elemento Arsênio, com um ponto discrepante.

4.6.2.2 Arsênio e Manganês

A correlação dos elementos arsênio e manganês no Rio Gualaxo do Norte apresenta um valor positivo e alto, sendo considerada, portanto, uma correlação alta entre os elementos. Esse valor de correlação igual a 0,7142 significa uma correlação boa e positiva entre os dois elementos, e que quando a quantidade de manganês aumenta na amostra, a de arsênio também aumenta.

Figura 4.56: Correlação de Pearson entre Arsênio e Manganês no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.



Fonte: elaborada pelo autor.

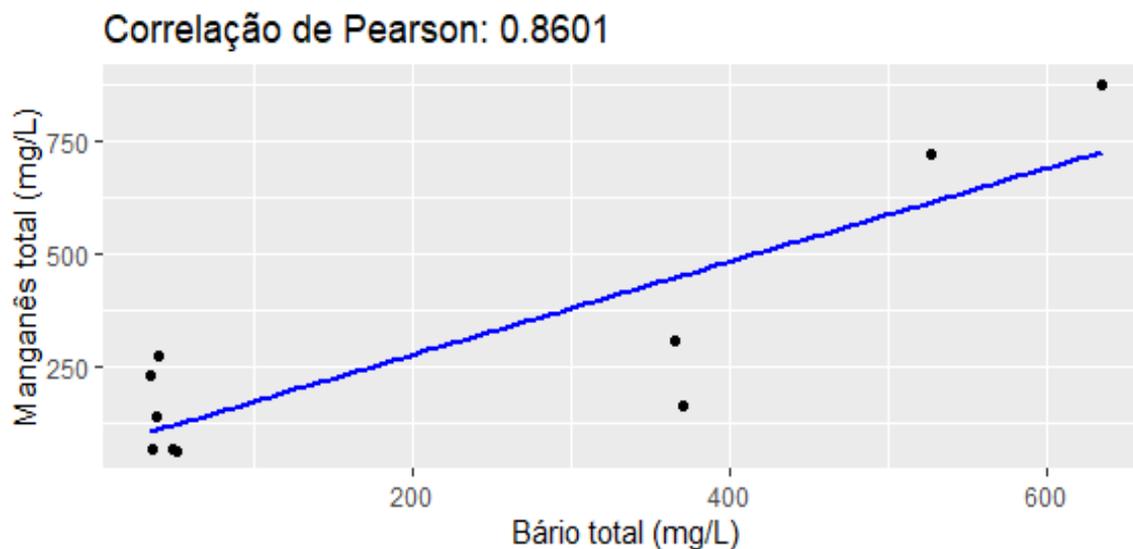
Esse valor alto de correlação entre os elementos Arsênio e Manganês, possivelmente se deu pois o período na amostra onde apresentam valores a serem analisados, foi período de 10/2020 a 12/2021. O período considerado de chuvas para o estado de Minas Gerais é o período de outubro a março. Dessa forma, pode-se considerar que o período de chuvas pode ter sido um influenciador nos valores da amostra e no valor da correlação, mas que não foi o único influenciador, pois temos dados para o período de seca em Minas Gerais, que ocorre de abril a setembro.

Consegue-se perceber também pela Figura 4.56, que para a amostra não temos muitos pontos de correlação, mas que para os elementos Manganês estão no intervalo de 0 a 750 mg/L e para Arsênio, estão no intervalo de 0 a 25 mg/L, com 2 pontos discrepantes.

4.6.2.3 Bário e Manganês

Já para os elementos bário e manganês no Rio Gualaxo do Norte, observamos a maior correlação observada até então, com valor igual a 0,8601. Essa é uma correlação muito boa entre os elementos e positiva, indicando uma alta correlação entre eles, ou seja, quanto maior o valor de mercúrio total na amostra, maior o valor de bário também.

Figura 4.57: Correlação de Pearson entre Bário e Manganês no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.



Fonte: elaborada pelo autor.

Esse valor bem alto de correlação entre os elementos Bário e Manganês, possivelmente se deu pois o período na amostra onde apresentam valores a serem analisados, foi o período de 10/2020 a 12/2021. O período considerado de chuvas para o estado de Minas Gerais é o período de outubro a março. Dessa forma, pode-se considerar que o período de chuvas pode ter sido um influenciador nos valores da amostra e no valor da correlação, mas que não foi o único influenciador, pois temos dados para o período de seca em Minas Gerais, que ocorre de abril a setembro.

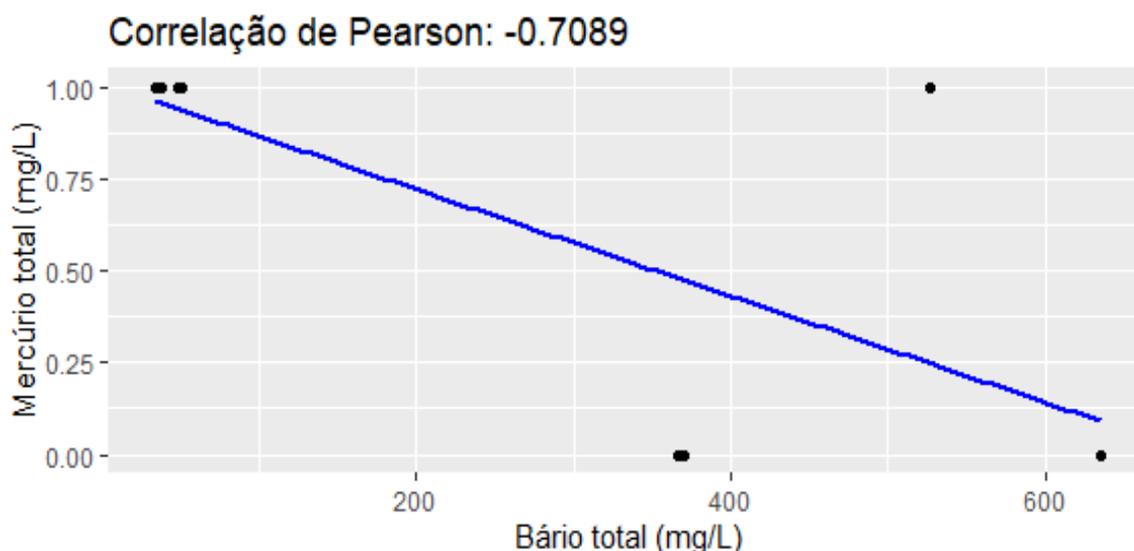
Consegue-se perceber com a Figura 4.57, que a maior parte dos pontos de correlação se encontram no intervalo de 0 a 375 mg/L para o elemento Manganês e de 0 a 400 mg/L para o elemento Bário, com dois pontos discrepantes.

4.6.2.4 Bário e Mercúrio

Para os elementos bário e mercúrio no Rio Gualaxo do Norte, observamos uma correlação boa, mas negativa. Essa correlação com valor igual a $-0,7089$ indica uma alta

correlação entre os elementos, mas como é negativa, quando os valores de mercúrio total aumentam na amostra, os de bário diminuem.

Figura 4.58: Correlação de Pearson entre Bário e Mercúrio no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.



Fonte: elaborada pelo autor.

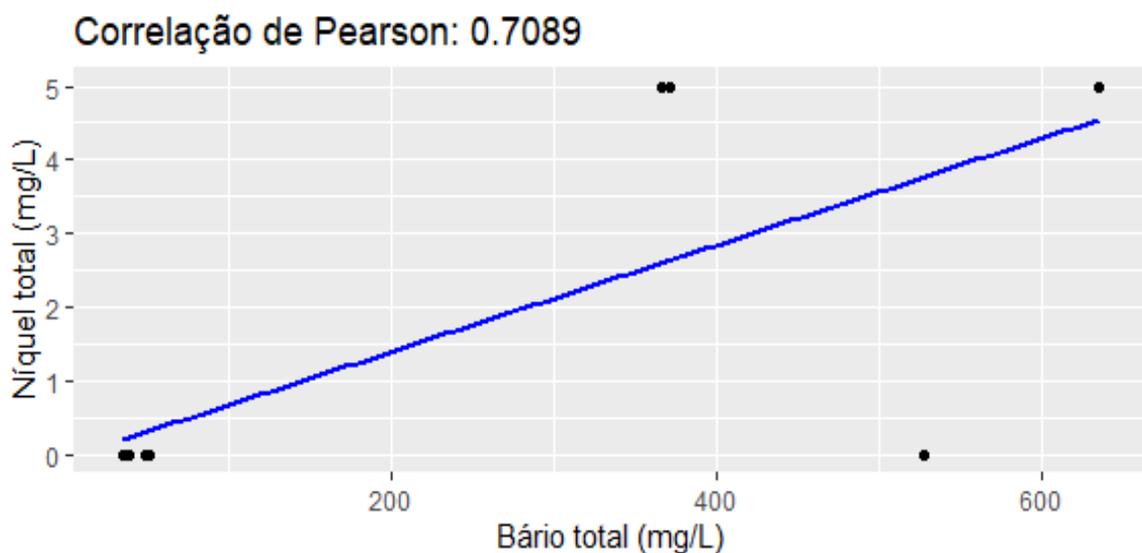
Esse valor de correlação entre os elementos Bário e Mercúrio, possivelmente se deu pois o período na amostra onde apresentam valores a serem analisados, foi o período de 10/2020 a 12/2021. O período considerado de chuvas para o estado de Minas Gerais é o período de outubro a março. Dessa forma, pode-se considerar que o período de chuvas pode ter sido um influenciador nos valores da amostra e no valor da correlação, mas que não foi o único influenciador, pois temos dados para o período de seca em Minas Gerais, que ocorre de abril a setembro.

Consegue-se perceber pela Figura 4.58, que também não temos muitos pontos de correlação na amostra, mas que eles estão concentrados no intervalo de 0,875 a 1,125 mg/L para o elemento Mercúrio e de 300 a 400 mg/L para o elemento Bário, com 2 pontos discrepantes.

4.6.2.5 Bário e Níquel

Para os elementos bário e níquel no Rio Gualaxo do Norte, temos a mesma correlação dos elementos bário e mercúrio, mas positiva. Essa correlação com valor igual a 0,7089 indica uma correlação boa entre os elementos e por ser positiva, quando os valores de bário na amostra aumentam, os de níquel também aumentam.

Figura 4.59: Correlação de Pearson entre Bário e Níquel no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.



Fonte: elaborada pelo autor.

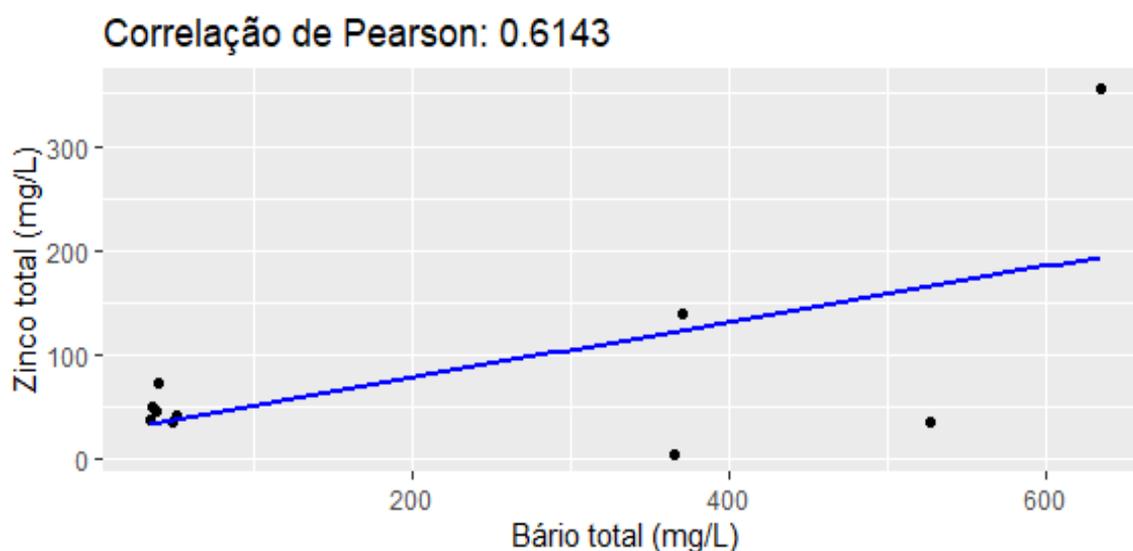
Esse valor de correlação entre os elementos Bário e Níquel, possivelmente se deu pois o período na amostra onde apresentam valores a serem analisados, foi o período de 10/2020 a 12/2021. O período considerado de chuvas para o estado de Minas Gerais é o período de outubro a março. Dessa forma, pode-se considerar que o período de chuvas foi um influenciador nos valores da amostra e no valor da correlação, mas que não foi o único influenciador, pois temos dados para o período de seca em Minas Gerais, que ocorre de abril a setembro.

Conseguimos perceber pela Figura 4.59, que também não temos muitos pontos de correlação nessa amostra, mas que eles se concentram no intervalo de 3 a 6 mg/L para o elemento Níquel e de 0 a 400 mg/L para o elemento Bário, com 2 pontos discrepantes.

4.6.2.6 Bário e Zinco

Para os elementos bário e zinco no Rio Gualaxo do Norte, observamos uma correlação mais baixa que as já apresentadas, mas ainda considerada moderada. A correlação com valor igual a 0,6143 indica uma correlação entre os elementos e como é positiva, quando os valores de bário aumentam na amostra, os de zinco também aumentam.

Figura 4.60: Correlação de Pearson entre Bário e Zinco no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.



Fonte: elaborada pelo autor.

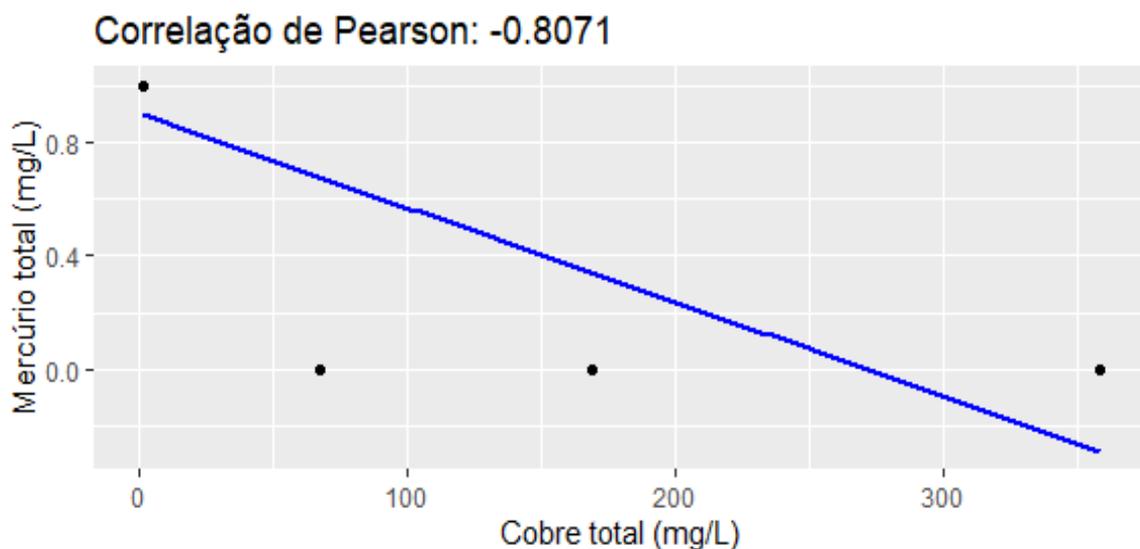
Esse valor de correlação entre os elementos Bário e Zinco, possivelmente se deu pois o período na amostra onde apresentam valores a serem analisados, foi o período de 10/2020 a 12/2021. O período considerado de chuvas para o estado de Minas Gerais é o período de outubro a março. Dessa forma, pode-se considerar que o período de chuvas foi um influenciador nos valores da amostra e no valor da correlação, mas que não foi o único influenciador, pois temos dados para o período de seca em Minas Gerais, que ocorre de abril a setembro.

Consegue-se perceber pela Figura 4.60, que a maior parte dos pontos de correlação encontram-se no intervalo de 0 a 100 mg/L para o elemento Zinco e de 0 a 400 mg/L para o elemento Bário, com 2 pontos discrepantes.

4.6.2.7 Cobre e Mercúrio

Para os elementos cobre e mercúrio no Rio Gualaxo do Norte, observamos uma correlação boa, mas negativa. Esse valor de correlação igual a $-0,8071$ indica uma alta correlação entre os elementos, mas como é negativa, quando os valores de cobre aumentam na amostra, os de mercúrio total diminuem.

Figura 4.61: Correlação de Pearson entre Cobre e Mercúrio no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.



Fonte: elaborada pelo autor.

Esse valor alto de correlação entre os elementos Cobre e Mercúrio, possivelmente se deu pois o período na amostra onde apresentam valores a serem analisados, foi o período de 10/2020 a 12/2021. O período considerado de chuvas para o estado de Minas Gerais é o período de outubro a março. Dessa forma, pode-se considerar que o período de chuvas é um possível influenciador nos valores da amostra e no valor da correlação, mas que não foi o

único influenciador, pois temos dados para o período de seca em Minas Gerais, que ocorre de abril a setembro.

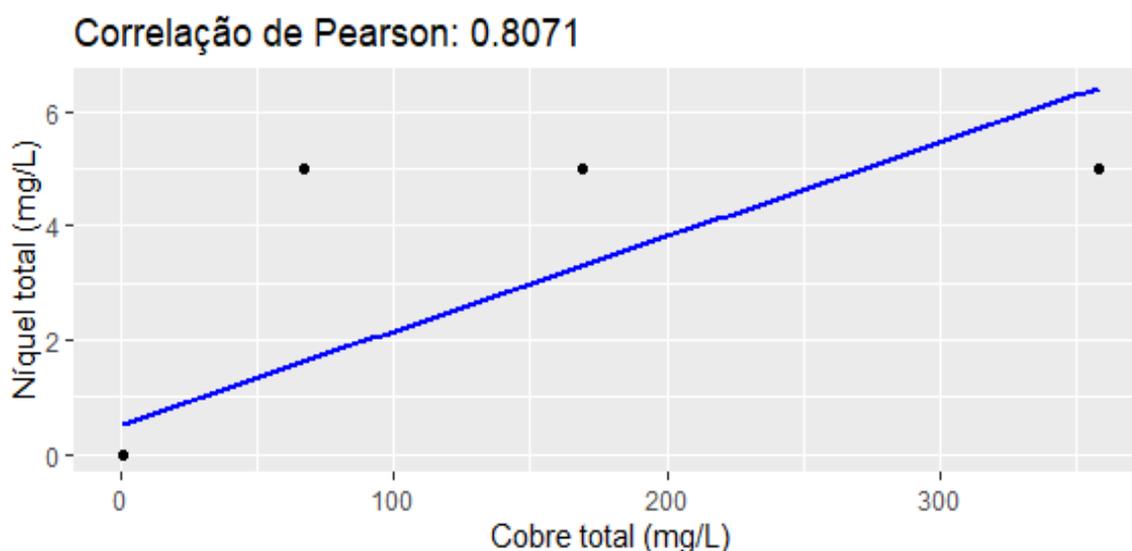
Conseguimos perceber pela Figura 4.61, que tem-se aqui também temos apenas 4 pontos de correlação na amostra, sendo eles:

- Mercúrio 1 mg/L e cobre 1 mg/L;
- Mercúrio 0 mg/L e cobre 67 mg/L;
- Mercúrio 0 mg/L e cobre 169 mg/L;
- Mercúrio 0 mg/L e cobre 358 mg/L.

4.6.2.8 Cobre e Níquel

Para os elementos cobre e níquel no Rio Gualaxo do Norte, também observamos o mesmo valor da amostra de cobre e níquel, mas positiva. Essa correlação com valor igual a 0,8071 indica uma alta correlação entre os elementos e por ser positiva, quando os valores de cobre aumentam na amostra, os de níquel também aumentam.

Figura 4.62: Correlação de Pearson entre Cobre e Níquel no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.



Fonte: elaborada pelo autor.

Esse valor alto de correlação entre os elementos Cobre e Níquel, possivelmente se deu pois o período na amostra onde apresentam valores a serem analisados, foi o período de 10/2020 a 12/2021. O período considerado de chuvas para o estado de Minas Gerais é o período de outubro a março. Dessa forma, pode-se considerar que o período de chuvas foi um influenciador nos valores da amostra e no valor da correlação, mas que não foi o único influenciador, pois temos dados para o período de seca em Minas Gerais, que ocorre de abril a setembro.

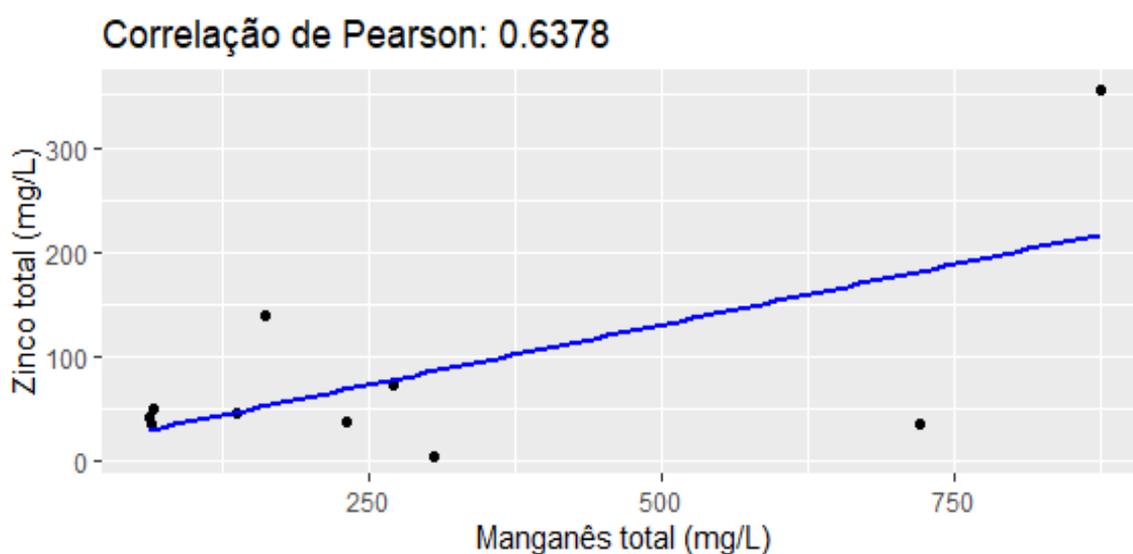
Conseguimos perceber com a Figura 4.62 que nessa amostra também temos apenas 4 pontos de correlação, sendo eles:

- Níquel 0,01 mg/L e cobre 1 mg/L;
- Níquel 5 mg/L e cobre 67 mg/L;
- Níquel 5 mg/L e cobre 167 mg/L;
- Níquel 5 mg/L e cobre 358 mg/L.

4.6.2.9 Manganês e Zinco

Para os elementos manganês e zinco no Rio Gualaxo do Norte, observamos uma correlação moderada. A correlação com valor igual a 0,6378 indica uma correlação entre os elementos e como é positiva, quando os valores de manganês aumentam na amostra, os de zinco também aumentam.

Figura 4.63: Correlação de Pearson entre Manganês e Zinco no Rio Gualaxo do Norte para amostra de água.



Fonte: elaborada pelo autor.

Esse valor de correlação entre os elementos Manganês e Zinco, possivelmente se deu pois o período na amostra onde apresentam valores a serem analisados, foi o período de 10/2020 a 12/2021. O período considerado de chuvas para o estado de Minas Gerais é o período de outubro a março. Dessa forma, pode-se considerar que o período de chuvas foi um influenciador nos valores da amostra e no valor da correlação, mas que não foi o único influenciador, pois temos dados para o período de seca em Minas Gerais, que ocorre de abril a setembro.

Conseguimos perceber pela Figura 4.63, que a maior parte das correlações acontecem no intervalo de 0 a 150 mg/L para o elemento Zinco e de 0 a 375 mg/L para o elemento Manganês, com 2 pontos discrepantes.

4.7 Correlação de Pearson - Sedimentos

Para a amostra de sedimentos foram encontrados apenas dados do Rio Gualaxo do Norte no ponto RGN-08. Também foram encontrados apenas os elementos Bário, Ferro e Manganês. Devido a isso, as análises serão apenas com esses elementos. Para o elemento Carbono Orgânico não foi possível realizar a análise, pois os dados apresentados para esse elemento são apresentados em % enquanto para os outros elementos, são apresentados em mg/kg.

Segue abaixo pela Tabela 4.6, todas as correlações realizadas entre os elementos possíveis da amostra.

Tabela 4.6: Correlações de Pearson para os elementos da amostra de sedimentos no Rio Gualaxo do Norte.

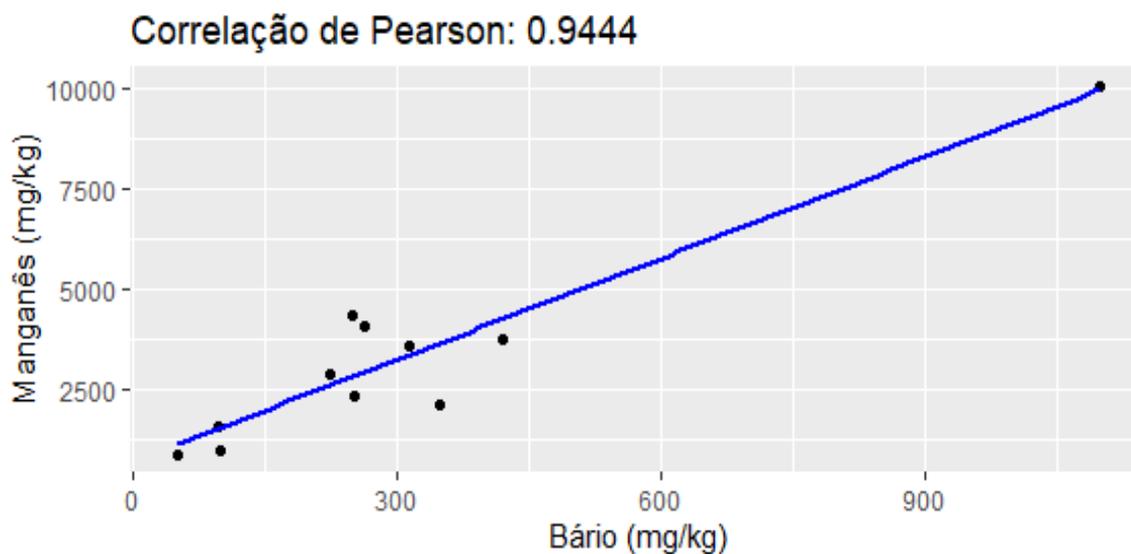
Elementos	Valor Correlação
Bário e Manganês	0.9444

Fonte: elaborada pelo autor.

4.7.1 Bário e Manganês

Para os elementos bário e manganês no Rio Gualaxo do Norte, também observamos uma correlação altíssima. A correlação com valor igual a 0,9444 indica uma boa correlação entre os elementos e, por ser positiva, quando os valores de bário na amostra aumentam, os de manganês aumentam quase que na mesma proporção.

Figura 4.64: Correlação de Pearson entre Bário e Manganês no Rio Gualaxo do Norte para amostra de sedimentos.



Fonte: elaborada pelo autor.

Conseguimos perceber pela Figura 4.64, que os pontos de correlação se concentram no intervalo de 0 a 450 mg/kg para o elemento Bário e de 0 a 5000 mg/kg para o elemento Manganês.

4.8 Correlação de Pearson – Sedimentos em Suspensão

Para a amostra de Sedimentos em Suspensão não foram encontrados dados do Rio do Carmo. Devido a isso não houve como realizar as análises de correlação para essa amostra.

CAPÍTULO 5

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A discussão dos resultados aqui apresentada é válida apenas para os dados disponíveis no banco de dados da Renova e para os pontos de estudo no Município de Barra Longa. Estas interpretações e resultados podem não se aplicar a outros pontos da área afetada pelo rompimento da barragem.

5.1 PREMISSAS DO BANCO DE DADOS

Foram identificadas datas com notação americana em meio a notação brasileira. Deste modo, existe ambiguidade e dúvidas quanto algumas informações do banco de dados da Renova. Em dados coletados com informações de data como: 19/12/2022 há datas como 12/19/2022, não sendo possível rastrear meses equivocados em meio ao banco de dados quando coletados em dia com número menor ou igual a 12. Isso ocorreu para análise de zoobentos, por exemplo.

A amostra RCA-02 apresentou pouca quantidade de dados informados dos elementos que foram analisados.

5.2 Alcalinidade

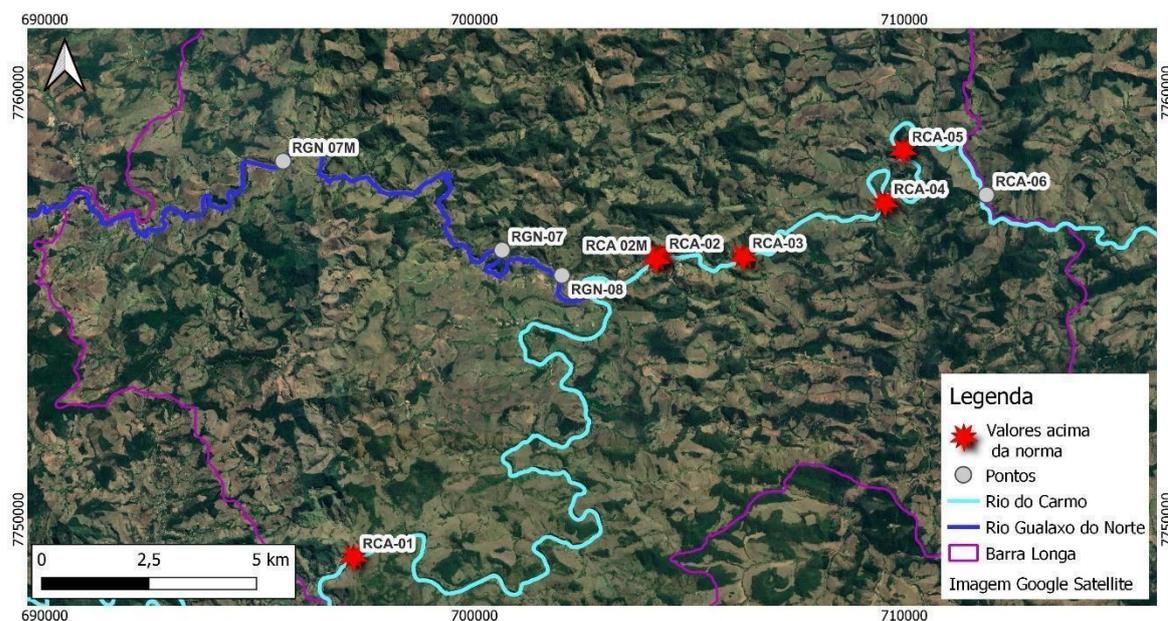
As informações referentes à alcalinidade foram avaliadas para as amostras RCA-01, RCA-02, RCA-03, RCA-04 e RCA-05 para as amostras do Rio do Carmo e para as amostras RGN-07M e RGN-07 para amostras do rio Gualaxo do Norte. Em todas as feições, foi possível verificar que a alcalinidade variou entre 15 e 45 mg CaCO_3 /L para ambos os cursos d'água, variando mais entre 20gm CaCO_3 /L

5.3 Arsênio

O arsênio foi avaliado em amostras de água e de sedimentos.

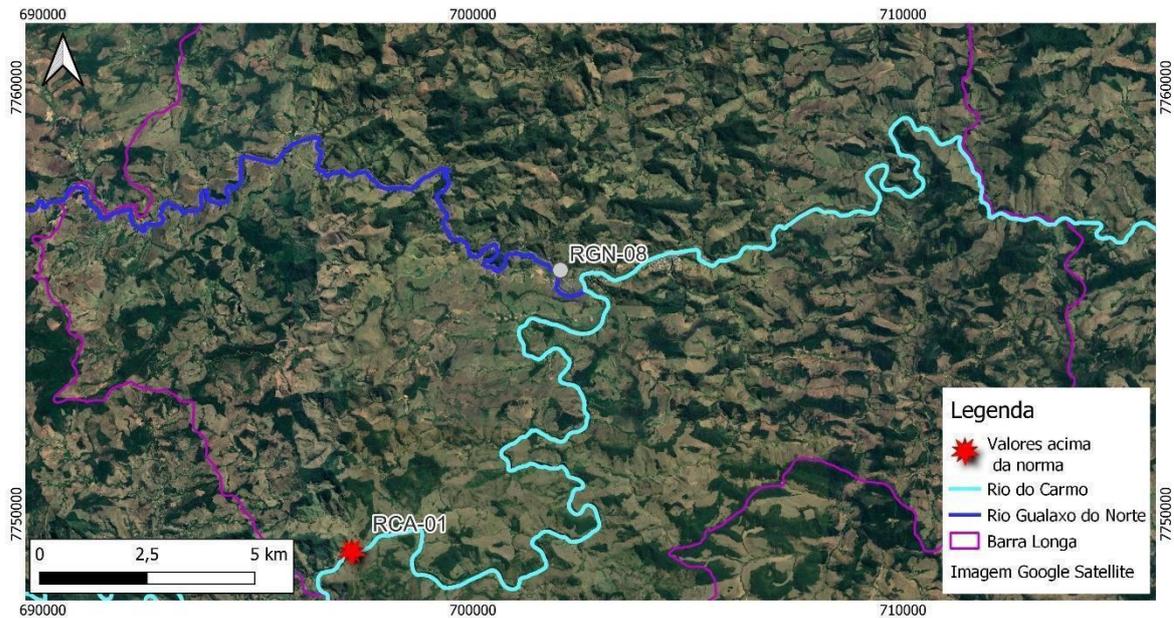
Para água, foi verificada uma anomalia em arsênio, com representações acima da norma recomendada, em dezembro de 2020 para todas as amostras do Rio do Carmo (exceto uma, RCA-06). Amostras do Rio Gualaxo do Norte não apresentaram essa anomalia (Figura 5.1).

Figura 5.1: Disposição das anomalias de arsênio para amostras de água.



Fonte: elaborada pelo autor.

Para sedimentos, foram analisadas as amostras RCA-01 e RGN-08, sendo que a primeira também apresentou anomalia de arsênio em novembro de 2020 e em janeiro de 2021, como ilustrado pela Figura 5.2.

Figura 5.2: Disposição das anomalias de arsênio para amostras de sedimentos

Fonte: elaborada pelo autor.

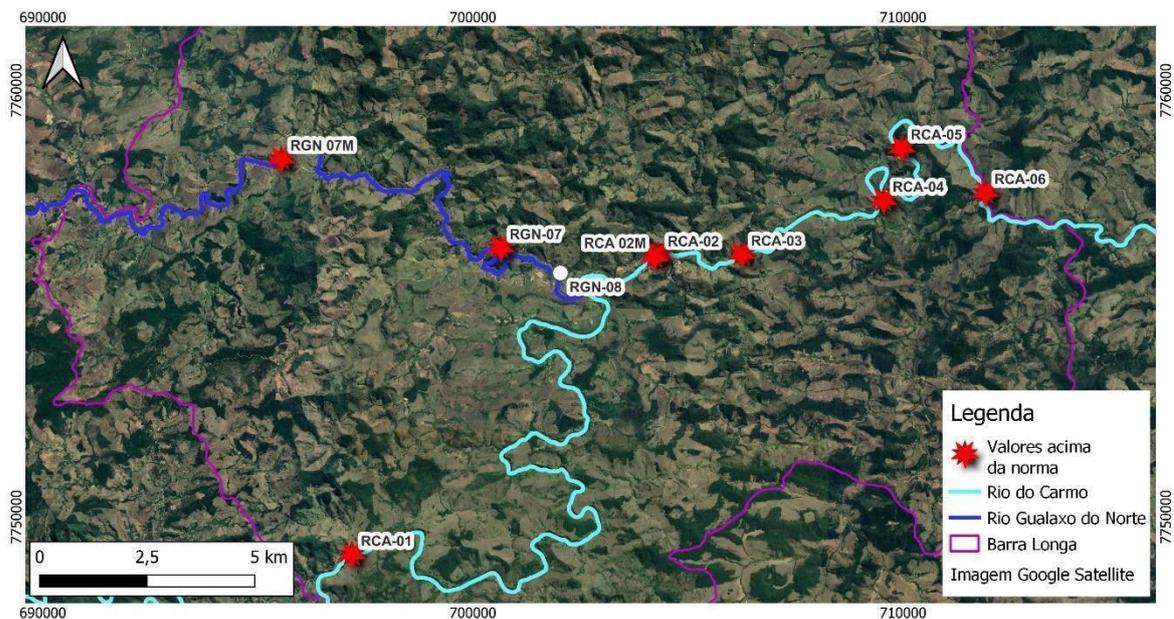
Com a finalidade de minimizar os danos, é possível plantar espécies como a *Agrostis Castellana*, uma planta bioacumuladora de arsênio, bem como a *Solidago Canadensis L.*, uma espécie bioacumuladora de alumínio (Schettini, 2015).

5.4 Ferro

O elemento ferro foi analisado nas amostras de água e de sedimentos. Para água, todas as amostras do Rio do Carmo apresentaram anomalias, dados coletados a partir de julho/setembro de 2020 até janeiro/novembro de 2021

Para amostras do Rio Gualaxo do Norte (RGN-07 e RGN-07M), anomalias de ferro também foram registradas, com medidas que iniciaram a partir de 2021. Valores expressivos foram detectados nas aferições de 2021, tendo maior intensidade nos meses do verão, como janeiro e dezembro de 2021, conforme indicado pela Figura 5.3.

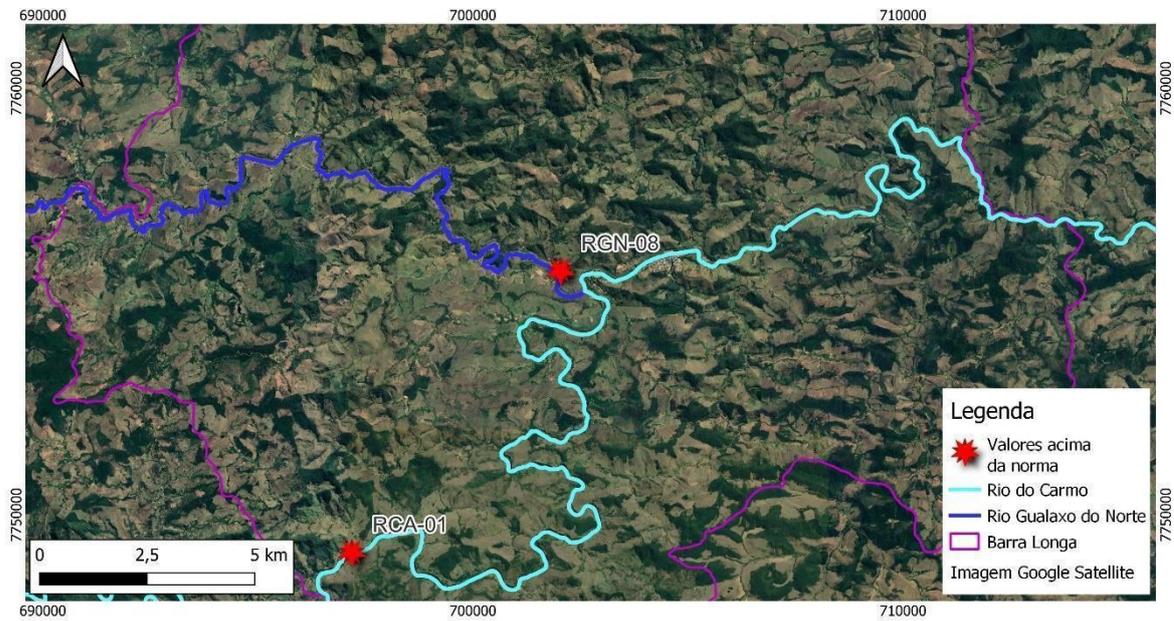
Figura 5.3: Disposição das anomalias de ferro para amostras de água.



Fonte: elaborada pelo autor.

Para amostras de sedimentos, no Rio do Carmo, valores acima da norma foram identificados nos meses de fevereiro, abril e de julho. No Rio Gualaxo do Norte valor acima do limite estabelecido foram identificados em outubro de 2017, junho de 2018 e agosto de 2019. Vale a observação de ser períodos de seca. Referente as amostras de sedimentos em suspensão, o ferro mostrou valores expressivos no rio do Carmo (RCA-01) em julho de 2020 e no Rio Gualaxo do Norte (RGN-08) em abril de 2018 (Figura 5.4).

Figura 5.4: Disposição das anomalias de ferro para amostras de sedimentos e sedimentos em suspensão.



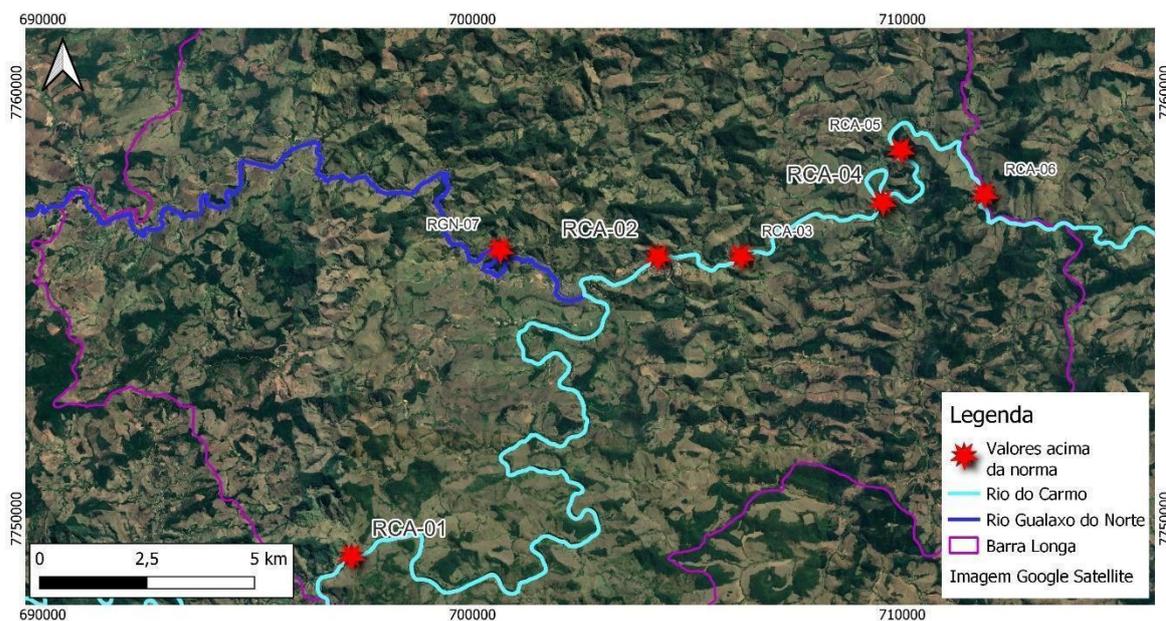
Fonte: elaborada pelo autor.

5.5 Manganês

O elemento manganês foi analisado na água e sedimentos.

Para água, apresentou valores acima da norma em quase totalidade dos dados aferidos para amostras do Rio do Carmo e do Rio Gualaxo do Norte (Figura 5.5).

Figura 5.5: Disposição das anomalias de manganês para amostras de água.



Fonte: elaborada pelo autor.

5.6 Mercúrio

O mercúrio foi analisado em amostras de água e em nenhuma amostra mostrou valores acima da norma permitida.

5.7 Carbono Orgânico Total

Há grandes variações nos valores de carbono orgânico total, mas é possível notar uma expressividade nos meses de novembro e de dezembro.

5.8 Zoobentos

Nas duas amostras analisadas, uma representando o Rio do Carmo e outra Gualaxo do Norte, ilustraram expressiva quantidade de zoobentos em dois picos específicos das análises, ambos em 2019: outubro e dezembro no Rio do Carmo (RCA-02) e outubro e dezembro no Rio Gualaxo do Norte (RGN-08).

5.9 Granulometria

Ao analisar as informações de granulometria, nota-se que no ano de 2018 a granulometria é de maioria areia fina para o mês de janeiro, aumentando para uma granulometria mais grossa no mês de junho, e diminuindo para argila no mês de novembro. Já no ano de 2019, o mês de junho é marcado por uma granulometria predominante de areia média. O ano de 2020 não segue os padrões de 2018 e mostra uma grande variação das proporções em relação aos meses, porém o que chama atenção são as acentuadas inflexões que o gráfico faz pontualmente no mês de janeiro.

Esse efeito marca muito bem os períodos de chuva (com maior granulometria) e os períodos com menos precipitação, com os sistemas com menos energia (e menor granulometria).

5.10 Discussões Gerais

Tem de ser considerada a altimetria para análise de granulometria, uma vez que a porção de retirada da amostra se trata de um local de planície de inundação, local propício para deposição de ferro, por exemplo, o que apresenta maiores concentrações nos meses de agosto, ilustrando que devido à baixa pluviosidade, permitindo que o material com maior densidade se deposite e se concentre. Isso possui relação, também, com fração de minerais com menor granulometria

Vale considerar que o aumento dos elementos que ficaram acima do valor de referência ocorre nos períodos de chuva e possui relação com os materiais que ficaram em deposição no leito, barrancos e planície de inundação são remobilizados nos períodos de chuva com aumento da granulometria, fluxo e oxigenação, visível pelo número de zoobentos inversamente a quantidade de carbono orgânico total.

É importante observar que o alto curso do rio corta rocha máfias/ultramáficas pertencente a Suíte Santa Rita, caracterizada por corpos ultramáficos metamorfoseados em fácies xisto-verde (Gonçalves *et al.* 2011) e diques (Gonçalves *et al.* 2011), com representação de esteatito (pedra-sabão) e o serpentinito (Jordt-Evangelista & Silva 2005). O curso dos rios analisados passa ainda por rochas do Grupo Nova Lima, marcado pela característica metavulcanosedimentares, podendo carrear materiais como ferro e manganês desses litotipos.

Pelo histórico de mineração de ouro na região, o alto índice de arsênio pode ter relação não ou não apenas com o rompimento da barragem, mas com o histórico de mineração de ouro da região desde o século XVII.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Considerando que geologicamente o alto curso do Rio Gualaxo do Norte e do Rio do Carmo se situam nos domínios de rochas supracrustais do Quadrilátero Ferrífero, anomalias de alguns elementos como ferro, bário e manganês podem ter influência das litologias que existem no alto curso dos rios.

No que tange ao elemento ferro em água e sedimentos, há anomalias expressivas que coincidem com períodos de maior pluviosidade (de setembro a março). Vale ressaltar também as anomalias de manganês. Devido ao rompimento da barragem, os rejeitos permaneceram na margem e fundo dos rios Gualaxo do Norte e Rio do Carmo, elevando ainda mais as concentrações de ferro e manganês e alguns metais associados a estes.

Referente ao elemento arsênio, não é possível ter uma relação diretamente proporcional com os altos índices desse elemento e com o rompimento da barragem, uma vez que a região possui histórico de mineração de ouro desde o século XVII, e o local de planície pode ter acumulado isso desde o início da extração do mineral com o método de garimpo. Para remediar o alto índice de arsênio, é recomendável um estudo do bioma local com a possibilidade de inserir espécies como a *Agrostis Castellana*, uma planta bioacumuladora de arsênio, reconstruindo a mata ciliar.

Os elementos com valores acima dos valores de referência afetam a comunidade existente de Barra Longa, sobretudo nos períodos de chuva em que os materiais são remobilizados no leito do rio. Isso causa implicações não apenas para o consumo de água, mas também para a irrigação de áreas agricultáveis e com captação de água do Rio Gualaxo do Norte e do afluente Rio Doce. Isso possui grande impacto no que tange a Geologia médica pois níveis elevados de arsênio, manganês, bário e ferro podem gerar complicações graves no organismo humano, como atingir o sistema nervoso, causar predisposição para diabetes, desenvolver dificuldade respiratória, alteração da pressão sanguínea, dores articulares e entre outros.

Além do aspecto social, o âmbito ambiental como esfera da biota também é prejudicado com esse processo, uma vez que o planeta está interligado. As contaminações nas águas podem atingir seres humanos e animais, como também plantas, o que interfere no ciclo de todos os seres vivos da Terra.

As distribuições temporais (sazonalidade) para os elementos que apresentaram anomalias, para sedimentos em suspensão e para carbono orgânico total possuem certa similaridade. Nas secas, concentrações desses elementos e de argilominerais é superior à de períodos chuvosos, devido à capacidades de diluição/dispersão com a entrada de grandes volumes de água no sistema.

As análises estatísticas de correlação realizadas mostraram que para a água o aumento nos valores de arsênio impacta no aumento dos valores dos elementos cobre, bário e manganês. A queda do elemento bário impacta na queda dos valores do elemento manganês e o aumento nos seus valores impacta o aumento dos valores dos elementos mercúrio, níquel e zinco. A queda no elemento cobre impacta na queda dos valores dos elementos mercúrio e o aumento nos seus valores impacta no aumento dos valores do elemento níquel. E por fim, o aumento nos valores do elemento manganês impacta no aumento dos valores do elemento zinco. Para sedimentos percebe-se apenas uma correlação significativa, sendo essa entre os elementos bário e manganês, onde o aumento nos valores de um, impactam no aumento nos valores do outro.

Processos de mineração ferro e garimpo de ouro aumentam a liberação de elementos potencialmente tóxicos, tornando-os disponíveis para água, solos e sedimentos. Como o rio recebeu um volume grande de rejeitos com minerais adsorventes de arsênio, entre os quais estão argilominerais, óxidos de ferro e óxidos de manganês, aumenta-se a dispersão desses elementos na corrente de água, fazendo com que sejam levados por sedimentos em suspensão inclusive para jusante, ou seja, podendo chegar em outras bacias, sendo motivo de grande preocupação ambiental.

A continuidade do monitoramento é essencial para a recuperação da bacia hidrográfica e para a mitigação dos efeitos negativos do desastre. Futuros estudos podem se concentrar em avaliar estratégias de remediação e na implementação de políticas públicas eficazes para garantir a segurança da população local e a preservação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Nacional de Águas (ANA). Planos de Bacia. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/planos-de-bacia>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- Aguilar, C.; Alkmim, F. F.; Lana, C.; Farina, F. P. Palaeoproterozoic Assembly of the São Francisco Craton, SE Brazil: New Insights from U–Pb Titanite and Monazite Dating. *Precambrian Research*, 2017, v. 289, p. 95–115.
- Alkmim, F. F.; Marshak, S. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: Evidence for Paleoproterozoic Collision and Collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 1998, v. 90, n. 1-2, p. 29-58.
- Baltazar, O. F.; Zucchetti, M. Lithofacies Associations and Structural Evolution of the Archean Rio das Velhas Greenstone Belt, Quadrilátero Ferrífero, Brazil: A Review of the Setting of Gold Deposits. *Ore Geology Reviews*, 2007, v. 32, n. 3-4, p. 471-499.
- Barbosa, S. E. S.; et al. Geração de Modelos de Regionalização de Vazões Máximas, Médias de Longo Período e Mínimas de Sete Dias para a Bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2005, v. 10, n. 1, p. 64-71.
- Brasil. Laudo Técnico Preliminar: Impactos Ambientais Decorrentes do Desastre Envolvendo o Rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, 2015. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf. Acesso em: 30 dez. 2022.
- Brasil. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a Classificação dos Corpos d'Água e os Padrões de Qualidade e Estabelece as Diretrizes para o Controle da Poluição das Águas. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2005.
- Brasil. Resolução CONAMA n° 454, de 1° de novembro de 2012. Estabelece Diretrizes para o Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Dá Outras Providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2012.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2022/02/Bario.pdf>
- Coelho, A. L. N. Alterações Hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES. Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007. 227 p.
- Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CBH). A Bacia. Disponível em: <http://www.cbhdoce.org.br/institucional/a-bacia>. Acesso em: 02 jan. 2022.

<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=102255> Acesso em: 02 out. 2024.

Costa, A. T. Geoquímica das Águas e dos Sedimentos da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, Leste-Sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG): Estudo de uma Área Afetada por Atividade de Extração Mineral. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2001. 146 p.

Costa, A. T.; Nalini Jr., H. A.; Lena, J. C.; Friese, K.; Mages, M. Surface Water Quality and Sediment Geochemistry in the Gualaxo do Norte Basin, Eastern Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. *Environmental Geology*, 2003, v. 45, n. 2, p. 226-235.

Da Silva Gonçalves, L. E.; et al. Geometria, Petrografia e Deformação de Corpos Ultramáficos Metamorfisados da Região de Santa Rita de Ouro Preto, MG, Brasil. *Geonomos*, 2011.

De Andrade, T. C. G. Impactos Socioambientais Decorrentes do Rompimento da Barragem de Fundão no Município de Barra Longa, Minas Gerais. 2018.

De Lima Rodrigues, A. S. Efeitos da Exposição ao Arsênio na Saúde Humana. *Saúde.com*, 2008, v. 4, n. 2, p. 148-159. Disponível em:
<https://periodicos2.uesb.br/index.php/rsc/article/view/133>.

De Loczy, L.; Ladeira, E. A. *Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica*. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1976.

Dorr, J. V. N. *Physiographic, Stratigraphic, and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. US Government Printing Office, 1969.

Endo, I.; et al. *Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000: Uma Celebração do Cinquentenário da Obra de Dorr (1969)*. Ouro Preto: Departamento de Geologia da Escola de Minas–UFOP-Centro de Estudos Avançados do Quadrilátero Ferrífero, 2019.

EPA RLS (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos)
<https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls> Acesso em: 02 out. 2024.

Guerra, T. C. A. Impactos Socioambientais Decorrentes do Rompimento da Barragem do Fundão no Município de Barra Longa, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Cidades* [online]. Disponível em:
<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>. Acesso em: 02 jan. 2023.

Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais (IEPHA). Dossiê de Tombamento do Conjunto Paisagístico Encontro dos Rios do Carmo e Gualaxo do Norte. 2007.

Lima, L. L.; Lima, L. P.; Ferreira, R. L. Manganês: Importância e Problemas Associados. 53º Congresso Brasileiro de Química, Rio de Janeiro/RJ, 14 out. 2013.

Lopes, L. M. N. O Rompimento da Barragem de Mariana e Seus Impactos Socioambientais. *Sinapse Múltipla*, 2016, v. 5, n. 1, p. 1-14.

Marcuzzo, F. F. N.; et al. Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Doce. 2011.

Ministério Público de Minas Gerais (MPMG). Disponível em: <https://www.mpmg.mp.br/portal/menu/comunicacao/noticias/rompimento-da-barragem-de-fundao-em-mariana-resultados-e-desafios-cinco-anos-apos-o-desastre.shtml>

Noce, C. M. Geocronologia dos Eventos Magmáticos, Sedimentares e Metamórficos na Região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 1995.

Reis, L. A.; Neto, M. A. M.; Gomes, N. S.; Endo, I.; Evangelista, H. J. A Bacia de Antepaís Paleoproterozóica Sabar., Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 2002, v. 32, p. 27-42.

Renova, Fundação. Mais que Erguer Casas, Reassentar é Construir Lares. Disponível em: <https://revistadoisPontos.org/caminhos/>. Acesso em: 02 jan. 2022.

Rodrigues, A. S. L.; et al. Adequação e Avaliação da Aplicabilidade de um Protocolo de Avaliação Rápida na Bacia do Rio Gualaxo do Norte, Leste-Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, 2012, v. 7, n. 2, p. 231-244.

Schetini, A. T. Espécies Acumuladoras de Metais Influenciam a Composição Química do Solo e a Composição de Espécies em Campos Ferruginosos? Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015. 74 p.

Souza, L. A.; Sobreira, F. G.; Prado-Filho, J. F. Cartografia e Diagnóstico Geoambiental Aplicados ao Ordenamento Territorial do Município de Mariana-MG. *Revista Brasileira de Cartografia*, 2005, v. 57, n. 3, p. 189-204.

Uhlein, A.; Noce, C. A. Quadrilátero Ferrífero. In: CARNEIRO, C. D. R.; HASUI, Y.; BARTORELLI, A. (Orgs.). *Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca, 2012. v. 1, p. 228–235.