



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

Barbara Tharyni Rodrigues Sousa

**O Lago da Represa Retiro Baixo, Rio Paraopeba-MG: uma abordagem químico-ambiental três anos após o rompimento em Brumadinho**

**Nº237**

**Belo Horizonte  
DATA 29/08/2022**

Barbara Tharyni Rodrigues Sousa

**O Lago da Represa Retiro Baixo, Rio Paraopeba-MG: uma abordagem químico-ambiental três anos após o rompimento em Brumadinho**

**Versão Final**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geologia.  
Orientador: Prof. Dr. Adolf Heinrich Horn  
Coorientador: Prof. Dr. Hernando Baggio Filho

Belo Horizonte  
2022

S725I  
2022

Sousa, Barbara Tharyni Rodrigues.

O Lago da Represa Retiro Baixo, Rio Paraopeba-MG [manuscrito] : uma abordagem químico-ambiental três anos após o rompimento em Brumadinho / Barbara Tharyni Rodrigues Sousa. – 2022.  
84 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientador: Adolf Heinrich Horn.

Coorientador: Hernando Baggio Filho.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2022.

Área de concentração: Geologia Econômica e Aplicada.

Bibliografia: f. 77-80.

Inclui apêndices.

1. Poluentes – Teses. 2. Reservatório – Sedimentação – Paraopeba, Rio (MG) – Teses. 3. Água – Qualidade – Paraopeba, Rio (MG) – Teses. 4. Paraopeba, Rio (MG) – Barragem – Teses. I. Horn, Adolf Heinrich. II. Baggio Filho, Hernando. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Sampaio. IV. Título.

CDU: 550.4(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA DO IGC-UFMG



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**O Lago da Represa Retiro Baixo, Rio Paraopeba-MG: uma abordagem químico-ambiental três anos após o rompimento em Brumadinho**

### **BARBARA THARYNI RODRIGUES SOUSA**

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA ECONÔMICA E APLICADA, pelo Programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

Aprovada em 29 de agosto de 2022, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Adolf Heinrich Horn – Orientador  
UFMG

Prof. Paulo Henrique Ferreira Galvão  
UFMG

**Hubert Roeser**

Assinado de forma digital por  
Hubert Roeser  
Dados: 2022.09.06 07:16:38  
-03'00'

Prof. Hubert Mathias Peter Roeser  
UFOP

Belo Horizonte, 29 de agosto de 2022.

Este trabalho é dedicado aos meus pais,  
minha irmã e meus amigos, que vêm me  
auxiliando a ser uma pessoa melhor.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, quero agradecer ao pai superior, Deus e ao Mestre Gabriel, meus guias espirituais que vêm me dando força para superar os desafios e para minha evolução;

A meus pais, agradeço o incentivo e o apoio de todas as formas que só vocês poderiam dar, emocionalmente e profissionalmente, especialmente meu pai, que também me auxiliou como professor em momentos difíceis,

A minha irmã, todo o meu carinho, de coração, por ter me auxiliado da forma que pode e estado comigo em momentos que pensei em desistir. Grata pelo humor e por lavar a louça em momentos que era minha vez de lavar.

Agradeço também a meu orientador, Professor Horn, pela paciência e por todos os aprendizados que recebi dele.

Agradeço a Pós-Graduação de Geologia pelo amparo financeiro e incentivo a pesquisa, lugar de trabalho.

Ao Gustavo Filemon, pelos ensinamentos de estatística e discussões sobre os resultados.

Ao William Viegas, secretário da pós-graduação, pelo auxílio e dúvidas esclarecidas.

Ao William Fonseca, técnico do Núcleo de Geoquímica Ambiental pelas análises com ICP-OES.

Ao Fernando César, técnico do laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos pelo auxílio técnico laboratorial.

Aos meus amigos, que me auxiliaram de diversas formas, e em especial a Gabriela Moreira, que me auxiliou na preparação das amostras e pelas horas de conversas.

A Lana Melo, que me auxiliou na formatação do trabalho.

Agradeço a FAPEMIG e CAPES pelo apoio financeiro e à UFMG, à Pró-reitora de Pós-graduação (PRPg) da UFMG e o Programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências (IGC) da UFMG; CNPq, CAPES ou FAPEMIG, além de outras agências, empresas e/ou órgãos, que concederam bolsas de estudo e/ou auxiliaram com recursos financeiros (parcial ou integral) para o desenvolvimento da dissertação.

Aos demais que fizeram parte dessa jornada.

“Se avexe não, toda caminhada começa no primeiro passo...” (NOGUEIRA, 2004)

## RESUMO

A composição de um corpo d'água possui características que representam indicativos da saúde do ecossistema. Na bacia do rio São Francisco, no curso do rio Paraopeba encontra-se a Usina Hidrelétrica de Retiro Baixo, atingida pelo acidente ambiental do rompimento da barragem de Brumadinho. Este trabalho tem por objetivo avaliar a situação da água e do sedimento na represa 3 anos após o desastre do Rio Paraopeba. A amostragem foi realizada em 65 pontos para água e 15 pontos para sedimentos, e ocorreu em outubro/2021. Os parâmetros físico-químicos não conservativos foram determinados in situ: temperatura, potencial hidrogênionico, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, total de sólidos dissolvidos, potencial óxido-redução. Na água coletada foram medidas em laboratório a concentração dos seguintes metais: Fe; Al, Mg, Ca, Mn, Cr, Cu, Co, Cd, Ni, Pb, Zn, Ba, Ti. Na fração fina dos sedimentos. Os sedimentos foram (<0,063mm), após extração parcial com HNO<sub>3</sub>, (método USEPA- 3051a) foram obtidas a concentração dos seguintes metais: Fe; Al, Mg, Ca, Mn, Cr, Cu, Co, Cd, Ni, Pb, Zn, Ba, Ti por ICP-OES. Os teores de EPT foram comparados com valores de legislação ambiental de água (CONAMA 357/2005), e de sedimentos (CONAMA 454/2012). De modo geral, a represa apresenta valores de qualidade ambientais apropriadas, com pequenos pontos de atenção que podem indicar fontes locais de poluição, contudo a região apresenta boas condições naquele ambiente.

**Palavras-chave:** Elementos Potencialmente Poluentes. UHE Retiro Baixo. Sedimentos. Água.



## ABSTRACT

The composition of a water body has characteristics that represent indicators of the health of the ecosystem. In the basin of the São Francisco River, during the Paraopeba River, there is the Retiro Baixo Hydroelectric Power Plant, which was affected by the environmental accident caused by the rupture of the Brumadinho dam. This work aims to evaluate the water and sediment situation in the dam 3 years after the Rio Paraopeba disaster. Sampling was carried out at 65 points for water and 15 points for sediment and took place in October/2021. Non-conservative physicochemical parameters were determined in situ: temperature, hydrogen potential, electrical conductivity, dissolved oxygen, total dissolved solids, oxidation-reduction potential. In the collected water, the concentration of the following metals was measured in the laboratory: Fe; Al, Mg, Ca, Mn, Cr, Cu, Co, Cd, Ni, Pb, Zn, Ba, Ti. In the fine fraction of the sediments. The sediments were (<0.063mm), after partial extraction with HNO<sub>3</sub>, (USEPA-3051a method) the concentration of the following metals was obtained: Fe; Al, Mg, Ca, Mn, Cr, Cu, Co, Cd, Ni, Pb, Zn, Ba, Ti by ICP-OES. The EPT's contents were compared with values of environmental legislation for water (CONAMA 357/2005), and sediment (CONAMA 454/2012). In general, the dam presents appropriate environmental quality values, with small points of attention that may indicate local sources of pollution, however the region presents good conditions in that environment.

**Keywords:** Potentially Polluting Elements. UHE Retiro Baixo. Sediments. Water.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Modelo sistemático dos processos que regulam as concentrações em água e sedimento em um sistema. ....	15
Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo. ....	19
Figura 3 – (A) UHE Retiro Baixo vista de cima. (B) Vertedouro da UHE. ....	20
Figura 4 - Compartimentação geológica de Minas Gerais. O quadrado vermelho evidencia aproximadamente a área de estudo. ....	21
Figura 5 - Coluna Estratigráfica do Grupo Bambuí .....	22
Figura 6 - Geologia da área de estudo.....	24
Figura 7 – Variação pluviométrica e da temperatura representativa da região de Felixlândia/MG. ....	25
Figura 8 - A área de estudo está inserida no bioma cerrado arbustoso e campo aberto com pequenas ocorrências de mata de galeria nas partes pantanosas do lago.....	27
Figura 9 - Bacias hidrográficas de Minas Gerais. O quadrado vermelho representa aproximadamente onde a área de estudo está inserida .....	28
Figura 10 - Geomorfologia da área de estudo. ....	29
Figura 12 – (A) Solo encontrado na barragem. (B) Sedimento da margem do lago. ....	31
Figura 13 - Mapa de Uso de Solo. ....	32
Figura 14 - A - Atividades de pesca no lago. B - Morador pescando.....	33
Figura 15 - Metodologia aplicada a pesquisa.....	45
Figura 16 - Mapa de amostragem. ....	47
<b>Figura 17</b> - Sonda multiparâmetro HANNA HI98194 para leituras de campo. ....	49
Figura 18 - Valores de pH. ....	54
Figura 19 - Valores de Temperatura .....	54
Figura 20 - Valores de oxigênio dissolvido.....	55
Figura 21 - Condutividade Elétrica. ....	56
Figura 22 - Valores de ORP. ....	56
Figura 23 - Gráfico de Eh/pH. ....	57
Figura 24 Concentrações de Magnésio .....	58
Figura 25 - Distribuição espacial das concentrações de Magnésio .....	59
Figura 26 - Concentrações de Cálcio.....	60
Figura 27 - Distribuição espacial dos teores de Cálcio .....	60
Figura 28 - Valores de ferro dissolvido.....	61
Figura 29 - Distribuição espacial de ferro.....	62
Figura 30 - Concentração de Magnésio nos sedimentos.....	65
Figura 32 - Concentração de Cálcio nos sedimentos .....	66
Figura 33 - Concentração de Cobalto nos sedimentos .....	67
Figura 34 - Concentração de Bário nos sedimentos .....	67
Figura 35 - Concentração de Cobre nos sedimentos.....	68
Figura 36 - Concentração de Titânio nos sedimentos.....	69
Figura 37 - Concentração de Manganês nos sedimentos.....	69
Figura 38 - Concentração de Zinco nos sedimentos.....	70
Figura 39 - Concentração de Chumbo nos sedimentos.....	71

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Classificação de Toxicidade de elementos selecionados. Alguns elementos podem aparecer em várias classes (Ex.: Mn) e não foram incluídos pelos autores.	<b>39</b>
Tabela 2 - Limites de detecção .....	<b>51</b>
Tabela 3 - Sumário estatístico dos dados físico-químicos. ....	<b>53</b>

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ATDRS – *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*  
CBHSF Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco  
CE - Condutividade Elétrica  
CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CPMTC - Laboratório de Geoquímica Ambiental do Centro de Pesquisas Manoel Teixeira da Costa  
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Naturais  
Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EPP – Elementos Potencialmente Poluentes  
EPT – Elementos Potencialmente Tóxicos  
GD - Grau de Detecção  
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICP OES - Espectrometria de Emissão Óptica com plasma indutivamente acoplado  
IDW - Inverse Distance Weighted  
IGAM - Instituto de Águas de Minas Gerais IGC Instituto de Geociências  
LD - Limite de detecção m - Metros  
MG - Minas Gerais  
mg/L - Miligrama por litro  
OD - Oxigênio dissolvido  
ORP - Potencial de Oxidação - redução  
PACUERA - Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial  
pH - Potencial Hidrogeniônico  
T°C - Temperatura  
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais  
UHE – Usina Hidroelétrica  
USEPA- 3051<sup>a</sup> – *U.S Environmental Protection Agency*  
µg/L - Micrograma por litro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>16</b>
1.1.1	Objetivo Geral .....	16
1.1.2	Objetivos Específicos .....	16
<b>1.2</b>	<b>Trabalhos anteriores</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Acesso e localização</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Geologia regional</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3</b>	<b>Geologia local</b> .....	<b>23</b>
<b>2.4</b>	<b>Aspectos fisiográficos</b> .....	<b>25</b>
2.4.1	Aspectos climáticos .....	25
2.4.2	Aspectos vegetacionais .....	26
2.4.3	Aspectos hidrográficos .....	27
2.4.4	Geomorfologia .....	28
2.4.5	Pedologia .....	29
2.4.6	Uso do solo .....	31
<b>3</b>	<b>PARAMETROS QUALIDADE DA ÁGUA E Composição química dos sedimentos</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Parâmetros de qualidade da água</b> .....	<b>34</b>
3.1.1	Legislação brasileira .....	34
<b>3.2</b>	<b>Parâmetros físico-químicos</b> .....	<b>35</b>
3.2.1	Cor .....	35
3.2.2	Temperatura .....	35
3.2.3	Turbidez .....	35
3.2.4	Condutividade elétrica .....	36
3.2.5	Potencial hidrogênico (pH) .....	36
3.2.6	Oxigênio dissolvido .....	37
3.2.7	ORP – Potencial de oxidação – redução .....	37
<b>3.3</b>	<b>Características dos metais pesados</b> .....	<b>38</b>
3.3.1	Magnésio .....	39
3.3.2	Cálcio .....	39
3.3.3	Ferro .....	40
3.3.4	Alumínio .....	40
3.3.5	Manganês .....	41
3.3.6	Cromo .....	41

3.3.7	Bário .....	41
3.3.8	Cobre.....	42
3.3.9	Cobalto .....	42
3.3.10	Cádmio .....	42
3.3.11	Níquel .....	43
3.3.12	Zinco.....	43
3.3.13	Chumbo.....	43
3.3.14	Titânio.....	44
<b>3.4</b>	<b>Mobilidade de EPT no Ambiente Água - Sedimento .....</b>	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Gabinete - Trabalhos Iniciais .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Amostragem .....</b>	<b>46</b>
4.2.1	Planejamento .....	46
4.2.2	Amostragem de água e sedimentos.....	47
4.2.3	Transporte .....	48
4.2.4	Leituras <i>in situ</i> .....	48
4.2.5	Amostragem de sedimentos.....	49
4.2.6	Tratamento das Amostras .....	49
<b>4.3</b>	<b>Gabinete final.....</b>	<b>51</b>
4.3.1	Análise descritiva dos dados.....	51
4.3.2	Análise espacial dos dados.....	52
<b>5</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>53</b>
<b>5.1</b>	<b>Água .....</b>	<b>53</b>
5.1.1	Dados físico-químicos da água .....	53
5.1.2	Potencial hidrogeniônico (pH) .....	53
5.1.3	Temperatura .....	54
5.1.4	Oxigênio dissolvido .....	54
5.1.5	Condutividade elétrica.....	55
5.1.6	Potencial de oxidação redução .....	56
<b>5.2</b>	<b>EPT nas águas superficiais do lago .....</b>	<b>57</b>
5.2.1	Magnésio dissolvido .....	58
5.2.2	Cálcio dissolvido.....	59
5.2.3	Ferro Dissolvido .....	61
<b>5.3</b>	<b>Sedimentos .....</b>	<b>62</b>
5.3.1	EPT nos sedimentos .....	62
5.3.2	Magnésio.....	64

5.3.3	Alumínio .....	65
5.3.4	Cálcio .....	66
5.3.5	Cobalto .....	66
5.3.6	Bário .....	67
5.3.7	Cobre.....	68
5.3.8	Titânio.....	68
5.3.9	Manganês.....	69
5.3.10	Zinco.....	70
5.3.11	Chumbo.....	70
<b>6</b>	<b>. Discussão .....</b>	<b>72</b>
<b>7</b>	<b>Considerações finais .....</b>	<b>75</b>
	<b>Referências .....</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE A – Dados sobre as Amostras.....</b>	<b>81</b>
	<b>APENDICE B - Valores Físico-químicos <i>in situ</i>.....</b>	<b>82</b>
	<b>APENDICE C – Valores de EPT's nas amostras de água. ....</b>	<b>83</b>
	<b>APENDICE D – Valores de EPT's nas amostras de sedimento.....</b>	<b>84</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A geoquímica ambiental é um ramo da geologia que estuda os processos geoquímicos da antroposfera, as divisões terrestres geoquímicas produzidas pela ação dos seres humanos e suas influências geoquímicas na terra (ROHDE, 2013). Dentre as aplicações que a geoquímica ambiental possui, a hidrogeoquímica é a aplicação dessa ciência nas águas superficiais e subterrâneas (ROHDE, 2013).

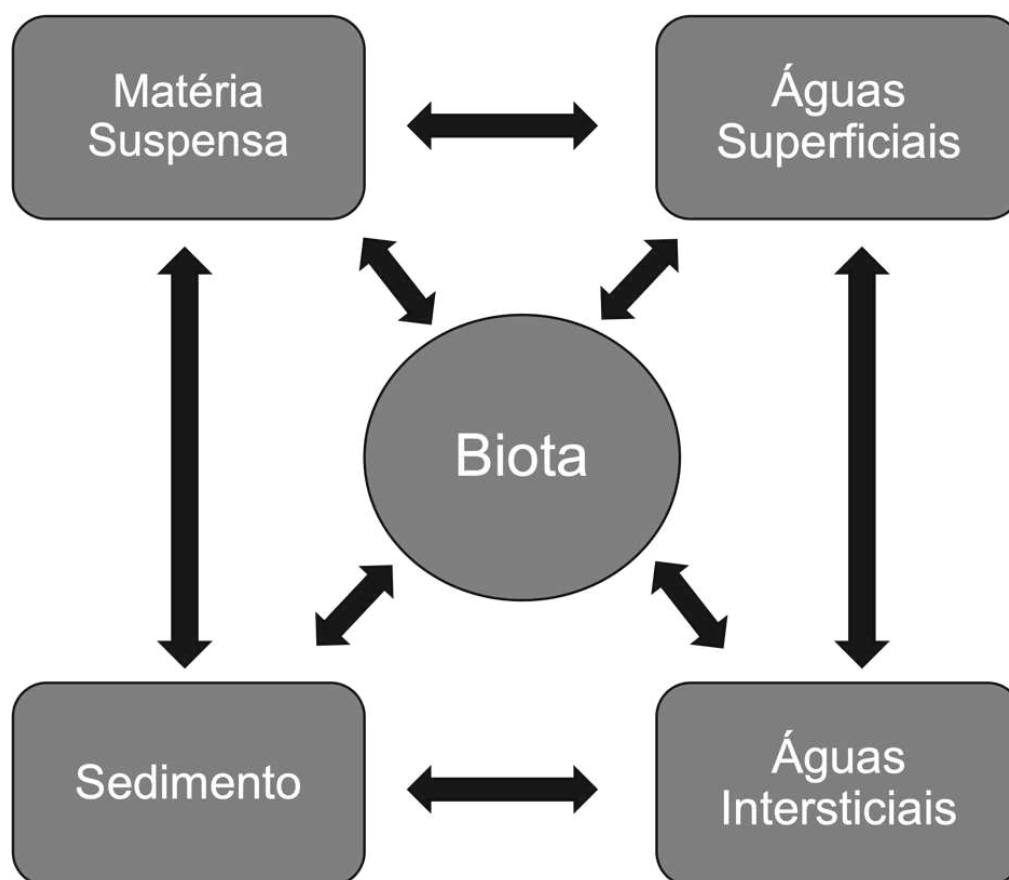
Os elementos químicos são naturalmente encontrados na natureza, em suas respectivas quantidades necessárias para um ciclo geoquímico equilibrado e decorrem de uma evolução desde o pré-cambriano. Os metais pesados, ou metais traços estão localizados próximo ao meio e topo da tabela periódica, com densidades altas quando comparados a materiais comuns (BAIRD e CANN, 2011). Costumam ser transportados via atmosfera, e tendem a serem introduzidos nas águas de grandes lagos pela deposição a partir de dissolução causada pelo intemperismo e atividades vulcânicas. Segundo HOODA (2010) o termo “Metais pesados” está sendo substituído em textos mais atuais pelo termo Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT), para maior abrangência do termo.

A situação de um corpo d'água possui características que representam indicativos da saúde de um ecossistema. Com a variação dessas circunstâncias específicas, pode-se identificar indicativos de mudanças no meio aquático daquele ambiente. Esses registros são específicos, pois indicam a quantidade de elementos químicos possivelmente geodisponíveis, tanto para a biota quanto para o sistema físico-natural (GUEDES, 2012).

Os sedimentos possuem a capacidade de absorver e liberar elementos químicos transportados e presentes na forma sólida, coloidal e dissolvida. A elevação dos níveis de metais em reservatórios pode ser mostrada por suas concentrações em sedimentos de fundo (LOSKA e WIECHULA, 2003). A relação entre a concentração dos EPT na água e no sedimento é um processo químico de equilíbrio, determinado por parâmetros físico-químicos como pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, temperatura e pela disponibilidade de capacidade de retenção nos sedimentos. Uma descrição aproximada do comportamento de EPT em ambientes aquáticos é apresentada na figura 1.



**Figura 1** - Modelo sistemático dos processos que regulam as concentrações em água e sedimento em um sistema.



Fonte: Adaptado de SALOMONS e FÖRSTNER (1984).

Os sedimentos dos lagos refletem a história da poluição por metais e o estudo das concentrações de metais ao longo de seu volume, e são utilizados para elucidar a história da poluição dos lagos (SALOMONS e FÖRSTNER, 1984). No entanto, o lago de uma represa, pôr se tratar de um ecossistema lacustre artificial, apresenta certa distinção dos lagos naturais, o que deve ser levado em consideração nos seus estudos. Segundo Esteves (1998), uma característica das represas é a grande variação do nível d'água que pode ocorrer em pouco tempo, em função das necessidades de uso da água de uma usina. Com a construção de usinas, ocorrem algumas mudanças no meio ambiente do local e do rio, como alterações na biota, assoreamento do leito das represas e erosão do leito dos rios a jusantes, e retenção e homogeneização da composição química da água.

Em 2019, houve um desastre ambiental de grandes proporções causado pela ruptura da barragem do Córrego do Feijão, em Brumadinho-MG, que levou a óbito

diretamente de aproximadamente 295 pessoas e que despejou grandes quantidades de rejeito de minério de ferro pelo córrego do Fundão para o rio Paraopeba. A Usina Hidrelétrica Retiro Baixo, situada no rio Paraopeba a 383 km do local (IGAM, 2019), foi temporariamente desligada para barrar um possível fluxo destes sedimentos antes que pudessem chegar ao rio São Francisco. Diante do exposto o presente estudo se propôs a avaliar a situação da água e sedimentos a partir de uma abordagem geoquímica no lago do reservatório da UHE de Retiro Baixo, rio Paraopeba-MG após um período de três anos decorrentes do desastre do córrego do Fundão, Brumadinho-MG.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Avaliar a situação da água e do sedimento na represa 3 anos após o desastre do Rio Paraopeba para discussão da atual qualidade ambiental do lago.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Determinar a distribuição de elementos selecionados e propriedades físico-químicas em amostras de água e sedimento do reservatório;
- Caracterizar os sedimentos e água com base em suas propriedades texturais e físico-químicas, sendo estes: pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, potencial de oxidação-redução;
- Comparar os dados físico-químicos da água do reservatório com os parâmetros legais previstos pelo CONAMA;
- Discriminar as possíveis fontes dos EPT selecionados, associando com distúrbios antropogênicos e com as perturbações causadas pelo derramamento de lama ocorrido em Brumadinho no ano de 2019.
- Avaliar e discutir o estado atual da qualidade ambiental do lago baseado nas condições físico-químicas da água e dos sedimentos.

## **1.2 Trabalhos anteriores**

Existem poucos trabalhos com abordagem geoquímica desenvolvidos especificamente na região da UHE Retiro Baixo, por se tratar de uma construção relativamente nova, finalizada em 2010. A UHE Retiro Baixo está localizada próximo

ao município de Felixlândia, a aproximadamente a 5 km de distância do remanso da UHE Três Marias, nas coordenadas de 18° 53 '40"S 44° 46' 54"W (<http://www.rbe.com.br>).

Estão disponíveis na literatura cerca de 9 trabalhos tratando de estudos específicos realizados na área de estudo, conforme relacionados a seguir:

- O Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial – PACUERA (LIMIAR, 2012), em que visou indicar os principais tipos de usos que poderiam ser desenvolvidos no reservatório e seu entorno, possibilitando a integração do público usuário com o novo ambiente, realizando assim um mapeamento no entorno da represa.
- Fernandes et al. (2021) publicaram um trabalho com dados de monitoramento do Instituto de Águas de Minas Gerais (IGAM), os quais se referem em uma nota técnica científica, resultados da qualidade das águas superficiais do rio Paraopeba.
- Porto (2017), abordou o estudo de configurações de motores de hidrelétricas aplicadas a UHE Retiro Baixo.
- Abordando metodologia, na bacia do Rio São Francisco, mais especificamente na Represa de Três Marias, destacam-se 3 estudos de alunos da “*Fachhochschule München*”, e os trabalhos de Baggio (2008) e Trindade (2010).
- Bento (2020), realizou uma análise geoquímica ambiental multielementar na caracterização da qualidade da água superficial do lago da barragem de três marias-mg: contribuições naturais e antropogênicas para as concentrações e distribuições dos parâmetros de qualidade de água;
- Ribeiro (2010), avaliou a presença e os níveis de concentração de metais pesados no Rio São Francisco a jusante da represa de Três Marias e montante do Rio das Velhas, investigando as possíveis fontes naturais e influências das atividades antropogênicas na qualidade da água;
- Lima (2020) realizou a quantificação e avaliação da concentração e a dinâmica dos elementos químicos nos sedimentos de fundo da represa de Três Marias, na Bacia do rio São Francisco.

O IGAM, Instituto de Águas de Minas Gerais realiza monitoramentos nas águas do Rio Paraopeba após o desastre ambiental em Brumadinho para o acompanhamento da qualidade da água na região, e como produto desse monitoramento, existem notas técnicas da região em períodos diferentes (<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br>).

A CPRM, Serviço Geológico do Brasil, realizou o mapeamento geológico da Folha Morro da Garça (SE.23-Z-A-IV), na qual a área de estudo está inserida (<http://www.cprm.gov.br/publique/Recursos-Minerais>).

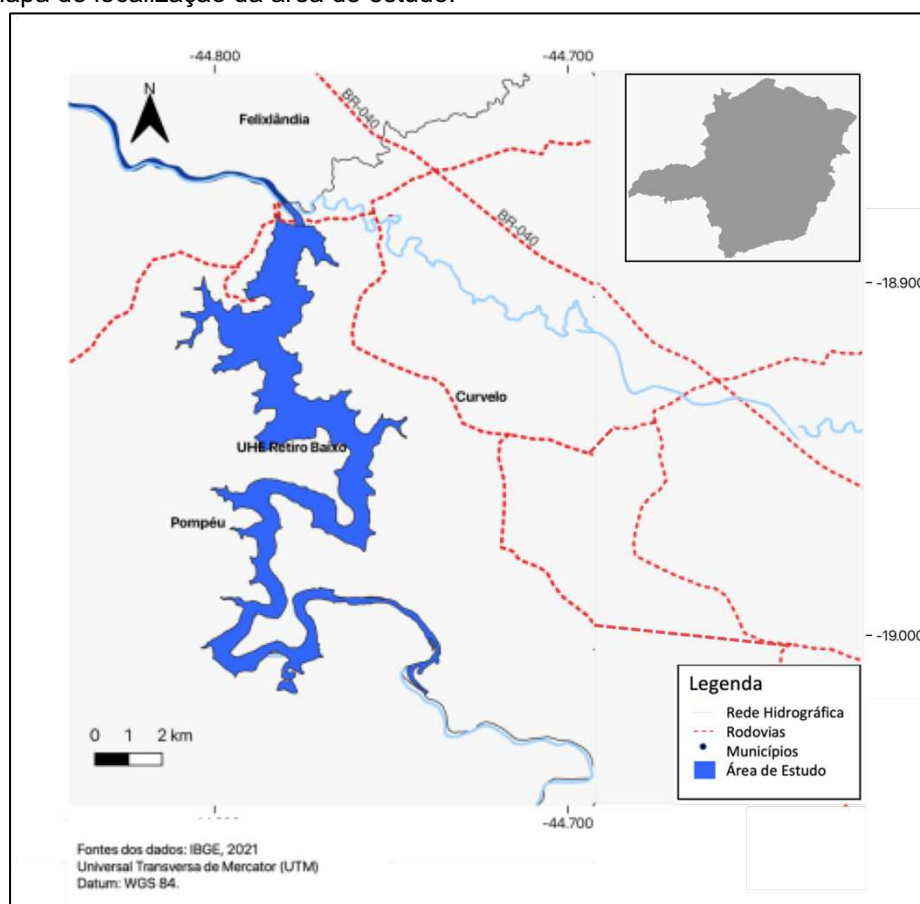
## 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 Acesso e localização

O principal acesso à região de estudo, a partir de Belo Horizonte, é via rodovia BR 040, numa distância de 170 km entrando a oeste na BR-040, seguindo ruas não pavimentadas. A área de estudo, a usina hidrelétrica de Retiro Baixo está localizada no estado de Minas Gerais, na interseção dos municípios de Curvelo, Felixlândia e Pompéu, no rio Paraopeba cerca de 20 km a montante do Lago Três Marias, como mostrado na Figura 2.

O lago é situado nas coordenadas  $18^{\circ} 53' 40''\text{S}$   $44^{\circ} 46' 54''\text{W}$ , (e na a Folha Morro da Garça (SE.23-Z-A-IV), segundo o Relatório Técnico do Serviço Geológico do Brasil (KUCHENBECKER, 2014).

Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: IBGE (2021).

Figura 3 – (A) UHE Retiro Baixo vista de cima. (B) Vertedouro da UHE.



Fonte: Acervo fotográfico do Autor (2021)

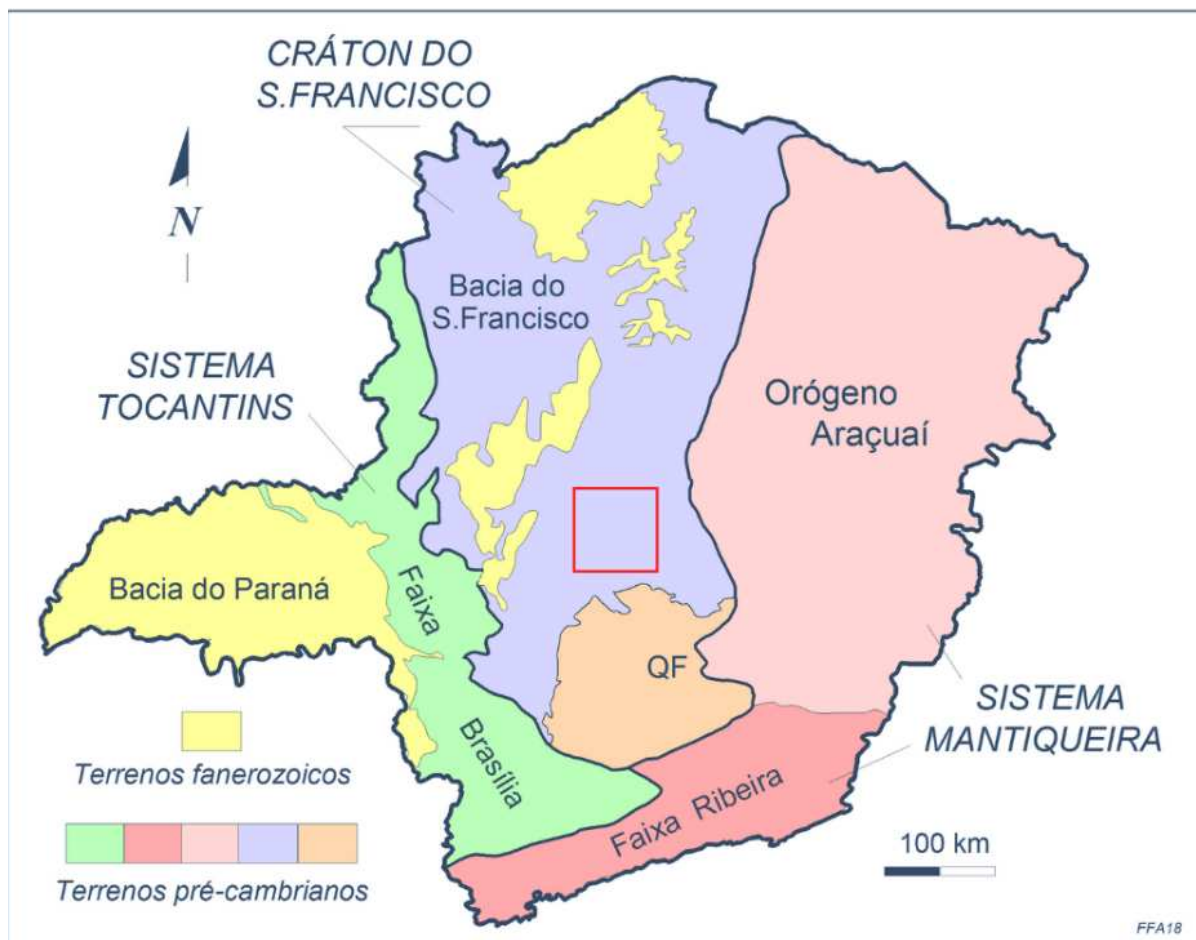
O barramento foi construído pela empresa Retiro Baixo Energética S/A (RBE), formada por Cemig, Furnas e Orteng, entre o período de 2007-2010, e está em operação com potência instalada de 82 MW desde então (Figura 3).

O acesso pela barragem só é permitido durante a semana, pois durante o dia de domingo a passagem para acesso a UHE é fechada para a realização de manutenção preventiva.

## 2.2 Geologia regional

A geologia do estado de Minas Gerais é muito diversificada, contendo entre outros o Quadrilátero Ferrífero, fonte de recursos minerais de extrema importância para Minas Gerais e para o Brasil, a Serra do Espinhaço e a bacia do rio São Francisco. A divisão geológica de Minas Gerais abrange o embasamento representado por parte do Cráton São Francisco, e dos sistemas brasileiros Mantiqueira e Tocantins, além das coberturas sedimentares de idade fanerozoica, como mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Compartimentação geológica de Minas Gerais. O quadrado vermelho evidencia aproximadamente a área de estudo.



Fonte: Adaptado de ALKIMIM (2018)

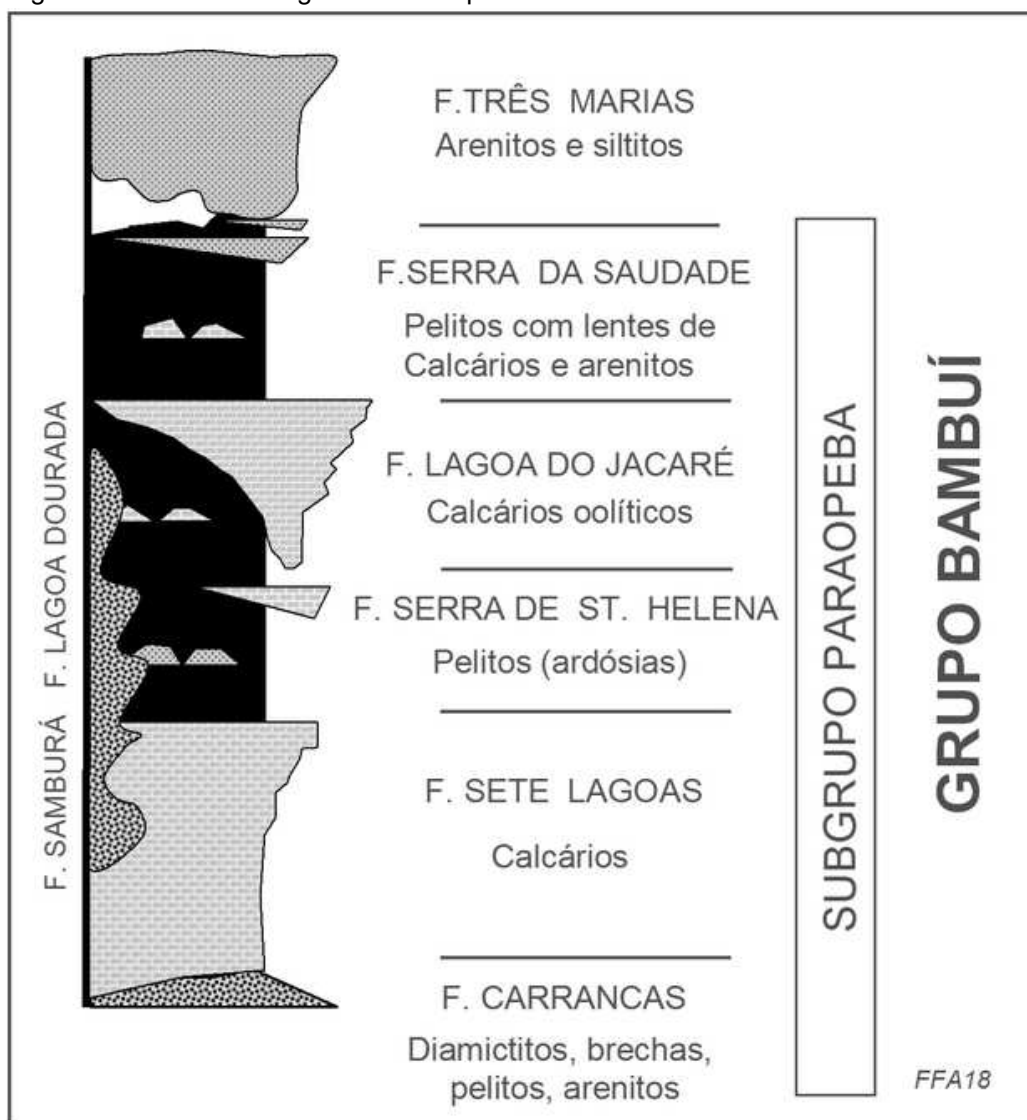
O Cráton de São Francisco, como nomeado por Almeida (1977), é uma unidade geotectônica com idade de aproximadamente de 1.8 bilhões de anos, delimitado a oeste pela Faixa Brasília, e a leste pelo Orógeno Araçuaí. Pertencente ao cráton do São Francisco, a bacia homônima é composta por rochas pré-cambrianas e fanerozoicas (ALKIMIM & MARTINS NETO 2001, REIS et al. 2017).

A bacia de São Francisco é composta principalmente por rochas sedimentares de idades pré-cambriana e fanerozoica, e se expande além do estado de Minas Gerais, a Goiás e Bahia. Em Minas Gerais é circunscrita a oeste pela Faixa Brasília, e a leste pelo Orógeno Araçuaí. Sua unidade representativa são as rochas do Grupo Bambuí, que afloram por toda a bacia.

O Grupo Bambuí foi inicialmente definido por Costa e Branco (1961), e é descrito como composto principalmente por alternância entre camadas marinhas de calcários, ardósias e siltitos, estratigrafia proposta por Dardenne (1978). Este grupo

compreende uma sucessão que representa a evolução de um ambiente marinho de plataformas com contribuição glaciogênica. O Grupo Bambuí é subdividido em seis formações principais, sendo essas Jequitaiá/Carrancas, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias, como mostrado na Figura 5. Na área de estudo, as unidades que afloram na região são a formação Serra de Santa Helena e a formação Três Marias.

Figura 5 - Coluna Estratigráfica do Grupo Bambuí



Fonte: ALKIMIM (2018)

O Grupo Bambuí constitui-se de unidades que contribuem para a água do rio Paraopeba são a Fm. Serra de Santa Helena, e a Fm. Três Marias, conforme descrito a seguir:

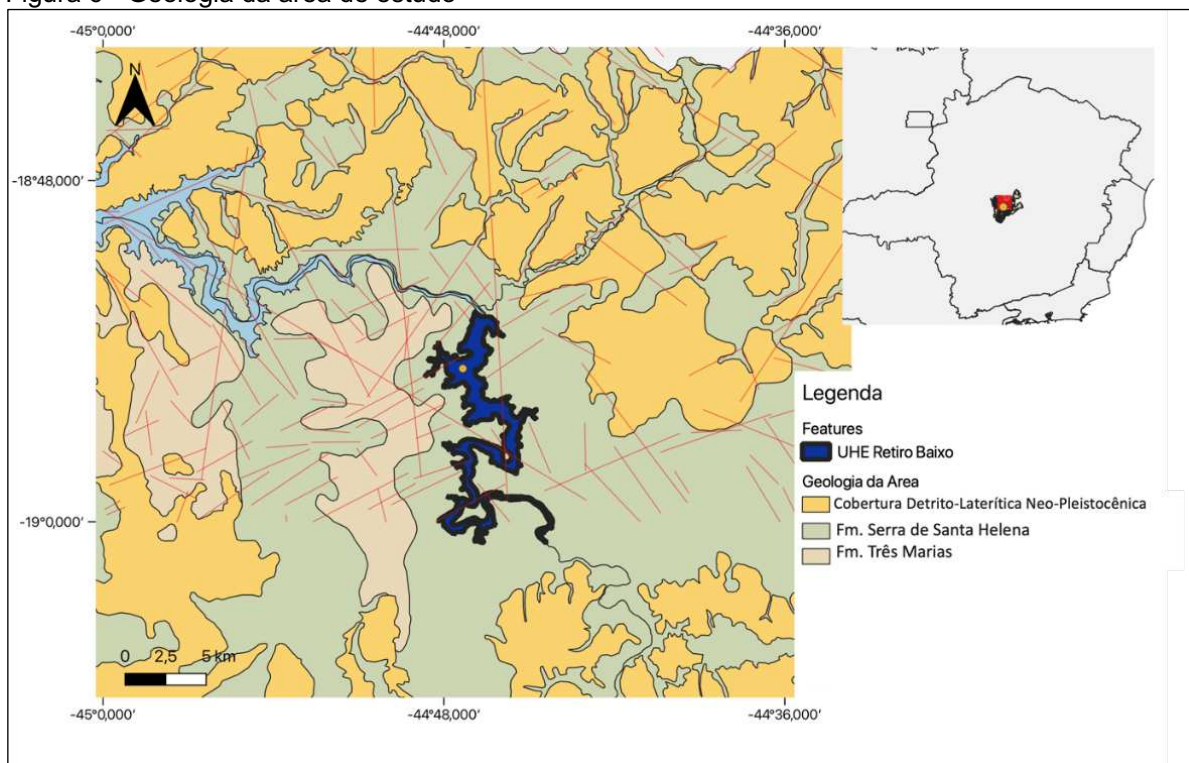


- *Três Marias*: A Fm. Três Marias, é representada por um conjunto de arcósios, arenitos e siltitos, e representa um ambiente continental a transicional.
- *Serra da Saudade*: A Formação Serra da Saudade (COSTA & BRANCO 1961; DARDENNE, 1978 apud ALKIMIM, 2018), é descrita como uma sucessão de siltitos, argilitos e folhelhos cinzentos e verdes, intercalados por calcários negros, ricos em matéria orgânica, bem como bancos oolíticos e pisolíticos com estratificações cruzadas acanaladas.
- *Lagoa do Jacaré*: A formação Lagoa do Jacaré aparece nas regiões leste e oeste, e é composta principalmente de calcários, composta por uma alternância de calcários oolíticos e pisolíticos cinza-escuros, fétidos e ricos em matéria orgânica, siltitos e margas acinzentados (ALKIMIM, 2018).
- *Santa Helena*: A Formação Santa Helena constitui-se de uma sequência de predominância pelítica. Ela aflora na região sul de Minas Gerais, e representa o afogamento gradual da plataforma carbonática da formação anterior (IGLESIAS, 2007).
- *Sete Lagoas*: A Formação Sete Lagoas, denominada por Costa & Branco (1961), é descrita como uma sucessão de carbonatos, representando assim um ambiente marinho raso. Ela é encontrada predominantemente na região de Sete Lagoas.
- *Carrancas*: A Formação Carrancas é encontrada na porção sul da bacia, na posição basal, caracterizada por diamictitos, brechas e arenitos (ALKIMIM, 2018).

### **2.3 Geologia local**

O lago investigado no presente trabalho está inserido no baixo curso do rio Paraopeba, cuja base geológica é de rochas do Grupo Bambuí, subdividido em Subgrupo Paraopeba e Formação Três Marias (Figura 4). Segundo o mapa Geológico do Serviço Geológico do Brasil (KUCHENBECKER, 2014), a folha Morro da Garça (SE.23-Z-A-IV), está contida no Subgrupo Paraopeba (Figura 6).

Figura 6 - Geologia da área de estudo



Fonte: KUCHENBECKER (2014).

Segundo a descrição CPRM (2010) e do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial – PACUERA (LIMIAR, 2012), a geologia que da região é descrita conforme disposto a seguir:

- *Formação Santa Helena:* A formação Santa Helena constitui-se de uma sequência de predominância pelítica. Ela aflora na região sul de Minas Gerais, e representa o afogamento gradual da plataforma carbonática da formação anterior (IGLESIAS, 2007).
- *Formação Três Marias:* Arenito fino micáceo, arenito arcoseano e ritmito areno-siltoso. Localmente ocorrem arenitos (arcoseanos ou não) e argilito roxos quando frescos e róseos quando alterados. Em geral apresentam-se maciços, mas não raramente exibem estratificações tabulares plano-paralelas, estratificações cruzadas tabulares, de base tangencial e do tipo hummocky/swaley, marcas onduladas e estruturas de carga. Comumente exibem pirita e óxidos dispersos, bem como matriz carbonática.

- *Depósitos arenosos, cascalhosos e argilosos*: Depositados principalmente na planície do Rio Paraopeba e mais raramente às margens de cursos d'água de menor porte, quando então não são mapeados. As porções arenosas apresentam localmente estratificações cruzadas de porte grande, além de frequentes intercalações cascalhosas. Nas porções de granulometria mais finas os sedimentos apresentam coloração amarelo avermelhadas, e é notável a presença de mica branca detrítica. Nas drenagens de menor porte é comum a ocorrência de depósitos cascalhosos quase exclusivamente compostos por clastos achatados de ardósia, de tamanhos variados.

## 2.4 Aspectos fisiográficos

### 2.4.1 Aspectos climáticos

O clima característico da área de estudo é do tipo Tropical Brasil Central, semiúmido em domínio quente com 4 a 5 meses de seca e temperatura média acima de 18° em todos os meses do ano (IBGE, 2002; Figura 7).

Figura 7 – Variação pluviométrica e da temperatura representativa da região de Felixlândia/MG.



Fonte: CLIMATEMPO (2022).

Segundo LIMIAR (2012), no curso do baixo Rio Paraopeba, onde está localizada a área em estudo, ocorrem dois tipos diferentes de clima: o Cwa –

mesotérmico com verões quentes e Aw – tropical, de ocorrência restrita às proximidades da foz no reservatório de Três Marias.

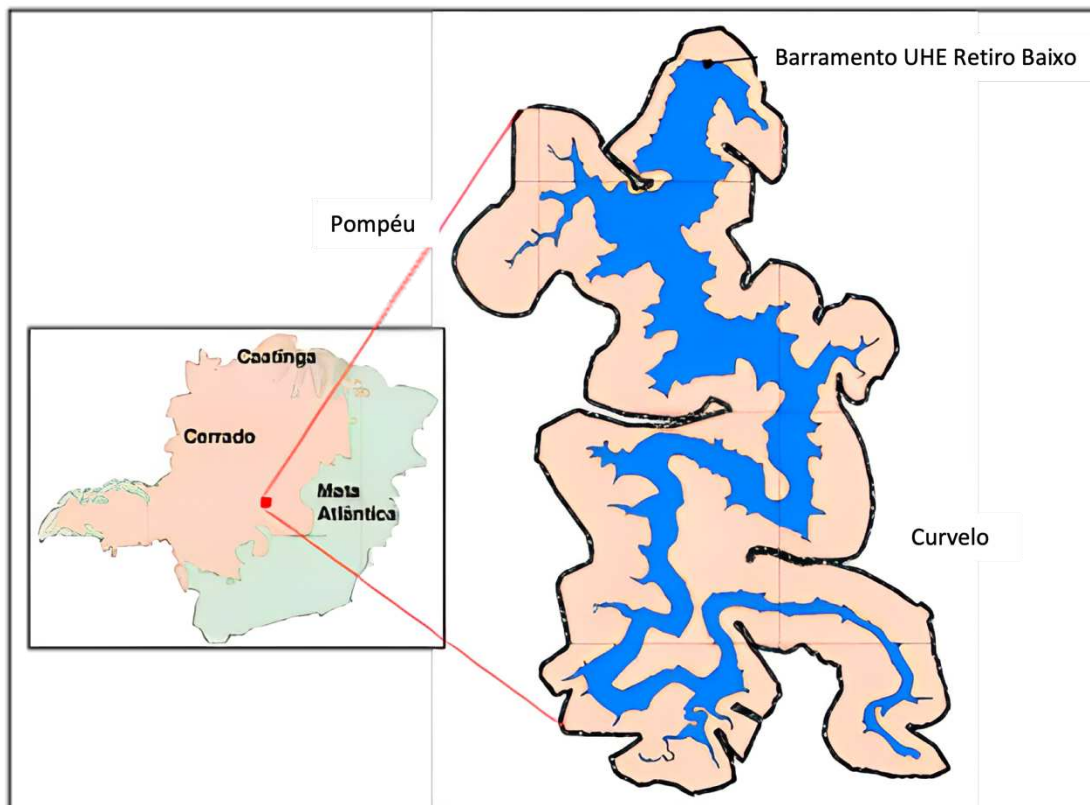
O clima específico ocorrente na região da UHE Retiro Baixo é o Aw – clima tropical úmido (megatérmico) de savana, com inverno seco e verão chuvoso, caracterizado por nítidos contrastes sazonais. As médias térmicas anuais são superiores a 20°C e os totais de chuva fixam-se em torno de 1200mm/ano.

#### 2.4.2 Aspectos vegetacionais

Segundo o Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno de Reservatório Artificial – PACUERA, (LIMIAR, 2012), a vegetação predominante na região é o cerrado, como mostrado na Figura 8, cujas características é uma vegetação de gramíneo-lenhosas baixas, com galerias florestais ao longo das drenagens. O Cerrado é reconhecido como a Savana mais rica do mundo em biodiversidade com a presença de diversas tipologias vegetais de riquíssima flora com mais de 10.000 espécies de plantas (IBGE, 2019).

Ainda de acordo com Limiar (2012), a paisagem da área de estudo é formada por vários ambientes antropizados, resultados dos processos de substituição da vegetação nativa por pastagens e cultivo. Os fragmentos florestais são representados em sua maioria pela Mata Ciliar e Mata de Galeria, associados aos cursos d'água que contribuem diretamente para a UHE Retiro Baixo e ao próprio rio Paraopeba.

Figura 8 - A área de estudo está inserida no bioma cerrado arbustoso e campo aberto com pequenas ocorrências de mata de galeria nas partes pantanosas do lago.



Fonte: LIMIAR (2012).

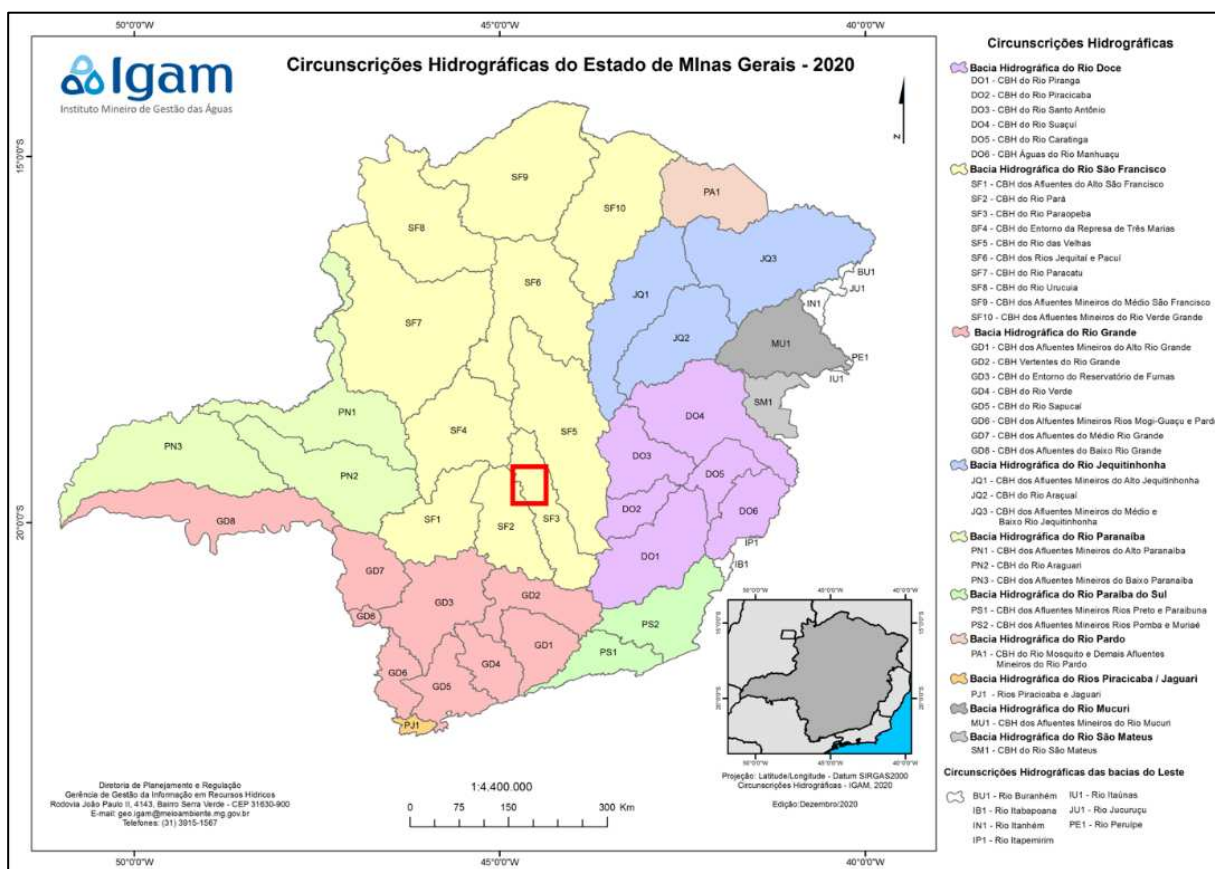
#### 2.4.3 Aspectos hidrográficos

A Usina hidrelétrica de Retiro Baixo está alocado na região baixa do Rio Paraopeba, que por sua vez, pertence a Bacia Hidrográfica do São Francisco.

Segundo o Comitê da Bacia do Rio São Francisco de 2001, bacia do Rio São Francisco abrange uma área correspondente a 8% do território nacional. O estado de Minas Gerais está contido na bacia do Alto São Francisco, como mostra a Figura 9.

O lago é alimentado principalmente pelo rio Paraopeba e subordinadamente por riachos temporários.

Figura 9 - Bacias hidrográficas de Minas Gerais. O quadrado vermelho representa aproximadamente onde a área de estudo está inserida



Fonte: IGAM (2019).

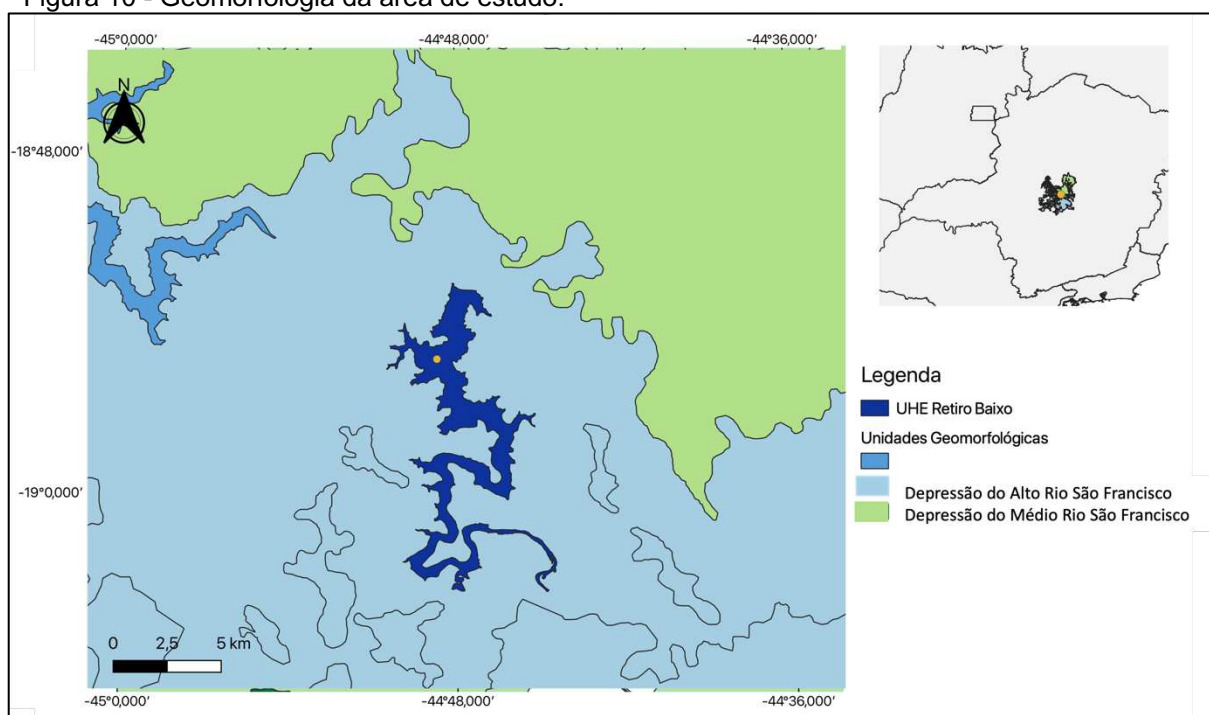
#### 2.4.4 Geomorfologia

Do ponto de vista geomorfológico, foram identificados na área as seguintes feições geomorfológicas (Figura 10).

Relevo arrasado, plano a suave ondulado, com padrão de drenagens dendrítico a paralelo e textura lisa em imagens de sensores remotos. As principais feições seguem a estruturação do substrato geológico.

O domínio geomorfológico observado apresenta correlação com unidades regionais de relevo descritas no Mapa de Relevo do Brasil (IBGE, 2006) para a região. Neste sentido, as porções de relevo mais baixas, fazem parte da Depressão do Alto Rio São Francisco (KUCHENBECKER, 2014).

Figura 10 - Geomorfologia da área de estudo.



Fonte: KUCHENBECKER (2014).

#### 2.4.5 Pedologia

As coberturas pedológicas são originadas da interação da rocha, clima, relevo, organismos e tempo. Os solos representam parte da identidade natural herdada do substrato local e estão inseridos entre as condicionantes naturais da qualidade ambiental dos sedimentos (TRINDADE, 2010).

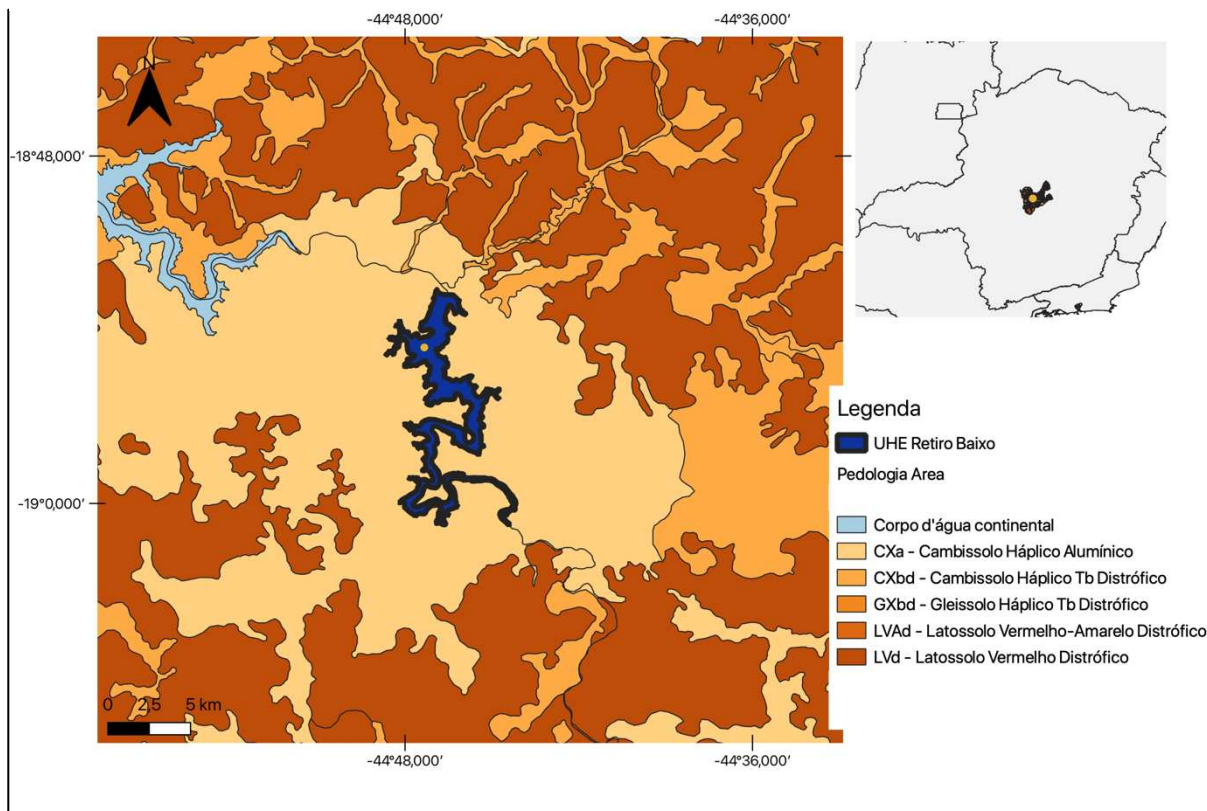
A região estudada do ponto de vista pedológico apresenta poucas variações, como apresenta o mapa (Figura 11).

Considerando os principais solos descritos no mapa de solos do Brasil IBGE & Embrapa (2001) na área de estudo ocorrem os *Cambissolos háplicos Tb Distróficos*. São descritos segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura) ou horizonte



A chernozêmico quando o B incipiente apresentar argila de atividade alta e saturação por bases alta.

Figura 11 - Mapa pedológico da região.



Fonte: Adaptado de KUCHENBECKER (2014).

Plintita e/ou petroplintita, horizonte glei ou horizonte vértico, se presentes, não satisfazem os requisitos para Plintossolos, Gleissolos ou Vertissolos, respectivamente. Solos com argila da atividade baixa e saturação por bases < 50%, ambas na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). (EMBRAPA, 2018). A Figura 12 retrata as condições pedológicas atuais na área de estudo. Destaca-se a composição característica dos solos da região.



Figura 12 – (A) Solo encontrado na barragem. (B) Sedimento da margem do lago.



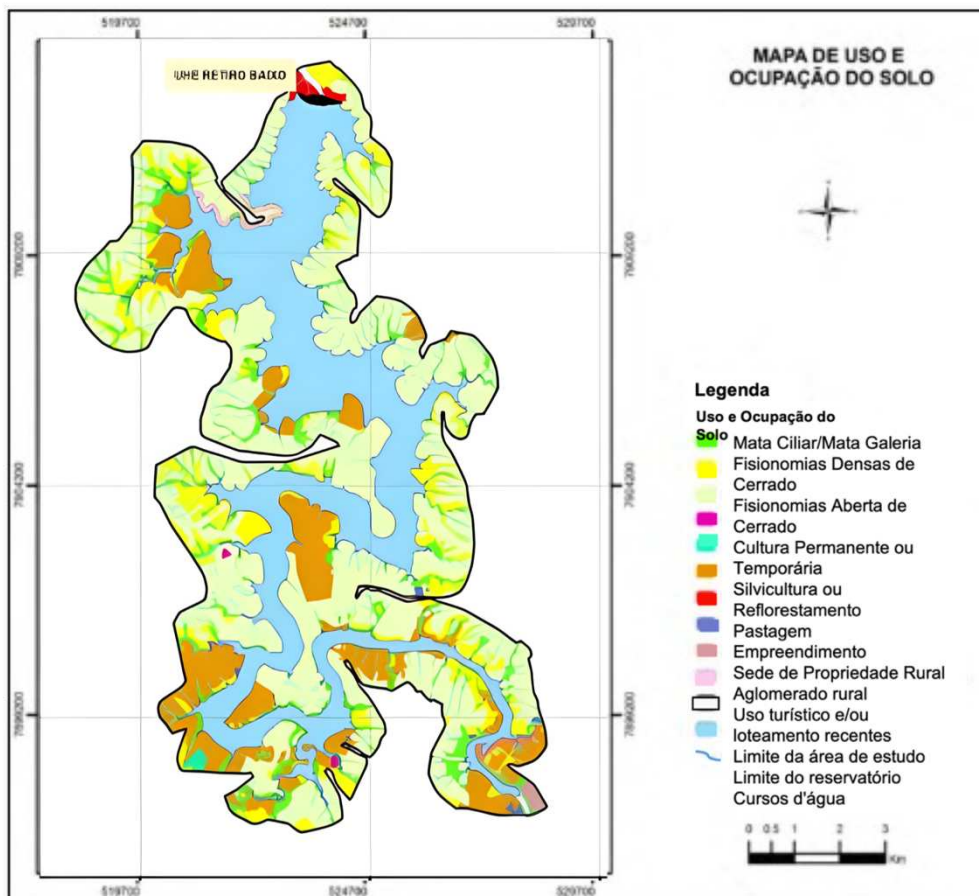
Fonte: Acervo fotográfico do Autor (2021)

#### 2.4.6 Uso do solo

O conhecimento sobre o uso da terra é de inegável importância pela necessidade de garantir sustentabilidade diante das questões ambientais, sociais e econômicas em relação às áreas estudadas para que possa haver o desenvolvimento sustentável (IBGE, 2013). O uso do solo de uma região é importante pois é relacionável a sua composição, relevo, condições químicas e sobre o próprio ecossistema como um todo. A criação da represa de Retiro Baixo modificou a forma de como a região passou a ser classificada, pois uma nova forma de aproveitamento econômico foi inserida na região.

O mapa de Uso e Ocupação do Solo foi obtido no processo de licenciamento do empreendimento da UHE Retiro Baixo e atualizado com base nas informações coletadas em campo que estão contidas no relatório PACUERA da UHE Retiro Baixo, conforme Figura 12 (LIMIAR, 2012).

Figura 13 - Mapa de Uso de Solo.



Fonte: LIMIAR (2012).

As classes de uso do solo na Figura 13 detectados foram descritas conforme relacionado a seguir:

Fisionomias abertas do cerrado (vegetação com predomínio de gramíneas nativas, ex: campo sujo, campo limpo); Mata Ciliar/Mata de Galeria (Formações Florestais nativas); Fisionomias densas do cerrado (presença de vegetação típica do Cerrado com predomínio de indivíduos arbóreos); Uso turístico e/ou loteamento recentes; Sede de propriedade rural; Empreendimentos; Cultura Permanente ou temporária; Silvicultura ou reflorestamento;

Atividades de pesca são muito comuns na região, e os moradores consomem o pescado obtido no lago para consumo próprio (Figura 14). A pesca turística é pouco desenvolvida e limita-se aos moradores dos condomínios.

Figura 14 - A - Atividades de pesca no lago. B - Morador pescando.



Fonte: Acervo fotográfico do Autor (2021)

### **3 PARAMETROS QUALIDADE DA ÁGUA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SEDIMENTOS**

#### **3.1 Parâmetros de qualidade da água**

Os parâmetros físico-químicos são ferramentas de avaliação da qualidade das águas, pois sinalizam possíveis contaminações, as condições e características das águas e a classe do seu uso.

##### **3.1.1 Legislação brasileira**

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), é o órgão responsável por criar e administrar políticas ambientais, discutir normas e parâmetros para o meio ambiente no Brasil. Os resultados obtidos na presente pesquisa foram confrontados com os valores das resoluções 357/2005 referente às águas e a 454/2012 referente aos sedimentos para a identificação de valores e observação de valores tóxicos.

A resolução 357/2005, criada em 17 de março, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá os direcionamentos (CONAMA, 2005).

Segundo essa resolução, o lago da represa Retiro Baixo seria classificado como pertencente a classe 2, pois são águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

A resolução 454/2012 estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional (CONAMA, 2012).

## 3.2 Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos são medições importantes para a caracterização das águas, pois estão diretamente ligados à qualidade da água, e se ela possui potabilidade. Abaixo estão descritos os parâmetros.

### 3.2.1 Cor

A cor é a propriedade responsável por demonstrar a coloração na água, e é relacionada aos sólidos dissolvidos. Em sua origem natural, pode ser originada da decomposição de matéria orgânica, e por minerais que apresentam coloração específica, como ferro e manganês. Se originadas por fontes antropogênicas, podem vir de resíduos industriais ou esgotos domésticos. É uma propriedade importante principalmente se relacionada a fontes antropogênicas, pois pode representar algum grau de toxicidade (VON SPERLING, 2014).

### 3.2.2 Temperatura

A temperatura é um parâmetro utilizado na avaliação da qualidade da água, que constitui a medição do grau de calor. Sua origem pode ser de forma natural, com transferências de calor por radiação, convecção e condução, ou antropogênica, como despejo de rejeitos industriais (VON SPERLING, 2014).

A temperatura é uma medida importante, pois afeta diretamente os corpos d'água e a biota presente neles. Libânio (2010), diz que a temperatura tem é diretamente proporcional a vários fatores, como a velocidade das reações químicas, a solubilidade das substâncias, a concentração do oxigênio dissolvido, ao metabolismo dos organismos presentes no ambiente aquático. A elevação da temperatura é diretamente proporcional às taxas das reações químicas e biológicas. Isso significa que elevações da temperatura diminuem a solubilidade dos gases, e elevações da temperatura aumentam a taxa de transferência de gases, o que pode gerar odores desagradáveis (VON SPERLING, 2014).

### 3.2.3 Turbidez

A turbidez é a medida que simboliza o grau de interferência da transparência da água, que pode dar uma aparência turva a água. É possível de ser compreendido

como a clareza da água (HERMES, 2004). É uma característica de fácil identificação e de fácil aquisição pois pode ser medida em campo.

Essa propriedade é ligada a quantidade de sólidos dissolvidos na água, que podem deixar a água turva. A turbidez da água pode ocorrer de forma natural, pela presença de partículas de rochas, argila e silte, ou de origem antropogênica, como os despejos domésticos, industriais, microrganismos e erosão. Sua importância é de condição estética, principalmente se na água potável (VON SPERLING, 2014).

#### 3.2.4 Condutividade elétrica

A Condutividade Elétrica representa a capacidade de conduzir corrente elétrica e ocorre em função da concentração de íons presentes nas substâncias dissolvidas. Essa propriedade está diretamente associada a temperatura. Os íons de hidrogênio também estão associados a essa medida, e podem afetá-la, pois são os maiores responsáveis por esses valores (VON SPERLING, 2014).

A condutividade elétrica, apesar de não ser um parâmetro que integra o padrão de potabilidade brasileiro, possui sua importância, pois é diretamente ligada a salinidade, e à concentração de sólidos dissolvidos. Para lagos e represas, após estabelecida esta correlação, o monitoramento da concentração de sólidos dissolvidos - cuja determinação é muito mais morosa - efetua-se por meio da determinação da condutividade elétrica (LIBÂNIO, 2010).

#### 3.2.5 Potencial hidrogênico (pH)

É a medida que representa a concentração dos íons de hidrogênio presentes na água, o que é um indicativo da acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. A faixa de pH é de 0 a 14, sendo 0 muito ácido e 14 muito básico. Sua origem natural vem de fontes como dissolução das rochas, absorção de gases da atmosfera e oxidação da matéria orgânica, fotossíntese. Se sua origem é antropogênica, as fontes são despejos, sendo estes domésticos ou industriais (VON SPERLING, 2014).

Essa propriedade é de grande importância pois está presente na maioria dos processos relacionados as águas superficiais, porém é uma propriedade de difícil interpretação, visto que é influenciável por diversos fatores. A grande maioria dos corpos d'água continentais tem pH variando entre 6 e 8 (ESTEVEZ, 1988).

### 3.2.6 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é uma propriedade de grande importância para os seres vivos consumidores de oxigênio, e é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos (ESTEVES, 1998).

Segundo Esteves (1998), as perdas são o consumo pela decomposição de matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos como, por exemplo, o ferro e o manganês.

Ele é vital em casos especiais, como durante a estabilização da matéria orgânica que faz com que as bactérias consumam uma maior quantidade do oxigênio presente no meio aquático, levando a uma redução de sua concentração, podendo causar, dependendo da intensidade do fenômeno, a mortandade de peixes. Se o oxigênio for completamente consumido, cria-se um ambiente anaeróbio, com consequências como a geração de maus odores. O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos (VON SPERLING, 2014).

### 3.2.7 ORP – Potencial de oxidação – redução

O potencial de oxidação-redução representa a capacidade de substâncias receberem ou perderem elétrons, podendo representar e indicar a intensidade dos compostos químicos. O valor do ORP está diretamente ligado a capacidade de mobilidade dos elétrons, e cada elemento químico apresentara sua capacidade de mobilidade e oxidação (RUSSELL, 1994).

Ambientes com equilíbrio químico, é possível inferir informações sobre a composição química da água. Se há baixo valores de ORP, indicam a presença de agentes redutores; já valores altos indicam a presença de agentes oxidantes. (GONCHARUK *et al.*, 2010). Como o mesmo valor de ORP pode caracterizar amostras de água díspares ou diferentes reações químicas presentes no ambiente, não é possível ter um valor de referência para o ORP que indique o limite de qualificação da água. O pH e a concentração de íons nos sistemas estão ligados a dissolução do dióxido de carbono atmosférico (BAIRD, 2002).

### 3.3 Características dos metais pesados

Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) são elementos com potencial toxicidade, dentre os quais destacam-se os metais pesados. Sua toxicidade está relacionada a sua capacidade de bioacumulação nas cadeias tróficas. Esses elementos apresentam-se em pequenas concentrações, e alguns deles podem ser danosos a saúde humana e ao meio ambiente.

Por se tratar de um tema interdisciplinar, a semântica do termo que se refere a essa classe de elementos possui diversas nomenclaturas. O termo “Metal pesado” é um termo comumente utilizado, contudo vários autores discordam dessa terminologia por não abranger totalmente os elementos. A denominação “micronutrientes” também pode ser utilizada. Neste trabalho, outros termos como "traço metais", "traço inorgânicos", "metais pesados", "microelementos" e "micronutrientes" serão tratados como sinônimos do termo elementos potencialmente tóxicos.

Hooda (2010), em seu estudo de elementos traço nos solos, define que os elementos químicos chamados de elementos-traço por causa de sua ocorrência em concentrações inferiores a 100 mg/kg. A maior parte dos EPT's é essencial em diferentes funções biológicas nos organismos. Silva et al. (2006), explicam que no campo da geologia médica é necessário o conhecimento dos elementos essenciais a natureza humana e ao meio ambiente. Os principais elementos necessários a constituição biológica são: cálcio, cloro, magnésio, fósforo, potássio, sódio e enxofre. Os elementos-traço essenciais são: cromo, cobalto, cobre, flúor, ferro, manganês, molibdênio, zinco e selênio. Já os não-essenciais, são chamados assim pois não apresentam contribuição biológica para seres humanos, e podem apresentar toxicidade, por exemplo: arsênio, cádmio, mercúrio e chumbo.

Förstner e Wittman (1983) explicam que do ponto de vista da poluição ambiental, os metais podem ser classificados de acordo com três critérios: (1) não crítico, (2) tóxico, mas muito insolúvel ou muito raro e (3) muito tóxico e relativamente acessível. Tal classificação foi feita por Wood (1974; apud Förstner e Wittman, 1983) e é listada na Tabela 2.



Tabela 1 - Classificação de Toxicidade de elementos selecionados. Alguns elementos podem aparecer em várias classes (Ex.: Mn) e não foram incluídos pelos autores. A porcentagem de quantidade de elementos é importante.

<b>Não-crítico</b>			<b>Toxico, mas muito insolúvel ou muito raro</b>		<b>Muito tóxico e relativamente acessível</b>		
<b>Na</b>	C	F	Ti	Ga	Be	As	Au
<b>K</b>	P	Li	Hf	La	Co	Se	Hg
<b>Mg</b>	Fe	Rb	Zr	Os	Ni	Te	Tl
<b>Ca</b>	S	Sr	W	Rh	Co	Pd	Pb
<b>H</b>	Cl	Al	Nb	Ir	Zn	Ag	Sb
<b>O</b>	Br	Si	Ta	Ru	Sn	Cd	Bi
<b>N</b>			Re	Ba		Pt	

Fonte: Adaptado de Förstner e Wittman (1983).

Alguns destes elementos são dissolvidos mais lentamente, o que significa que podem persistir no meio ambiente por bastante tempo. Esses comportamentos, no entanto, são individuais e dependem de fatores externos, como o pH e a velocidade com que o composto se dissolve. Portanto, sua disponibilidade depende destes processos. Como os seres biológicos podem fazer bioacumulação destes elementos, isso pode influenciar na maneira com que os elementos podem entrar na cadeia alimentar em quantidades elevadas nos níveis tróficos mais altos (VON SPERLING, 2014).

### 3.3.1 Magnésio

O magnésio é um macro elemento de número atômico 24, originado nas rochas carbonáticas e rochas ígneas básicas, apresentando alta solubilidade, exercendo a função de suporte na adsorção de metais nos materiais particulados e sedimentos (RIBEIRO, 2010). Ele é aplicado principalmente na fabricação de ligas metálicas utilizadas na indústria de aviação. Nos primórdios da fotografia, bulbos fotográficos continham magnésio para geração das fotos (RUSSEL, 1994).

Biologicamente, os íons de magnésio participam de processos celulares, complexados com ácidos nucleicos e necessários para a transmissão de impulsos nervosos, para contrações e funções metabólicas (FÖRSTNER E WITTMANN, 1983).

### 3.3.2 Cálcio

O cálcio é um macro nutriente essencial aos vertebrados e invertebrados e desempenha importante papel no ciclo do carbono por ser encontrado como carbonato de cálcio. É o metal mais abundante no corpo humano, principalmente na forma de fosfato de cálcio, constituinte de ossos e dentes (FÖRSTNER E WITTMANN, 1983). É muito importante na regulação das membranas celulares, particularmente nos estímulos nervosos (SILVA et al., 2006). Segundo Förstner e Wittmann (1983) o cálcio é um macro nutriente, pois, juntamente com o magnésio, formam os íons mais amplamente distribuídos por todo o corpo humano, e, portanto, não podem ser considerados metais traço. Nas águas superficiais, o cálcio ocorre de forma abundante, dependente da composição de sua fonte, sejam elas fontes naturais ou antropogênicas.

### 3.3.3 Ferro

O Ferro é um dos elementos que possui uma ampla distribuição na superfície terrestre, é de grande importância na indústria, e é o metal mais conhecido nos sistemas biológicos, por sua função no metabolismo humano. Ocorre naturalmente na composição de solos e rochas, que são os responsáveis pelo fornecimento do ferro encontrado na água. As fontes antropogênicas são indústrias, mineração, esgotos e fertilizantes (VON SPERLING, 2014).

### 3.3.4 Alumínio

Segundo o *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (2008), ou, em sua abreviação, ATSDR, o alumínio está presente em todo o meio ambiente, por estar presente na composição da crosta terrestre. A exposição ao alumínio para a população comum ocorre por meio da alimentação e água, que contêm porcentagens de alumínio na composição. Ele é um metal encontrado na natureza nos solos, rochas em sua maioria ígneas e em argilas como argilossilicatos. No meio ambiente, a concentração de Al no solo pode variar de 7 até 100 mg/kg. Já na água, ela é normalmente abaixo de 0.1 mg/L em águas superficiais (ATSDR, 2008).

Segundo Silva et al. (2006), na saúde humana, altas concentrações de alumínio na água podem desencadear em seres humanos, após períodos prolongados de consumo, problemas renais e de coordenação motora, além de deficiências no sistema imunológico.

### 3.3.5 Manganês

O manganês é o segundo metal mais abundante na natureza (superado apenas pelo ferro) (FÖRSTNER E WITTMANN, 1983). É um elemento pertencente a classe dos metais de transição. Compostos de manganês podem existir no ar como particulados suspensos de origens antropogênicas, como indústrias. Segundo Kabata-Pendias e Pendias (1984) a tendência dos compostos solúveis de manganês de adsorver aos solos e depende do cátion capacidade de troca e a composição orgânica do solo.

### 3.3.6 Cromo

O cromo é um elemento abundante na natureza, que tem grande importância para os setores industriais por sua grande resistência a corrosão. As fontes de contaminação antropogênicas incluem a produção de cimento, lixo urbano e industrial, curtumes, fertilizantes e incêndios florestais (RIBEIRO, 2010).

Essencial ao organismo humano o Cr trivalente atua no metabolismo da glicose, proteína e gorduras nos mamíferos. Com a intoxicação, o efeito mais comum é a corrosão do aparelho digestivo. O cromo hexavalente pode causar diarreias, náuseas, efeitos cutâneos, danos aos rins, fígado e pulmões, hemorragias internas e carcinogênicos (VON SPERLING, 2014).

### 3.3.7 Bário

Bário é um elemento do grupo dos metais que ocorre na natureza em diferentes compostos. Esses compostos são sólidos e aparecem em forma de pós ou cristais. Duas formas de bário, o sulfato de bário e o carbonato de bário, são encontrados em formas de depósitos de minérios. Outros compostos são encontrados em formas de sulfatos (ATDRS, 2008).

Segundo o *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (2008) maioria do bário liberado nas atmosferas por fontes antropogênicas, de origem industriais, são lançadas de formas que não são rapidamente dispersas. No meio aquático, o bário tem mais propensão a precipitar da solução como um insolúvel. Ele também tem a propriedade de ser absorvido pelos particulados em suspensão durante a formação de pares de íons com ânions naturais como bicarbonatos ou sulfatos na matéria.

### 3.3.8 Cobre

O cobre é um metal abundante na crosta terrestre, e é reconhecido como um elemento essencial na composição dos seres humanos. Ele está presente em várias enzimas, e atua no transporte de oxigênio da hemoglobina (FÖRSTNER E WITTMAN, 1983).

### 3.3.9 Cobalto

Cobalto é um elemento relativamente escasso na crosta terrestre, e é comumente encontrado associado a níquel, prata, chumbo, cobre e ferro, e pode ocorrer de em formas de sulfetos e óxidos. Os minerais de cobalto mais famoso é a cobaltita. Nos meios aquáticos, compostos de cobalto ocorrem naturalmente, porém, eles podem ser liberados nas águas por fontes antropogênicas, sendo essas de minerações de metais associados ao cobalto, como níquel e cobre. Nos solos o cobalto é um elemento relativamente abundante. Compostos de cobalto são não voláteis, e são emitidos para a atmosfera em sua forma particulada. Atividades mineradoras e outras atividades antropogênicas podem influenciar na liberação de mais Co para o solo (ATDRS, 2008). Para os seres humanos, o cobalto influencia principalmente nas hemoglobinas, que são complexos de cobalto. É amplamente distribuído por todo o corpo humano, sem, no entanto, possuir concentração excessiva em nenhum determinado órgão ou tecido. Tendo a capacidade de ocupar locais de baixa simetria em enzimas, cobalto é um ativador enzimático (FÖRSTNER E WITTMANN, 1983).

### 3.3.10 Cádmio

Cádmio é um elemento químico associado com minérios de zinco, prata e cobre. No meio ambiente, cádmio existe apenas em uma forma, oxidada, e não vai abaixo das reações de oxirreduções. Nas águas superficiais e subterrâneas, cádmio pode existir como um íon hidratado, ou como complexos iônicos com outras substâncias inorgânicas e orgânicas. Formas solúveis do cádmio podem migrar para as águas (ATDRS, 2008). Nos seres humanos, o cádmio em concentrações muito elevadas pode ser cancerígeno e provocar elevação da pressão sanguínea e aumento

do coração queda da imunidade, osteoporose, anemia e enfraquecimento ósseo (SILVA et al., 2006).

### 3.3.11 Níquel

O níquel é um elemento da classe dos metais de transição, geralmente associado ao cobalto, mas que também pode ser adicionado a muitos metais, para aumentar sua dureza e resistência. É naturalmente concentrado na terra, e é liberado na atmosfera em erupções vulcânicas, bem como em atividades antropogênicas (ATDRS, 2008). É cancerígeno, e pode causar dermatite de contato, gengivites, tonturas, dores articulares e osteoporose (SILVA et al, 2006).

### 3.3.12 Zinco

O Zinco é um elemento químico da classe de metais de transição. O zinco não ocorre naturalmente em sua forma metálica, como o ouro, mas sim combinado a outros elementos, tais como compostos sulfetados, mas também silicatos (ATDRS, 2008). O zinco no ambiente aquáticos é encontrado por sedimentos ou sólidos em suspensão em águas superficiais principalmente em minerais argilosos e material orgânico. Nos seres humanos, o zinco é um elemento importante para o corpo humano, e parece estar presente em todos os mamíferos. Em excesso, pode causar sensações como paladar adocicado, secura na garganta, tosse fraqueza náusea e vômito (SILVA et al., 2006)

### 3.3.13 Chumbo

O chumbo é um elemento com baixo ponto de fusão, o que lhe dá a característica de ser maleável, um aspecto muito importante para que ele seja utilizado na indústria. A concentração ambiental desse elemento apresentou diminuição, devido o aumento de seu aproveitamento, diminuindo sua concentração em rios, águas e solos (ATDRS, 2008). O chumbo em sua forma elementar não oferece tantos riscos a saúde se humanos e animais. Contudo, se ele é dissolvido e passa para sua forma iônica, ele pode apresentar potencial a riscos ambientais. Potenciais efeitos sobre a saúde são: irritabilidade e a agressividade, indisposição, dores de cabeça, perda de memória, insônia, doenças renais, problemas de coagulação, afeta o sistema digestivo e reprodutor e é agente teratogênico (SILVA et al, 2006).

### 3.3.14 Titânio

O titânio é o nono elemento mais abundante na crosta terrestre, ocorrendo na forma de depósitos primários e secundários. Nos depósitos primários, o titânio ocorre geralmente associado ao ferro (PIMENTA, 2021).

## 3.4 Mobilidade de EPT no Ambiente Água - Sedimento

Os sedimentos são eficientes fontes de informações sobre o meio que se encontram, por terem alta capacidade de absorção de compostos orgânicos e inorgânicos. Ademais, por sua condição de acumulador de metais, os sedimentos podem refletir a qualidade da água e registrar os efeitos das emissões antrópicas. Algumas condições interferem diretamente na mobilização de elementos nos sedimentos, como mudanças de pH e condições redox. (CALMANO et al, 1993)

Os EPT geralmente são encontrados no ecossistema aquático em material particulado, solução ou em complexos solúveis e em sedimentos ligados a argilominerais, óxidos e matéria orgânica.

O tipo e a estabilidade dos EPT no meio aquático são importantes para a mobilidade destes elementos, bem como a sua biodisponibilidade. Calmano et al. (1993) apontam que utilizando o exemplo de EPT dissolvidos ou fracamente adsorvidos, que podem estar facilmente disponíveis para plantas e organismos aquáticos, porém o mesmo não acontece para EPT ligados a estrutura cristalina de minerais primários e secundários. Estes somente podem ser disponíveis sendo intemperizados.

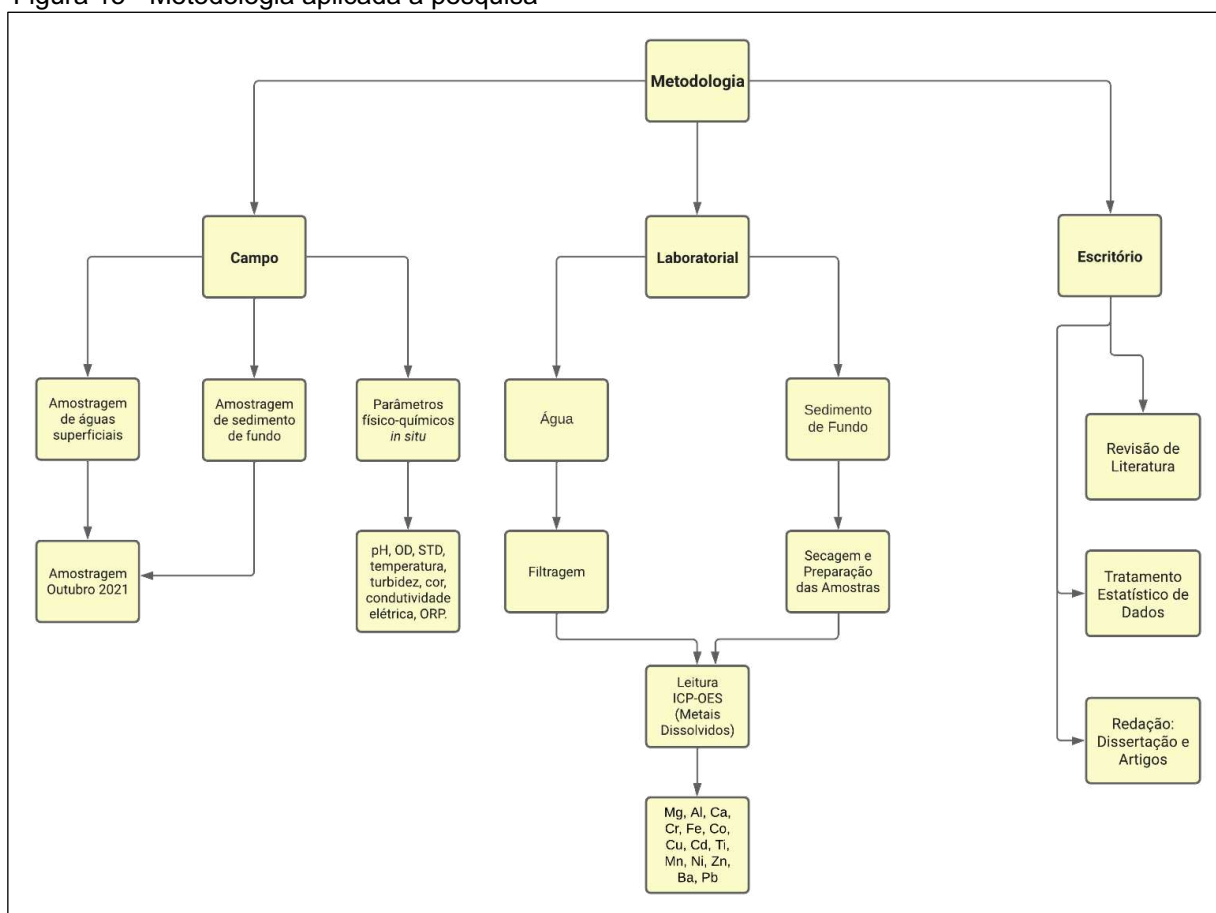
Os EPT podem estar ligados aos sedimentos de diferentes formas: preenchendo materiais amorfos; adsorvidos por argilas superficiais ou oxi-hidróxidos de ferro e manganês; em minerais secundários como carbonatos, sulfatos e óxidos; Complexo com matéria orgânica, ou em minerais primários como os silicatos (PENG, 2009).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa consistiu na análise de parâmetros geoquímicos de qualidade de água superficial e de sedimentos de fundo do lago pertencente a barragem da Usina Hidrelétrica de Retiro Baixo. Os dados estudados são provenientes da análise laboratorial de amostras de água e sedimento coletadas ao longo da barragem, e dos parâmetros de coleta *in situ* durante a campanha de amostragem. A metodologia desenvolvida visou análise dos dados coletados em relação a sua distribuição espacial, comportamento e potenciais fontes. Elas foram contrastadas com dados provenientes de parâmetros do CONAMA.

A elaboração metodológica foi dividida em três etapas subsequentes, iniciando pelo trabalho de campo, o trabalho em laboratório e as análises em escritório conforme disposto na Figura 15 a seguir.

Figura 15 - Metodologia aplicada a pesquisa



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Para efeito organizacional os procedimentos metodológicos foram estabelecidos em três módulos subsequentes (Gabinete inicial, Amostragem e Gabinete Final) conforme descrito a seguir:

#### **4.1 Gabinete - Trabalhos Iniciais**

Inicialmente foram realizados levantamentos bibliográficos e cartográficos, para nortear a pesquisa. Posteriormente, foram realizados planejamentos afins de avaliar o plano de amostragem na região para otimização das atividades de coletas de campo. Ao longo do trabalho, ocorreram pesquisas e determinações dos métodos analíticos para os parâmetros desejados, e a determinação dos métodos estatísticos para tratamento posterior de dados, que deram suporte a quantificações dos resultados e subseqüente discussões e interpretações dos dados obtidos.

Inicialmente, houve a pesquisa pré-campo, onde a bibliografia inicial foi reunida, e reuniões foram feitas para discutir qual localidade e em quais pontos a pesquisa seria realizada para a que a coleta fosse feita de forma homogênea e otimizada. Depois disso, foi feito o campo, onde foram realizadas amostragens de águas e de sedimento de fundo, com seus respectivos processos descritos nos tópicos 4.1.3 e 4.1.6. Juntamente com a amostragem, foram realizadas medições in situ, com coleta de parâmetros físico-químicos. Após a coleta, seguiu-se para a etapa laboratorial, com o armazenamento e tratamento das amostras. Posteriormente, foi realizado o tratamento dos dados obtidos, gerando como resultado o presente trabalho e artigos.

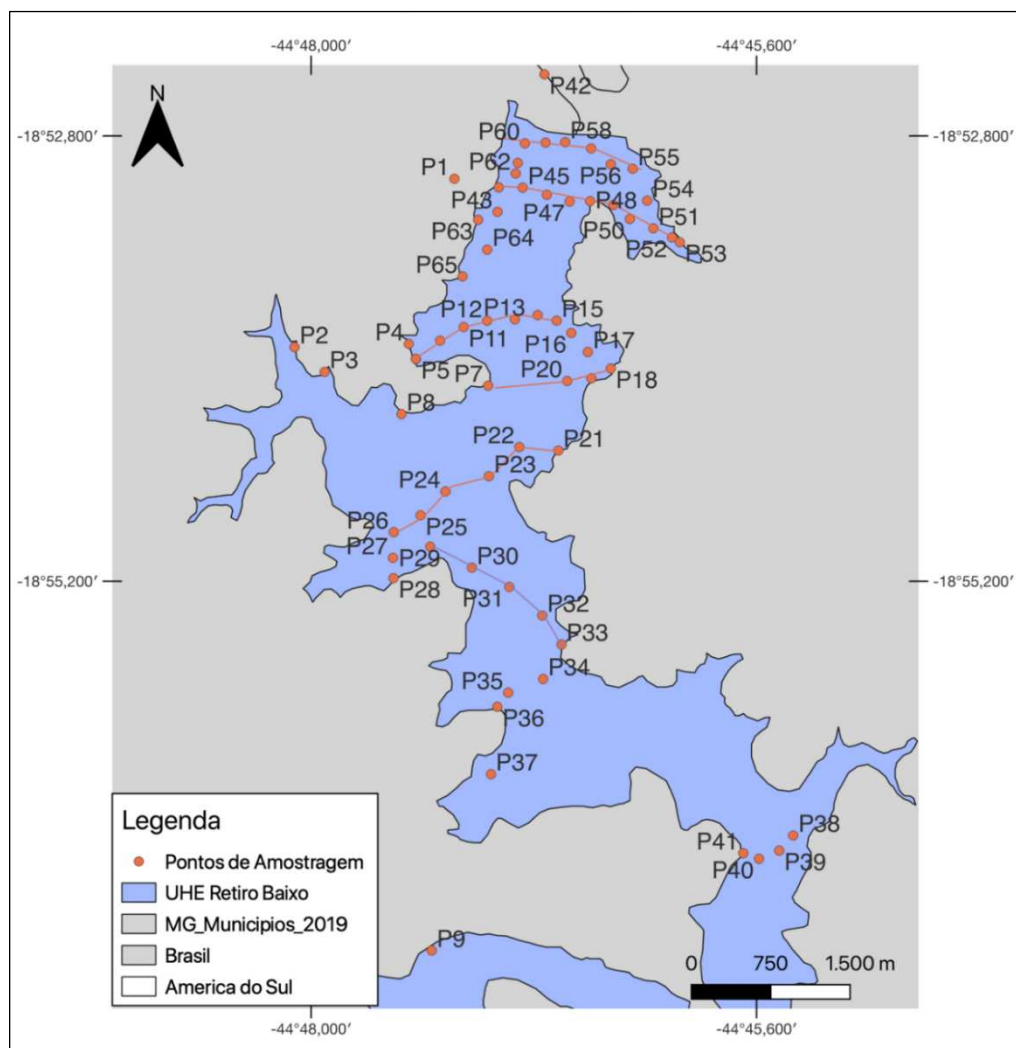
#### **4.2 Amostragem**

##### **4.2.1 Planejamento**

O planejamento visou definir a priori as atividades de coleta, manuseio e transporte das amostras, a fim de evitar contaminações e assegurar a confiabilidade dos dados coletados. Levando em consideração os métodos analíticos que seriam aplicados, decidiu-se então por realizar a coleta de forma a coletar pontos distribuídos em todo o lago da represa, a montante e a jusante do lago para obtenção de uma malha amostral mais bem distribuída. Abaixo o mapa (figura 16) mostrando os pontos escolhidos para a coleta.



Figura 16 - Mapa de amostragem.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Com resultado deste estudo foram determinados 65 pontos de amostragem de água e 15 pontos de sedimentos, distribuídos em pontos representativos e distâncias regulares ao longo de quilômetros, bordeando as margens do lago e no curso. Para a coleta das amostras, foi utilizado um barco para melhor deslocamento entre os pontos. A coleta de campo teve duração de cinco dias (15/10 a 20/10) durante o mês de outubro de 2021, ou seja, período da seca. Todos os pontos amostrados foram georreferenciados utilizando o GPS Garmin Oregon.

#### 4.2.2 Amostragem de água e sedimentos

O procedimento de amostragem de água foi realizado de barco para maior cobertura espacial e consistiu na remoção da tampa das garrafas de polietileno de

500ml; com todos os cuidados de assepsia, uma das mãos segurou o frasco pela base, mergulhando-o rapidamente com a boca para baixo, a cerca de 15 a 30 cm abaixo da superfície da água, e o frasco foi direcionado em sentido contrário à corrente. A escolha da profundidade deu-se a fim de otimizar a captura da água, pois devido a questões orçamentárias, não foi possível uma coleta mais profunda. Para sua homogeneização os frascos foram previamente lavados e descontaminados com  $\text{HNO}_3$  10% e homogeneizados com água do local por três vezes. Depois de coletadas, algumas gotas de HCL foram acrescentadas às amostras para acidificá-las, para evitar a troca de íons e a precipitação de hidróxidos. Após esse procedimento elas foram armazenadas e transportadas em caixas térmicas, conservadas com gelo onde foram refrigeradas a 4°C.

#### 4.2.3 Transporte

Depois, as amostras foram transportadas para o laboratório pertencente ao Núcleo de Geoquímica Ambiental (NGqA), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), onde foram refrigeradas a 4°C para posteriores análises de metais.

#### 4.2.4 Leituras *in situ*

Para a determinação da qualidade da água, foram realizadas medições de parâmetros físico-químicos não conservativos *in situ*. Foram medidos: pH, eH, condutividade elétrica, turbidez, resistividade elétrica, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e temperatura da água, utilizando a sonda multiparâmetro HANNA HI98194 (Figura 17).

**Figura 17** - Sonda multiparâmetro HANNA HI98194 para leituras de campo.



Fonte: <https://hannainst.com.br/produto/hi98194-medidor-portatil-a-prova-dagua-multiparametro-ph-ec-od/>

#### 4.2.5 Amostragem de sedimentos

O procedimento de amostragem de sedimento seguiu o procedimento descrito por (FILIZOLA, 2006), e consistiu na coleta de material em 14 pontos. As amostragens foram realizadas a cerca de 1 m da margem do rio, utilizando uma pá de PVC, com a qual foi feita uma perfuração de 10 cm aproximadamente, para que pudesse obter uma amostra superficial. Os sedimentos foram armazenados em sacolas de plástico de 2 kg.

#### 4.2.6 Tratamento das Amostras

##### 4.2.6.1 Amostras de água

As amostras de água onde foram filtradas utilizando filtro do tipo MILIPORE de 0,45 $\mu$ m e enviado para a análise com ICP-OES para a análise de metais dissolvidos na água, foi utilizado o ICP-OES Espectroscopia de Emissão Atômica por Plasma Acoplado, análise química muito utilizada que consiste em plasma induzido de argônio. O ICP-OES foi utilizado para a análise dos seguintes elementos: magnésio,

alumínio, cálcio, cromo, ferro, cobalto, cobre, cádmio, titânio, manganês, níquel, zinco, bário, chumbo.

A análise foi realizada no Núcleo de Pesquisa em Geoquímica Ambiental (NGqA) do Centro de Pesquisa Professor Manuel Teixeira da Costa (CPMTC/IGC/UFG) com o equipamento Spectroflame M-DOS, modelo FMV 05/S/N 06/089, utilizando chama de argônio.

Para a utilização do ICP-OES, previamente foi realizado o processo de filtração com o objetivo de separação dos materiais particulados. Para isso, foram utilizados filtros de nitrato de celulose, 0,45 µm, 0,47 µm de diâmetro (MILLIPORE), em bomba a vácuo *Tradelab*. Após a filtração, as amostras foram armazenadas na geladeira a 4 °C (Friomax GC1000), de onde seguiram para a leitura no ICP.

#### 4.2.6.2 Amostras de sedimento

Para a avaliação dos metais pesados sedimentos, considerando critérios orçamentários e levando em consideração o tempo das análises, optou-se pela escolha do método analítico de abertura parcial das amostras, com HNO<sub>3</sub>, o método assistido por micro-ondas, seguindo o padrão USEPA (1998).

O tratamento das amostras para análise no ICP-OES foi realizado por meio da digestão ácida das amostras, que consistiu na abertura no micro-ondas MARS-CEM, utilizando o método SW-846-3051 - USEPA (USEPA, 1998), que abrange a digestão ácida de solos e sedimentos para obter a fração extraível dos metais.

O procedimento consiste em peneirar 0,50 g da fração mais fina dos sedimentos (220 mesh - 0,063mm), que foi pesada na balança analítica do laboratório de Geomorfologia e Recursos Hídricos no Instituto de Geociências (IGC). Após o peneiramento, é acrescentado 10 ml de ácido nítrico 10% (HNO<sub>3</sub>), e são transferidos para os tubos de digestão, que foram travados e levados ao micro-ondas tipo MARS-CEM 5, em sistema fechado, com monitoramento constante de pressão e temperatura.

O método SW-846-3051 – US EPA consiste em um aquecimento gradual por radiação de micro-ondas por 10 min (tempo de rampa) e estabilização da temperatura a 180 °C e pressão (350 psi) por 4' 30" minutos até a digestão da amostra. Ao término da programação e resfriamento houve a filtração do material, que consistiu na utilização em filtros de nitrato de celulose 0,45 µm e transferência para balões

volumétricos de 50 ml com adição de água deionizada, para completar o volume necessário. Após o procedimento de filtragem, as amostras foram armazenadas na geladeira a 4 °C (Friomax GC1000), de onde seguiram para a leitura no ICP.

A análise foi realizada no Núcleo de Pesquisa em Geoquímica Ambiental (NGqA) do Centro de Pesquisa Professor Manuel Teixeira da Costa (CPMTC/IGC/UFMG), pelo método previamente explicado no tópico amostragem de água, onde obteve-se a leitura dos metais dissolvidos.

#### 4.2.6.3 Limite de detecção (LD)

O limite de detecção são valores estipulados previamente a leitura no ICP-OES, que segundo Licht (1998), podem ser definidos como o teor mínimo (limite inferior) ou máximo (limite superior) de um elemento químico, que um método analítico específico é capaz de detectar. Esse valor pode ser varável, e depende diretamente da técnica aplicada, do tipo de amostragem e do resultado que se pretende obter. Abaixo, estão os limites de detecção do ICP-OES (Tabela 2):

Tabela 2 - Limites de detecção

<b>Elementos</b>	<b>Limite de Detecção (LD) (mg/L)</b>
Mg	0,0044
Al	0,0162
Ca	0,0085
Cr	0,0132
Fe	0,0026
Co	0,0051
Cu	0,0015
Cd	0,001
Ti	0,0044
Mn	0,0053
Ni	0,0645
Zn	0,0007
Ba	0,0181
Pb	0,0019

Fonte: limite de detecção do Aparelho (vide manual da Spektro)

### 4.3 Gabinete final

#### 4.3.1 Análise descritiva dos dados

Os procedimentos para analisar os dados foram realizados a partir representação dos resultados na forma de gráficos, tabelas, utilização de metodologia estatística e a interpretação de medidas descritivas de dispersão e tendência central (média, variância, desvio padrão) (LICHT, 1998). Além disso, foram utilizados gráficos descritivos do tipo Histograma, com o intuito de detectar classes de valores mais frequentes sugerindo comportamentos e perfis específicos para cada variável. Os histogramas são ferramentas visuais que utilizam a representação gráfica para demonstrar amplitude dos valores do grupo de dados, os valores que apresentam maior frequência amostral e a discriminação dos valores anômalos do teor de fundo (LICHT, 1998). Para a comparação de histogramas relativos a diferentes elementos químicos em uma mesma campanha, é preciso utilizar na ordenada, uma escala de frequência relativa (%) à quantidade total de valores. Os valores dos histogramas serão acompanhados dos valores de média, moda e mediana.

#### 4.3.2 Análise espacial dos dados

A interpolação é um recurso estatístico que realiza a estimativa dos valores de uma variável, que se baseia na determinação de pontos intermediários em uma curva. As variáveis possuem capacidade de agrupamento por amostras mais próximas, e por isto acontece o processo de interpolação. Desta forma, os valores para um parâmetro são analisados em função de sua disposição espacial (LICHT, 1998). Para este trabalho, foi utilizado o programa de computador QGIS LTR 3.22.

O Inverse Distance Weighting (IDW) é uma técnica matemática que utiliza a combinação linear das amostras para a determinação de valores nos pontos interpolados. O recurso é computacionalmente rápido, já que a definição dos pesos para a ponderação linear é feita de maneira simples (LUCAS, 2013).

Segundo Andriotti (1988), a Krigagem leva em consideração o número de amostras utilizadas, as posições das amostras na área a ser avaliada, as distâncias entre as amostras e a zona a ser estimada e a continuidade espacial da variável em estudo.

## 5 RESULTADOS

Os resultados obtidos nas análises dos elementos potencialmente tóxicos nas amostras de água, assim como dos parâmetros físico-químicos coletados *in situ* foram comparados com os dados da resolução do CONAMA 357/2005 para avaliação da qualidade de água. Isso foi realizado com os dados de sedimentos, e a determinação da distribuição de elementos selecionados em sedimentos.

### 5.1 Água

#### 5.1.1 Dados físico-químicos da água

Os parâmetros físico-químicos representam uma parte importante da análise da qualidade das águas, pois são um retrato temporal das condições químicas da água no momento da medição. A pesquisa realizou a medição dos seguintes parâmetros físico-químicos: temperatura, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, total de sólidos dissolvidos, que estão apresentados a seguir no sumário estatístico que reúne todos os valores medidos na tabela 4.

Tabela 3 - Sumário estatístico dos dados físico-químicos.

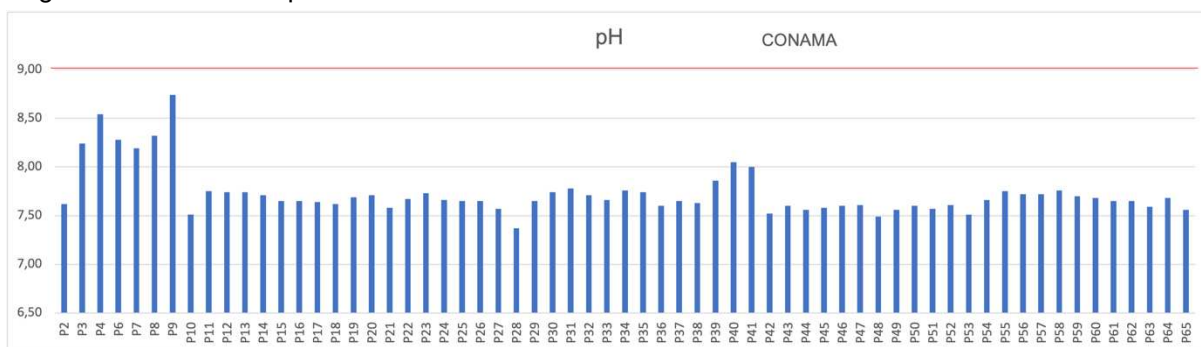
Sumário Estatístico							
	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio pad	Curtose	Assimetria
<b>Temp.[°C]</b>	27,218	27,09	26,28	29,63	0,625	2,754	1,312
<b>pH</b>	7,73	7,66	7,37	8,74	0,246	5,854	2,329
<b>ORP[mV]</b>	114,348	130,4	-23,8	198,9	61,074	0,25	-1,053
<b>EC[μS/cm]</b>	200,873	200	137	379	30,345	18,908	3,105
<b>TDS [ppt]</b>	0,099	0,099	0,048	0,189	0,017	14,583	2,025
<b>Sal.[psu]</b>	0,092	0,093	0,01	0,179	0,018	14,875	0,205
<b>D.O.[ppm]</b>	1,352	1,36	1,29	1,37	0,015	3,934	-1,627

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

#### 5.1.2 Potencial hidrogeniônico (pH)

Ao longo do lago da UHE Retiro Baixo, foram encontrados os resultados dos valores medidos de pH, onde nenhum deles apresentou está fora da faixa limite. Entretanto, nos pontos P3, P4, P6, P7, P8, P9, os limites apresentaram proximidade do limite estabelecido. Os valores estão demonstrados na figura 18.

Figura 18 - Valores de pH.



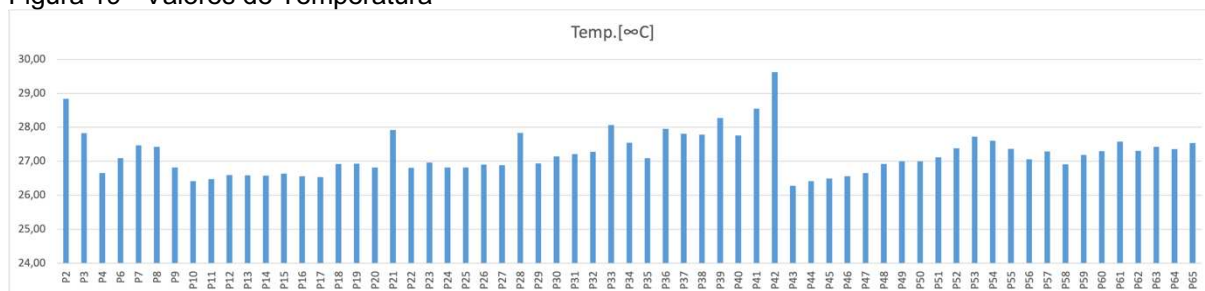
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

O parâmetro físico-químico potencial hidrogeniônico apresentou valores que variaram de 7,37 a 8,74, com média dos valores de 7,73 e mediana de 7,66. Pontos localizados as margens do lago apresentaram valores de pH mais alcalinos, porém o mais representativo foram valores de pH mais neutros.

### 5.1.3 Temperatura

A temperatura não apresenta valor estabelecido pela CONAMA. A resolução 357 estabelece apenas um valor máximo de 40 C para efluentes. As variações de temperatura estão apresentadas na Figura 20.

Figura 19 - Valores de Temperatura



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Os valores do parâmetro de temperatura medidos apresentaram constância nos valores, com variação entre o valor máximo medido foi de 29,63 °C medido às 13:32 horas. Já o valor mínimo foi de 26,28°C, medido as 09:57. O valor médio foi de 27,22 °C. Já os valores de mediana foi de 27,09. Pontos em que os valores de temperatura foram registrados mais altos foram coletados mais próximos a margem.

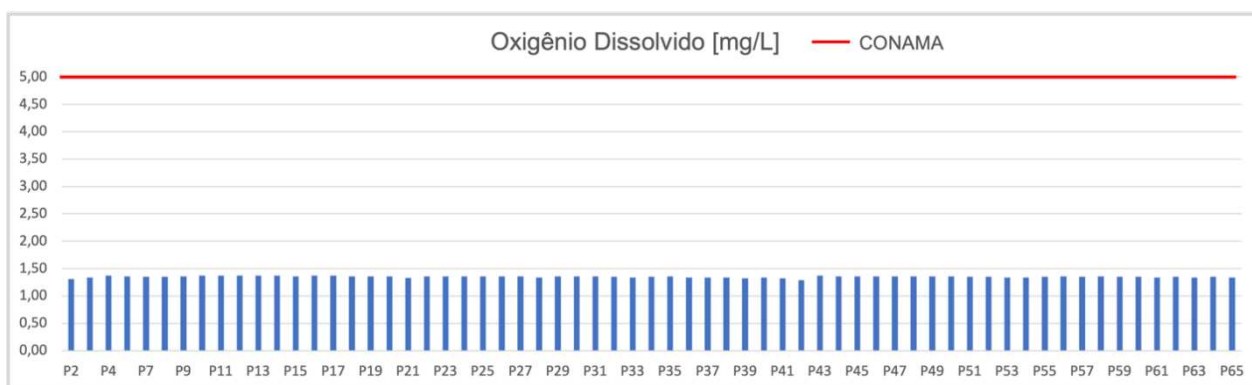
### 5.1.4 Oxigênio dissolvido



O oxigênio dissolvido é um parâmetro que auxilia a compreender a qualidade das águas de uma forma primária e dá um panorama geral de como a água está naquele momento.

Os valores de oxigênio dissolvido medidos estão de acordo com a norma vigente, ou seja, menores que 5 mg/L. No lago, os valores apresentados encontraram-se abaixo dos valores apresentados pelo CONAMA. Os valores estão mostrados no gráfico da Figura 20.

Figura 20 - Valores de oxigênio dissolvido.



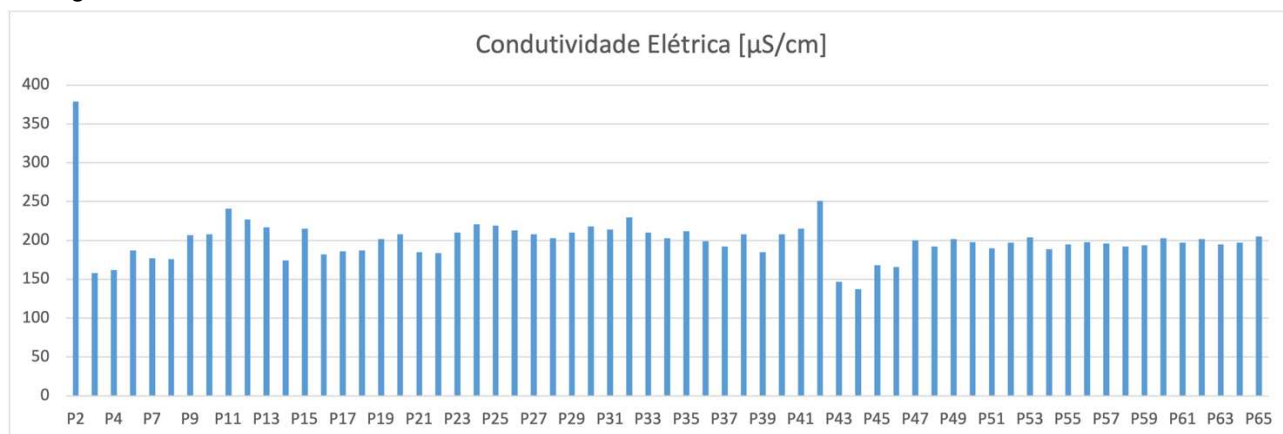
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

O valor mínimo registrado foi de 1,37 mg/L de O<sub>2</sub>. Os valores mínimos registrados foram de 1,29 mg/L, valores expressivamente abaixo da norma do CONAMA. O valor médio encontrado foi de 1,352. O valor da mediana foi de 1,36.

### 5.1.5 Condutividade elétrica

Os valores medidos em campo para este parâmetro apresentaram valores dentro da normalidade com máximo entre 379  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e o mínimo entre 137  $\mu\text{S}/\text{cm}$  como mostrado na figura do gráfico da Figura 21.

Figura 21 - Condutividade Elétrica.



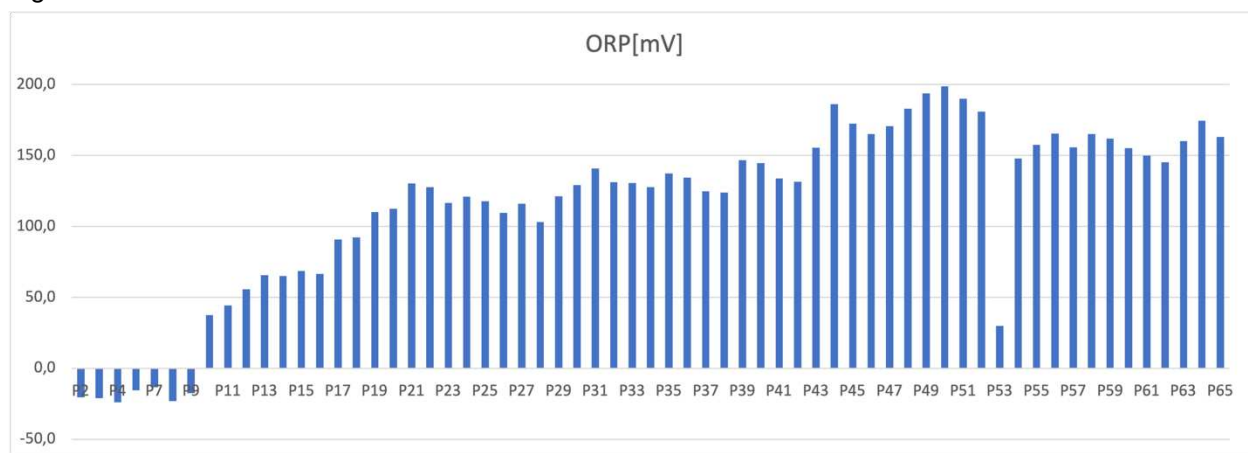
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

Nota-se um comportamento oscilatório nos valores de condutividade elétrica onde os valores de forma espacial apresentam uma diferença do norte para o sul o que pode indicar com que nos lagos dentro do lago da represa há diferenças dentre os seus principais afluentes. Os valores de condutividade elétrica estão diretamente relacionados aos valores de sólidos totais dissolvidos e de salinidade portanto é importante verificar os valores desses parâmetros juntos para poder gerar uma interpretação adequada.

#### 5.1.6 Potencial de oxidação redução

Os valores de ORP medidos no lago são lineares e sem muita variabilidade. Os valores foram demonstrados na Figura 22 e os valores máximos medidos foram de 198,9 mV enquanto os valores mínimos foram de -23,8 mV.

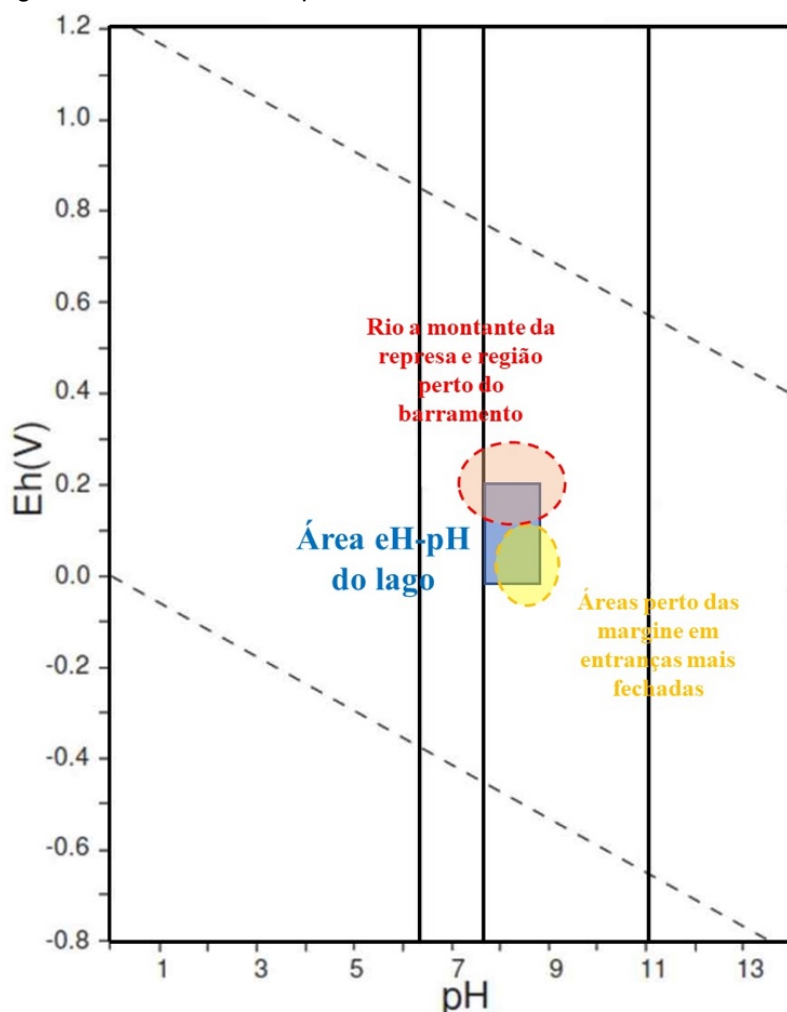
Figura 22 - Valores de ORP.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

O gráfico representa um diagrama de Pourbaix com medidas de pH amostradas no lago (figura 23). Portanto, o campo aberto pelas medidas obtidas na coleta indica uma área levemente redutiva a média oxidativa. A variação do pH é condicente com condições normais de uma água de lago e chega a valores mais altas em partes rasas e laterais com pouca movimentação e aquecimento mais pronunciado.

Figura 23 - Gráfico de Eh/pH.



Fonte: Adaptado TAKENO (2005).

## 5.2 EPT nas águas superficiais do lago

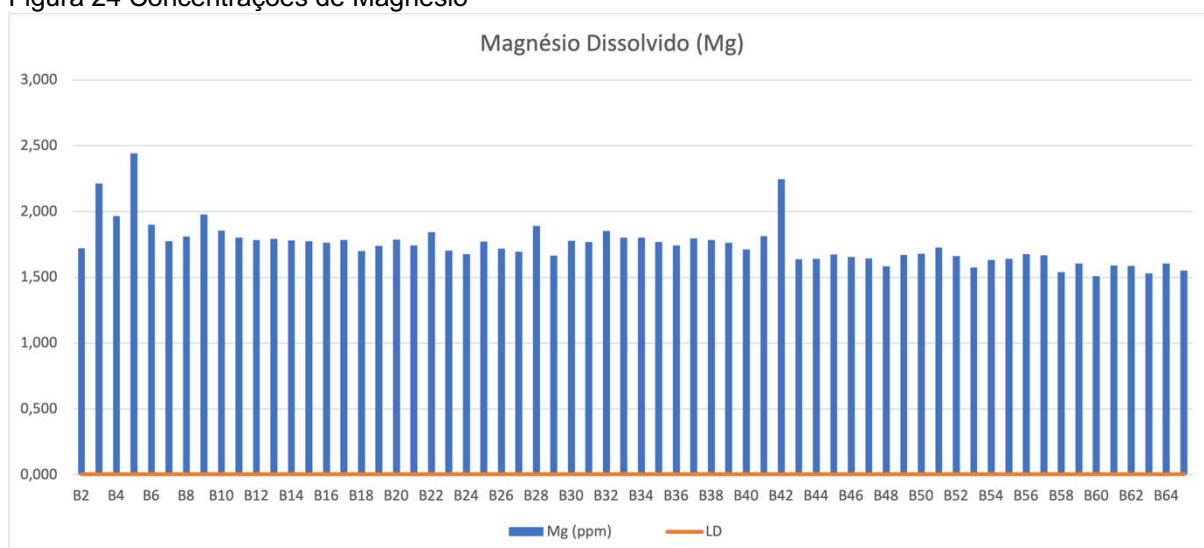
Nos dados medidos pelo ICP só os resultados de 3 elementos apresentaram valores acima do limite estabelecido pelo LD, representando assim valores elegíveis para interpretação. Os elementos detectáveis foram: cálcio, ferro e magnésio, enquanto os outros elementos apresentaram valores abaixo do limite de

detecção do aparelho, impossibilitando assim a quantificação precisa dos seguintes elementos: alumínio, bário, cádmio, cromo, cobre, cobalto, manganês, níquel, chumbo, titânio e zinco. A Resolução CONAMA 357/05 considerados limites aceitáveis para a concentração de alumínio, zinco ferro, boro e manganês, respectivamente, 0,1 mg/L; 0,18 mg/L; 0,3 mg/L; 0,5 mg/L; 0,1 mg/L.

### 5.2.1 Magnésio dissolvido

As concentrações de Mg apresentaram valores acima do LD em todos os pontos amostrados, com pouca variabilidade de valores. O valor máximo registrado foi de 2,442 mg/L e o valor mínimo foi de 1,511 mg/L. Os pontos B5 e B42 apresentaram os maiores valores identificados, sendo que o ponto B5 estava localizado na margem do lago (Figura 23).

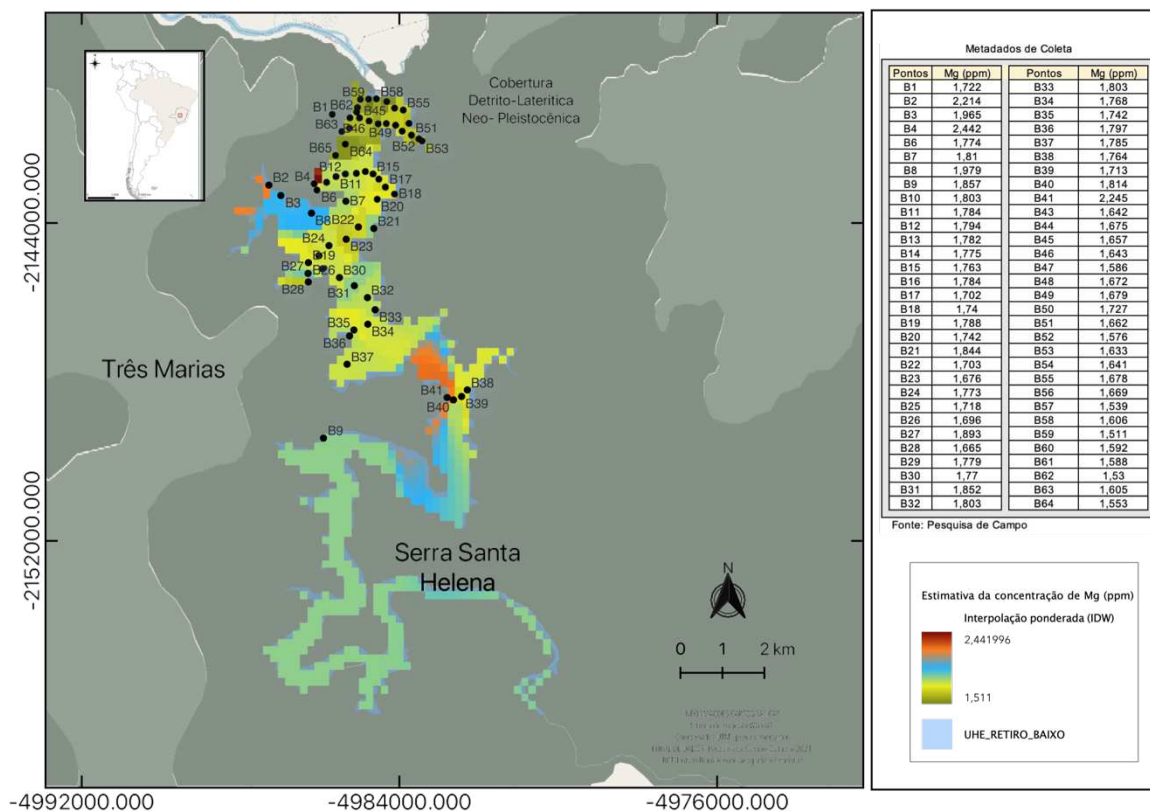
Figura 24 Concentrações de Magnésio



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

A Figura 24 destaca os padrões espaciais de Mg no lago. Foi evidenciado que há uma distribuição bem homogênea na extensão do lago, com pequenos aumentos de concentração nos pontos P4 e P42.

Figura 25 - Distribuição espacial das concentrações de Magnésio

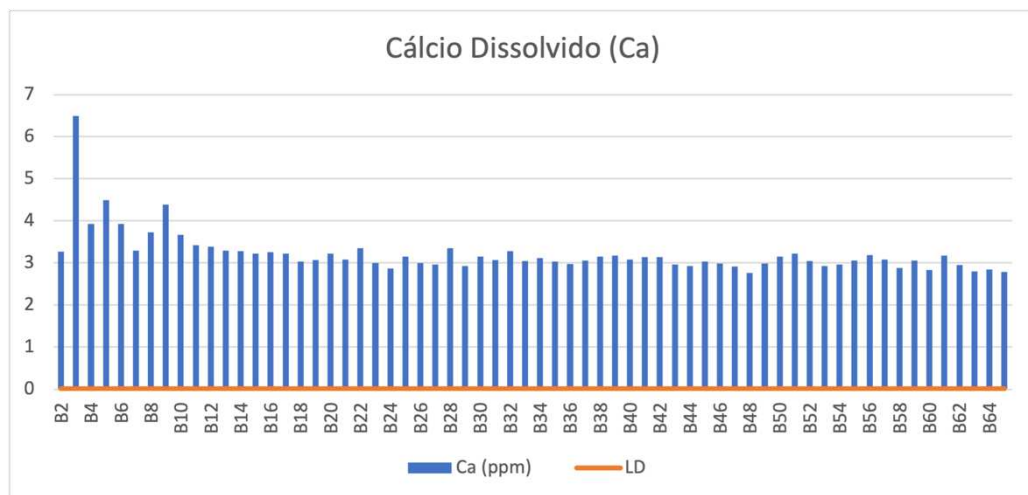


Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

### 5.2.2 Cálcio dissolvido

Os valores encontrados apresentaram pouca alterabilidade, realçando os dados do ponto B3 e B10 que apresentaram os maiores valores registrados, conforme mostra a Figura 25. Os valores de máximo registrados foram de 6,49mg/L, e os valores mínimos foram de 2,762mg/L.

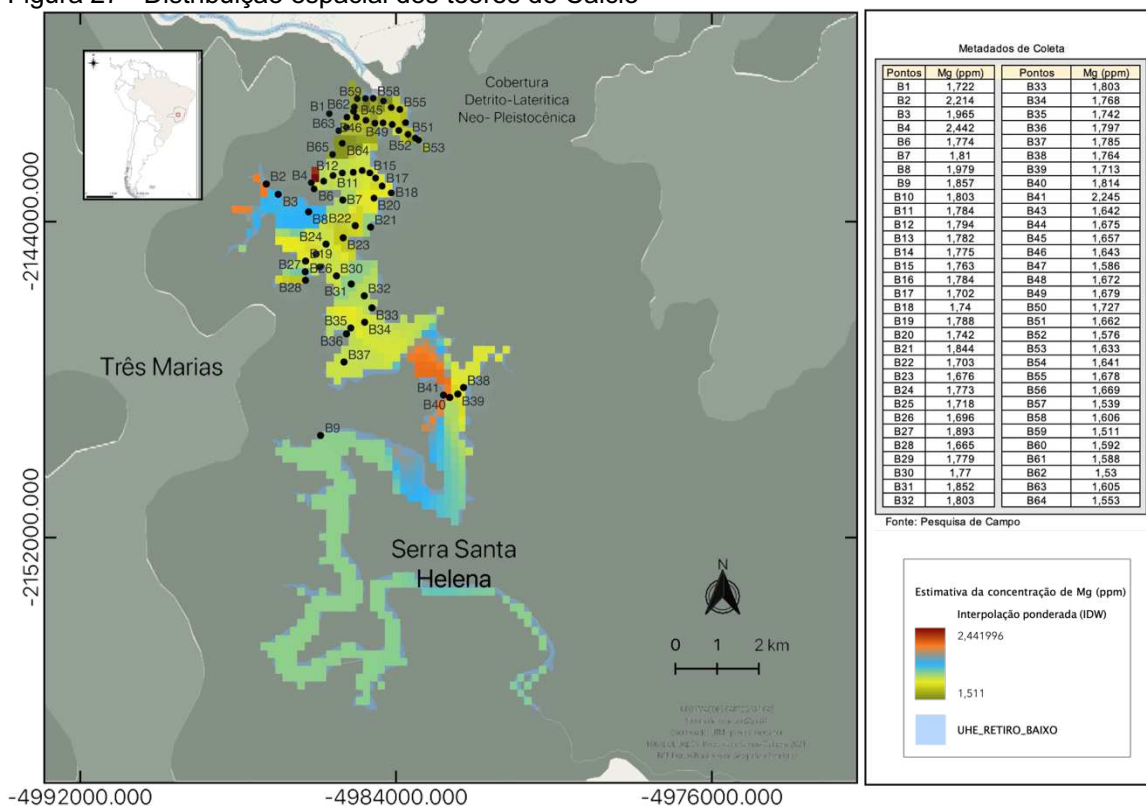
Figura 26 - Concentrações de Cálcio



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

A Figura 26 destaca os padrões espaciais de Ca no lago. Foi evidenciado que há uma distribuição homogênea na extensão do lago, com uma alteração no teor no P3.

Figura 27 - Distribuição espacial dos teores de Cálcio



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

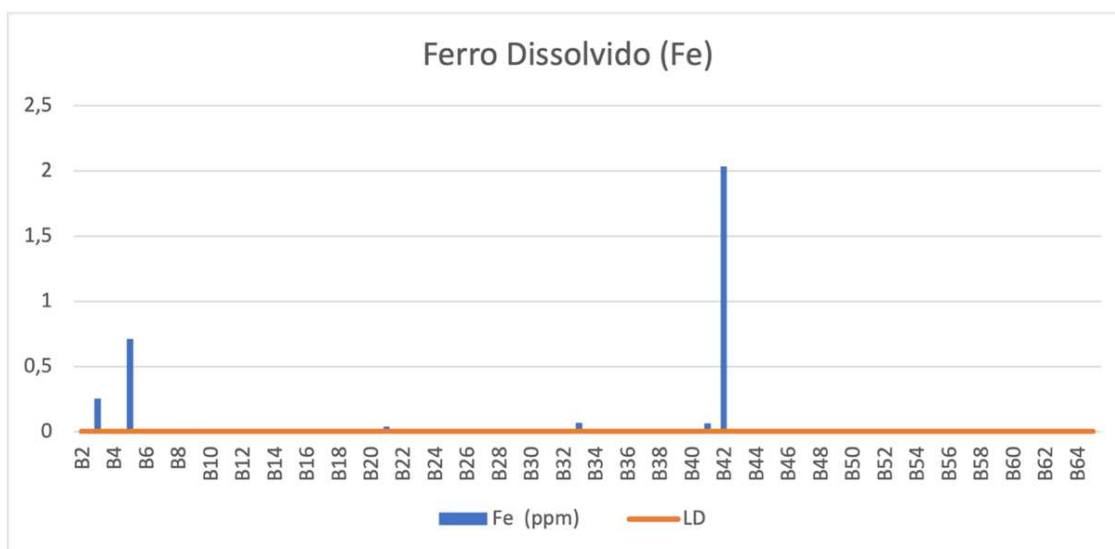
A concentração de cálcio e do magnésio pode ser associada a composição das rochas encaixantes nas quais o lago é inserido, uma vez que o cálcio está presente em boa parte das rochas carbonáticas, pois é o constituinte principal das rochas carbonáticas.

As águas ricas em magnésio e cálcio não apresentam maiores perigos para a população, mas são indicativos de que a presença desses elementos é notável no meio.

### 5.2.3 Ferro Dissolvido

Os valores medidos de ferro apresentaram somente uma variabilidade, pequena com alterações na concentração dos teores de forma pontual, como demonstrado na figura 27.

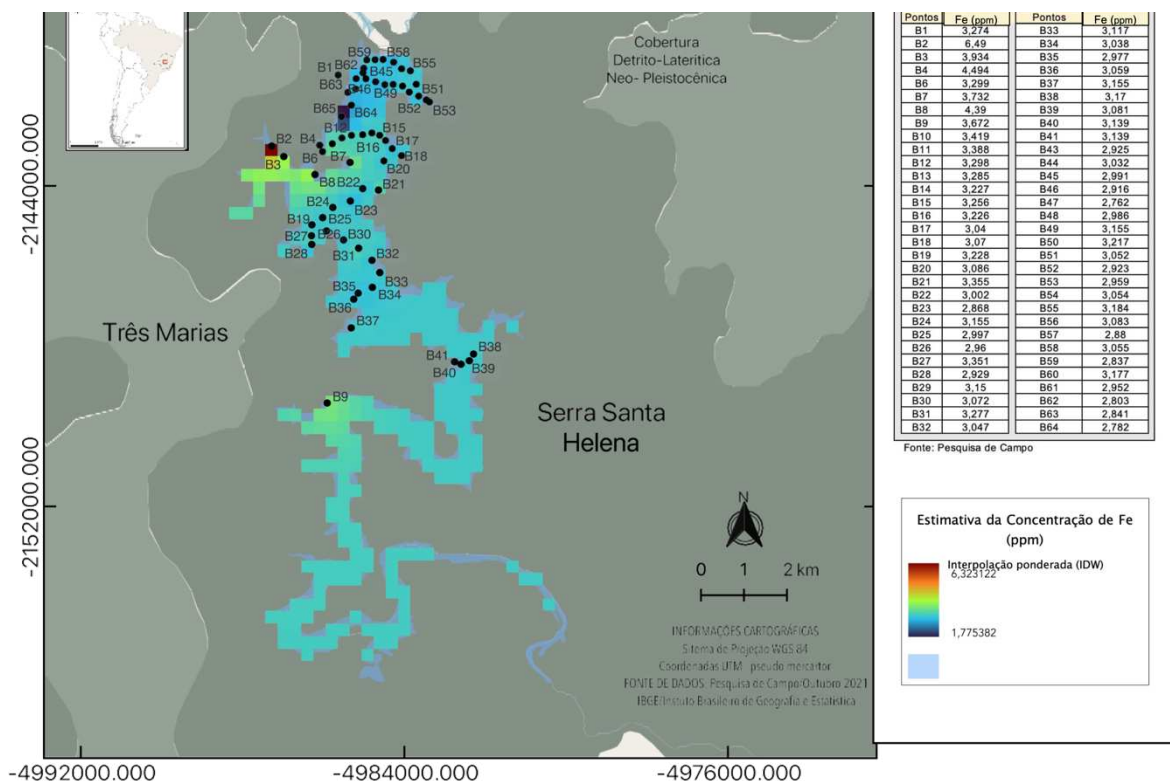
Figura 28 - Valores de ferro dissolvido



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

A Figura 28 destaca os padrões espaciais de Fe no lago. Muitos dos valores registrados apresentaram valores abaixo do limite de detecção, contudo houve alteração no teor no P2, P4 e P42.

Figura 29 - Distribuição espacial de ferro.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

A maior contaminação foi encontrada no ponto B42, um ponto na margem do lago. Os valores máximos registrados foram 2,03 mg/L, e os valores mínimos 0,25 mg/L. Segundo o CONAMA, a quantidade de ferro dissolvido estipulada como limite máximo é de 0,3 mg/L, e os pontos encontrados permaneceram em sua maioria dentro dos limites da normalidade estipulados pelo conselho.

## 5.3 Sedimentos

### 5.3.1 EPT nos sedimentos

Nas análises realizadas dos sedimentos, 10 elementos apresentaram valores



acima do limite estabelecido pelo LD, representando assim valores elegíveis para interpretação, exibidos na tabela 4. Os elementos detectáveis foram: magnésio, alumínio, cálcio, cobalto, bário, cobre, titânio, manganês, zinco e chumbo, enquanto os outros elementos apresentaram valores fora do limite de detecção do aparelho, impossibilitando assim a quantificação precisa dos seguintes elementos: ferro, cádmio, cromo, níquel.

A legislação CONAMA 454/2012 estabeleceu os limites máximos para concentração dos metais Pb, Cu, Cr, Ni e Zn nos sedimentos em relação aos níveis 1 (limiar abaixo do qual não se observa efeito adverso à biota) e 2 (valor acima do qual provavelmente se observa efeito adverso à biota), sendo estes os valores estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Teores permitidos pela CONAMA 454/2012

<b>Elementos químicos</b>	<b>Nível 1 (mg/kg)</b>	<b>Nível 2 (mg/kg)</b>
<b>Chumbo (Pb)</b>	35,00	91,30
<b>Cobre (Cu)</b>	35,70	197,00
<b>Cromo (Cr)</b>	37,30	90,00
<b>Níquel (Ni)</b>	18,00	35,90
<b>Zinco (Zn)</b>	123,00	315,00

Fonte: (CONAMA, 2012)

Em 2019, o CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, realizou o monitoramento especial da bacia do rio Paraopeba, após a passagem do rejeito decorrente do rompimento da barragem no complexo da Mina Córrego do Feijão, pertencente à Vale, situada em Brumadinho/MG. Estes valores estão expressos abaixo na Tabela

Tabela - Parâmetros Físico-químicos e Levantamentos Geoquímicos realizados no Rio Paraopeba em 2019.

Rio Paraopeba - Campanha 2 de 13 a 22 de fevereiro de 2019	
<b>Estação/Localidade</b>	CCA012 - Represa da UHE Retiro Baixo
<b>Distância da Barragem (km)</b>	273
<b>Data da Coleta</b>	16/02/2019
<b>pH</b>	7.22
<b>OD (mg/L)</b>	6.76
<b>Condutividade Elétrica (µS/cm)</b>	103.2
<b>Temperatura (°C)</b>	27.5
<b>Passagem da Pluma</b>	não
<b>Al (mg/L) LQ &lt;0.003</b>	0.276
<b>Ba (mg/L) LQ &lt;0.01</b>	0.0293
<b>Ca (mg/L) LQ &lt;0.01</b>	6.757
<b>Fe (mg/L) LQ &lt;0.002</b>	0.169
<b>Mg (mg/L) LQ &lt;0.01</b>	1.882
<b>Mn (mg/L) LQ &lt;0.01</b>	0.0122
<b>Pb (mg/L) LQ &lt;0.002</b>	<LQ

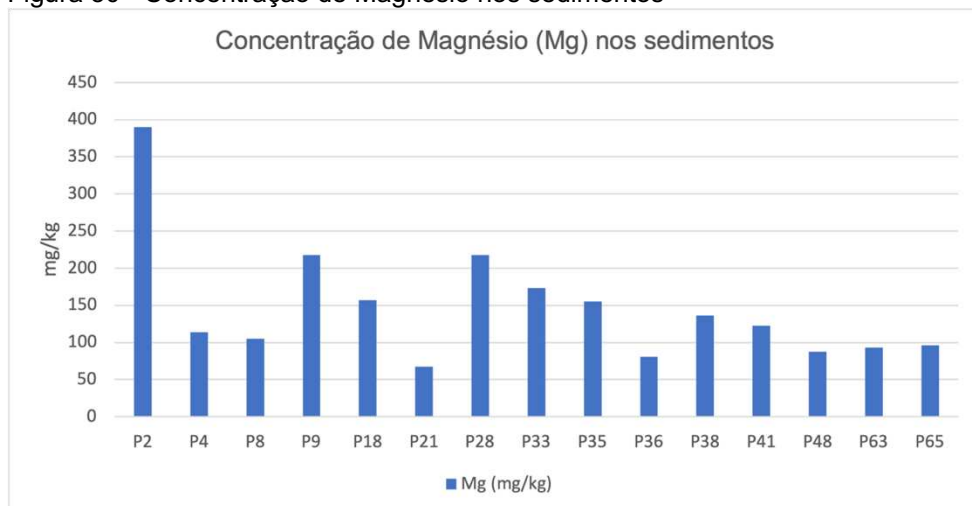
Fonte: CPRM (2019).

### 5.3.2 Magnésio

Os valores da concentração do magnésio dissolvido demonstraram uma distribuição homogênea pelo lago. Somente no ponto P2 houve um valor acima do registrado nos outros pontos, com o valor de 390,2 mg/kg. Esse ponto encontra-se a margem esquerda do rio, dentro da comunidade que vive próximo da represa, o que pode indicar influência antropogênica da região. O menor valor registrado foi encontrado no ponto 21, com 67,3 mg/kg, conforme mostrado na Figura 29. O

magnésio não é um elemento extremamente tóxico para o ser humano, e não possui valores regulamentares de legislações brasileiras.

Figura 30 - Concentração de Magnésio nos sedimentos

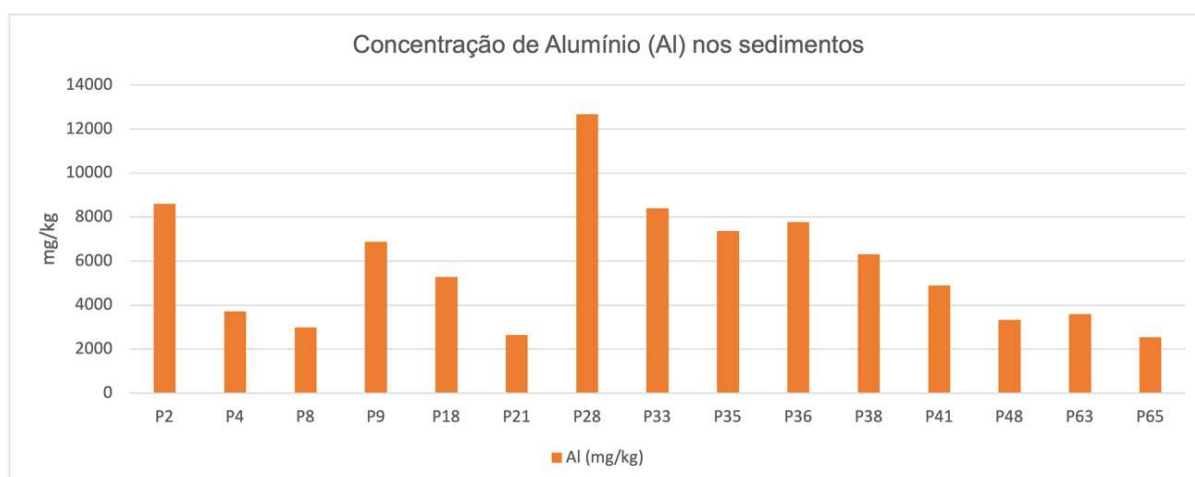


Fonte: Elaboração do Autor. (2022)

### 5.3.3 Alumínio

O alumínio é um elemento que o CONAMA não estabeleceu valores de referência para o alumínio, e ele não é considerado um elemento extremamente tóxico. Entretanto, a Agência de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças dos Estados Unidos, estabelece que a concentração de Al no solo pode variar de 7 até 100 g/kg (100000 mg/kg). Nos sedimentos do lago foi detectado uma grande concentração de alumínio nos pontos coletados as margens do rio, vide Figura 30. O solo encontrado na região é classificado como cambissolo háplico alumínico (IBGE, 2006), indicando

Figura 31 - Concentração de Magnésio nos sedimentos



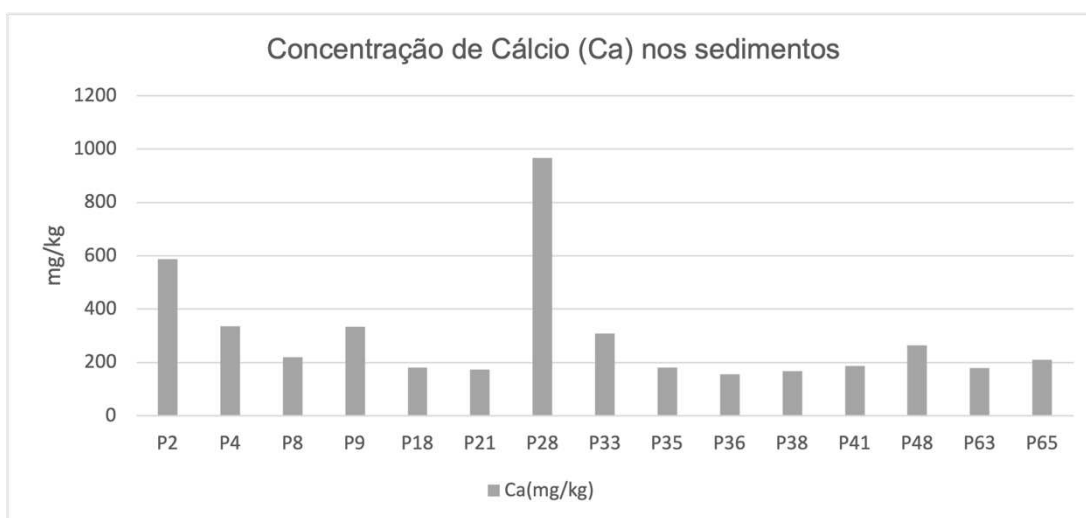
Fonte: Elaboração do Autor. (2022)

a alta porcentagem de alumínio no solo. O ponto com menor concentração foi o P65 (2543 mg/kg), e o maior ponto foi o P65 (12680 mg/kg).

#### 5.3.4 Cálcio

O cálcio é um macro nutriente essencial aos vertebrados e invertebrados e desempenha importante papel no ciclo do carbono por ser o seu fixador como carbonato de cálcio. É o metal mais abundante no corpo humano, principalmente na forma de fosfato de cálcio, constituinte de ossos e dentes (FÖRSTNER E WITTMANN, 1983). A variação de cálcio encontrada no sedimento apresentou-se de forma homogênea, sem maiores variações nos valores distribuídos no lago (Figura 31). O ponto com menor concentração foi o P38 (168,4 mg/kg), e o maior ponto foi o P28 (967 mg/kg).

Figura 32 - Concentração de Cálcio nos sedimentos



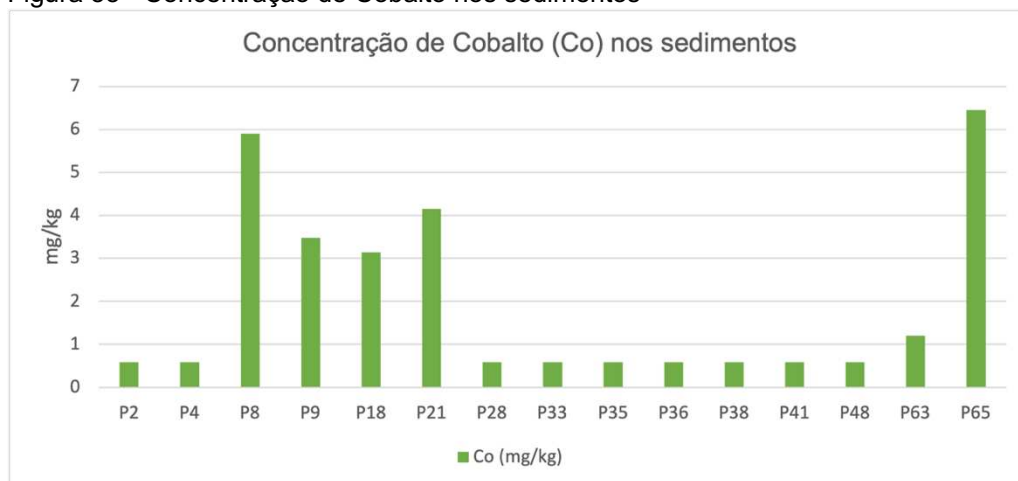
Fonte: Elaborado pelo Autor. (2022)

#### 5.3.5 Cobalto

Cobalto é um elemento relativamente escasso na crosta terrestre, e é comumente encontrado associado a níquel, prata, chumbo, cobre e ferro, e pode ocorrer de em formas de sulfetos e óxidos. Nos solos o cobalto é um elemento

relativamente abundante. Nos teores de cobalto detectados, a maioria apresentou-se abaixo dos limites de detecção do aparelho (Figura 32). Contudo, o ponto com maior concentração foi o P65 (6,45 mg/kg), e o menor ponto foi o P28 (0,58 mg/kg).

Figura 33 - Concentração de Cobalto nos sedimentos

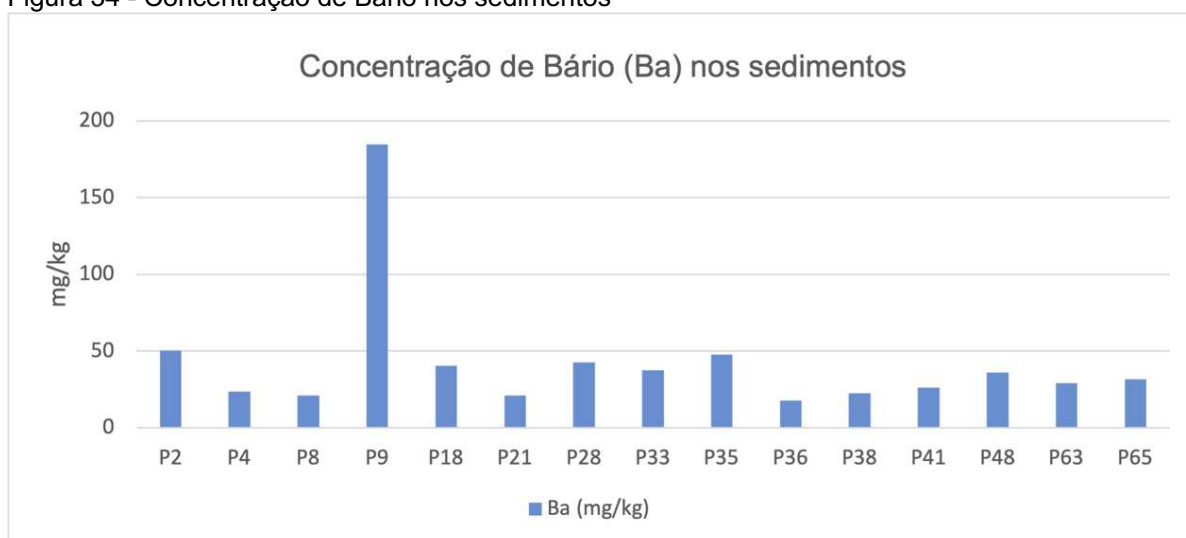


Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

### 5.3.6 Bário

Bário é um elemento do grupo dos metais que ocorre na natureza em diferentes compostos, e não há estudos conhecidos que apresentem função biológica deste elemento. Entretanto, o ponto com maior concentração foi o P9 (184,9 mg/kg), e o menor ponto foi o P36 (17,77mg/kg).

Figura 34 - Concentração de Bário nos sedimentos

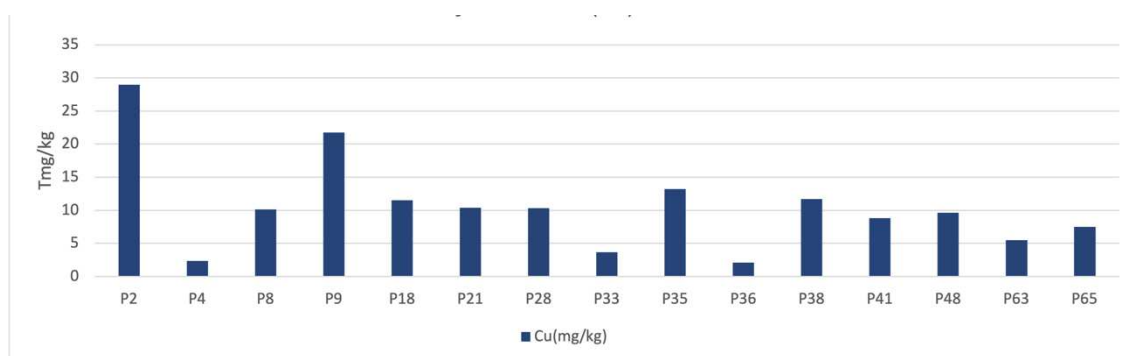


Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

### 5.3.7 Cobre

O cobre é um metal abundante na crosta terrestre, e é reconhecido como um elemento essencial na composição dos seres humanos. Ele está presente em várias enzimas, e atua no transporte de oxigênio da hemoglobina (FÖRSTNER E WITTMAN, 1983). Para sedimentos, a CONAMA n° 454/12 define como nível 1 a concentração de 35,70 mg/kg, e para o nível 2 a concentração de 197mg/kg, conforme Figura 34. Na área de estudo, nenhum dos teores encontrados ultrapassou os valores propostos pela CONAMA. O ponto com maior concentração foi o P2 (28,94 mg/kg), e o menor ponto foi o P4 (2,35 mg/kg).

Figura 35 - Concentração de Cobre nos sedimentos

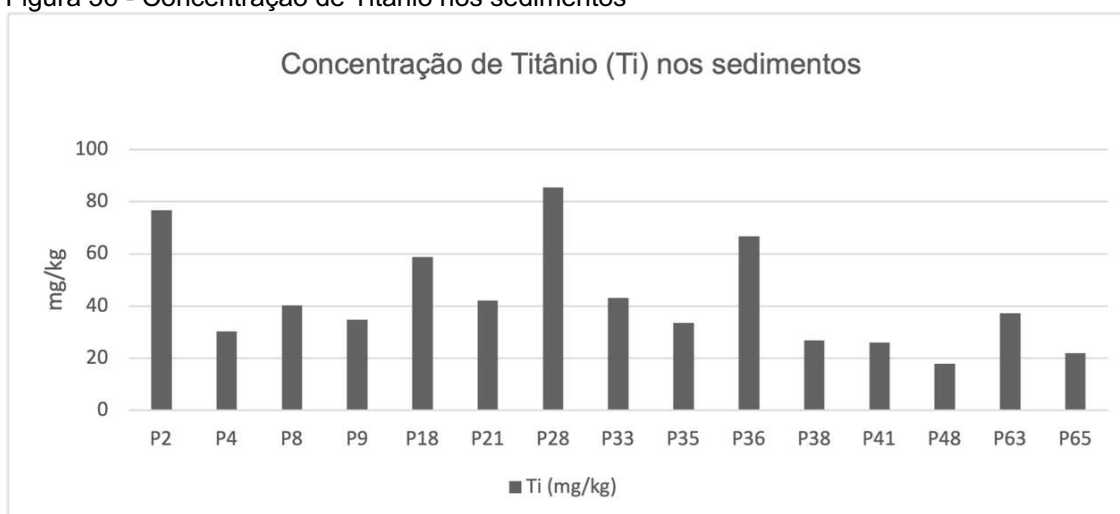


Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

### 5.3.8 Titânio

O titânio é um elemento potencialmente tóxico, mas que não possui regulamentações a respeito se há periculosidade em altas concentrações ou não. Contudo, na área estudada, o elemento manteve-se de forma bem similar em todas as amostragens, com destaque para aumento de concentrações no ponto P2, P28 e P36 (Figura 35). O ponto com maior concentração foi o P2 (76,7 mg/kg), e o menor ponto foi o P48 (17,73 mg/kg).

Figura 36 - Concentração de Titânio nos sedimentos

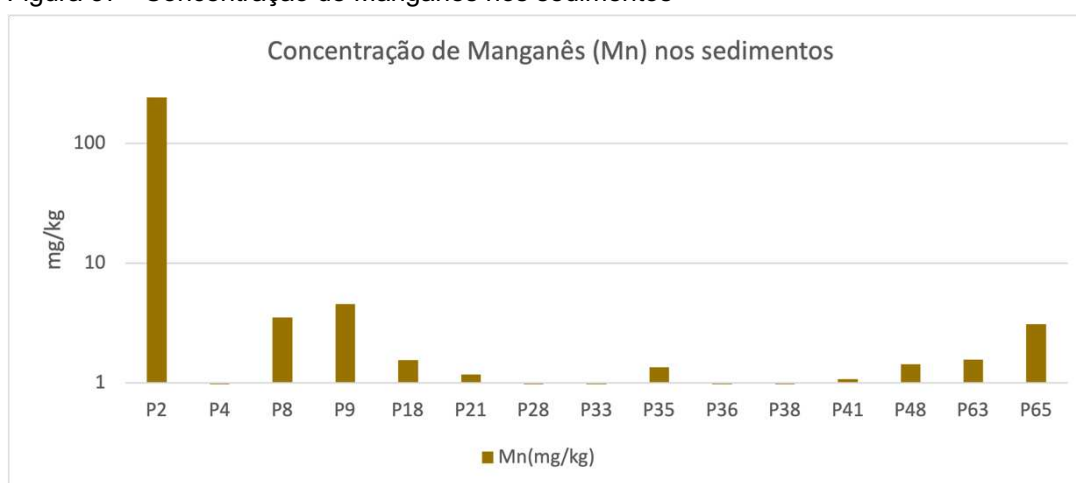


Fonte: Elaborado pelo Autor. (2022)

### 5.3.9 Manganês

O manganês é um elemento que possui grande abundância na natureza, com teores variando de 350 mg/kg a 2.000 mg/kg (KABATA-PENDIAS E PENDIAS, 1984). Na região estudada, os teores de manganês em sua maioria, apresentarem valores abaixo dos limites de detecção. Entretanto, o ponto com maior concentração foi o P2 (241,5 mg/kg), e o menor ponto foi o P36 (0,255 mg/kg), visto na Figura 36. O ponto P2, foi coletado a margem do rio, próximo a concentração de residências, o que pode justificar o grande teor.

Figura 37 - Concentração de Manganês nos sedimentos

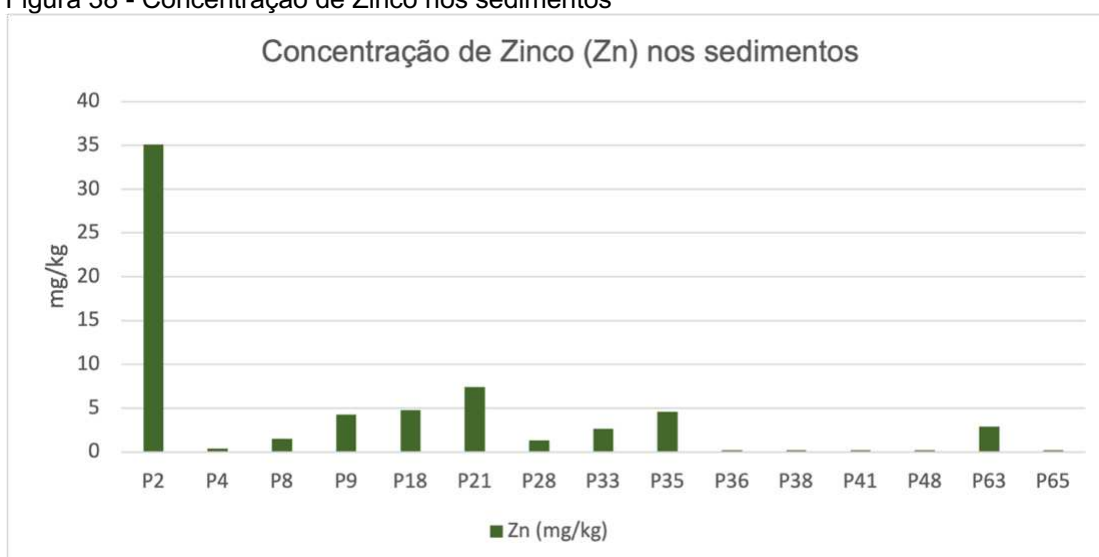


Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

### 5.3.10 Zinco

O Zinco (Zn) é um elemento químico da classe de metais de transição. Nos seres humanos, o zinco é um elemento importante para o corpo humano, e parece estar presente em todos os mamíferos. Para sedimentos, a CONAMA n° 454/12 define como nível 1 a concentração de 123,00 mg/kg, e para o nível 2 a concentração de 315 mg/kg. Na área de estudo, dos valores de zinco detectados, nenhum ultrapassou os níveis de teores estabelecidos pelo Conama. O ponto com maior concentração foi o P2 (35,09 mg/kg), e o menor ponto foi o P48 (0,17 mg/kg), mostrado na Figura 37.

Figura 38 - Concentração de Zinco nos sedimentos



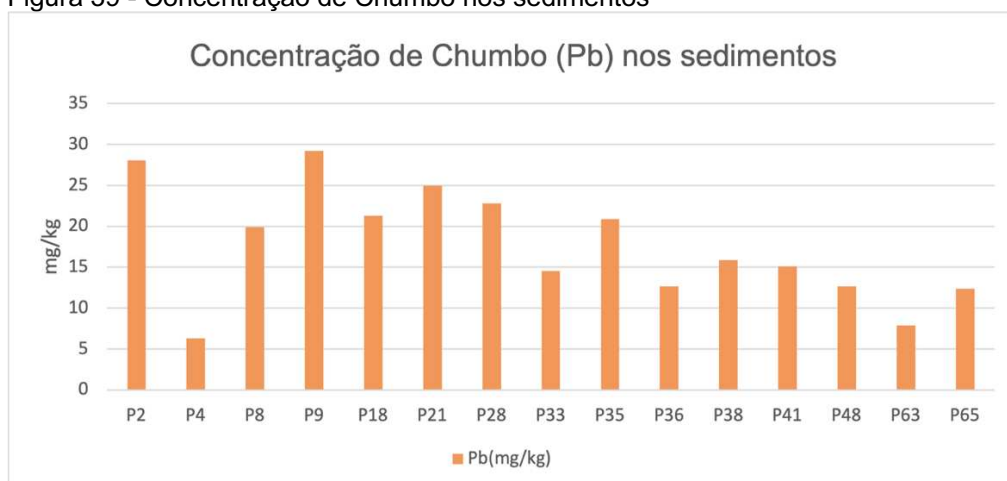
Fonte: Elaborado pelo Autor (2022)

### 5.3.11 Chumbo

O chumbo é um elemento com baixo ponto de fusão, o que lhe dá a característica de ser maleável, um aspecto muito importante para que ele seja utilizado na indústria. Para sedimentos, a CONAMA n° 454/12 define como nível 1 a concentração de 35,00 mg/kg, e para o nível 2 a concentração de 91,30 mg/kg no lago, os teores detectados de chumbo não ultrapassaram os valores estabelecidas pelo CONAMA, onde o ponto com maior concentração foi o P9 (29,22 mg/kg), e o menor ponto foi o P4 (6,3 mg/kg), mostrado na Figura 38.



Figura 39 - Concentração de Chumbo nos sedimentos



Fonte: Elaboração do Autor (2022)

## 6. DISCUSSÃO

O lago da represa Retiro Baixo, assim como o rio Paraopeba possuem influência direta da composição litológica do ambiente. Tais informações são comprovados pela comparação dos dados analisados com literaturas. Os valores de pH demonstraram uma homogeneidade nos valores medidos no lago, de forma que o pH de natureza básica foram os predominantes na região.

Os valores de água constituíram informações importantes para a avaliação da qualidade do lago. Foi medido uma baixa concentração de elementos potencialmente poluentes, o que pode indicar a hipótese de que houve recuperação e diminuição na concentração de elementos potencialmente poluentes do lago três anos após o desastre ambiental da mina do fundão. Isso pode acontecer pela quantidade de metros cúbicos de água corrente que passam pelo lugar, o que confere uma maior mobilidade de elementos dentro da água (FÖRSTNER E WITTMANN, 1983).

As condições físico-químicas apresentadas no lago resultam em mobilidade reduzida conferida aos elementos que possuem menor capacidade de solubilidade na água, pois podem se precipitar em forma de hidróxidos e óxidos. A grande quantidade de aguapé (*Eichhornia crassipes*) indica a disponibilidade de material orgânico como fosfatos, nitratos o que pode ocasionar eutrofização. Além disso, estes elementos podem estar adsorvidos a frações finas, tais como siltes e argilas. Contrariamente, os elementos que possuem maior solubilidade na água, como o Ca e Mg, possuem uma maior mobilidade, ficando mais disponíveis na água do lago (ESTEVES, 1998).

Na parte marginal oeste e leste do lago e do rio a montante as condições OPR são mais redutivas do que no lago propriamente dito. Uma situação oxidativa encontra-se na superfície do lago perto do barramento, provavelmente intensiva da pela atividade biológica (e.g. aguapé).

O pH no rio e no lago varia em torno de 7,5, valores normais para condições fluviais. Também nas regiões marginais e no rio a montante o pH está mais alto, chegando a 9. Estas condições eH-pH favorecem a estabilidade de ânions como  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{F}^-$  e  $\text{Cl}^-$ . O Ba e outros álcalis terrosas podem formar precipitados insolúveis com  $\text{SO}_4^-$ , e o  $\text{Ba}^{2+}$  é precipitado na forma de  $\text{BaSO}_4$ . A sua presença no sedimento ocorre na forma de sulfatos e/ou adsorvidos em minerais. A concentração na água é determinada pelos seus produtos de solubilidade. Os

elementos álcalis estão como íons simples nestas condições e ocorrem nos sedimentos adsorvidos a óxidos, argilas e material orgânico (VOGEL, 1981).

Cátions como Mn, Ni, Cd, Cu, Pb, Zn e Cr estão no estado iônico simples, ou/e em região com pH e ORP mais alto na forma de  $\text{OH}(\text{aq})^-$  complexos ou em compostos insolúveis de complexos OH que podem precipitar para os sedimentos. Sua ocorrência nos sedimentos ocorre, em função das condições, ou de óxidos, hidróxidos ou adsorvidos a estes e material orgânico ou argilas.

Fe ocorre na forma de  $\text{Fe}^{3+}$  ou as suas formas de OH. Assim ele se engloba no sedimento principalmente na forma de hidróxido ou óxido.  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  ocorrem na forma de íons em equilíbrio com o anión  $\text{HCO}_3^-$ . Desta forma somente com uma variação de  $\text{CO}_2$  dissolvido ocorre precipitação, especialmente nas regiões marginais com temperatura mais alta, contribuindo para o sedimento na forma de  $\text{CaCO}_3$  formado biologicamente.

Levando em consideração estes dados obtidos no lago, pode se concluir entre a distribuição dos elementos entre a água e o sedimento que Fe e Mn ocorrem distribuídos em um equilíbrio regulado pelo pH e eH e a temperatura.

Os elementos álcalis e do grupo de orbitais d estão em equilíbrio de troca de íons com os minerais do sedimento conforme condições do ambiente. O alumínio ocorre na forma de  $\text{AlO}_2^-$  ou  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  na água e na forma de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ou  $\text{Al}_2\text{O}_3$  no sedimento. O cromo ocorre na forma de  $\text{Cr}^{3+}$  e assim principalmente na forma de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  no sedimento.

É importante ressaltar que as observações se baseiam na camada superior da água e os sedimentos de fundo em contato com ela. Também não foi levado em consideração a composição químico-estrutural dos minerais. As condições para a profundidade do lago podem variar consideravelmente e sem modelamento não é possível de levar isto em consideração.

Os dados obtidos por meio das análises físico-químicas in situ, e análises químicas de concentrações dos elementos potencialmente poluentes demonstram que em um panorama geral a água do lago da represa Retiro Baixo demonstra ter no recorte realizado por esta pesquisa uma qualidade de água satisfatória para a utilização do recurso, que já é aproveitado pela população que vive nos arredores do lago da barragem. Contudo, é preciso se ter uma gestão do recurso hídrico para que se haja um aproveitamento ecológico e positivo para todos.

Os sedimentos apresentaram concentrações diferentes de elementos potencialmente poluentes, com destaque para as concentrações de Al, Ca, Mg, Mn, Ti, Ba, Co, Cu, Zn, Pb que apresentaram um comportamento influenciado pela presença dos aspectos geogênicos. Estes aspectos possuem composição principal das rochas do Grupo Bambuí, característica da área de estudo. Os sedimentos apresentaram valores dentro dos teores propostos pela resolução CONAMA 454/2012, o que demonstra a normalidade dos teores dos elementos potencialmente tóxicos na região. Entretanto, a legislação abrange apenas alguns elementos específicos, que resulta em uma ausência de maiores valores comparativos para o background da saúde daquele ecossistema.

Em comparação aos valores coletados pelo CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, realizou o monitoramento especial da bacia do rio Paraopeba, o valor médio de pH do lago em 2019 era 7,22, e em 2021, o valor de pH elevou, alcançando valores de até 8. Os valores de condutividade elétrica coletados em 2019 são menores dos coletados em 2021. A temperatura se mostrou semelhante em 2019 e 2021. Levando em consideração os resultados da investigação no lago da Usina Retiro Baixo, na Bacia do Rio Paraopeba, pode-se concluir que o evento não apresenta mais influência sobre a composição da água na situação atual. A poluição é semelhante àquela antes do rompimento da barragem e pode ser causada por todas as atividades antrópicas a montante. A concentração e os parâmetros físico-químicos estão dentro da faixa permitida. Os sedimentos apresentam ainda altas concentrações de Fe, Mn e Al e elementos traço que podem estar relacionados à liberação de material de pedreiras e locais de mineração.

Com o estudo de amostras de fundo, não é possível determinar exatamente as fontes e o momento das contribuições. Para uma avaliação mais exata é necessário obter amostras de testemunho e realizar análises segmentais com datação dos perfis.

Com o presente trabalho pode se afirmar que a composição das amostras de água e dos sedimentos não indicam quaisquer resíduos de influência do evento ocorrido. A água do lago, avaliando os resultados obtidos, não é apropriado para consumo humano, mas para transporte, se enquadrando na classe II, conforme determinado pela CONAMA 357/2005.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho realizado tem caráter exploratório, visto que não havia pesquisas específicas sobre a poluição do lago da Usina hidrelétrica de Retiro baixo.

Para obter uma informação mais consolidada sobre a evolução e situação ambiental em tempo será necessário de executar furos nos sedimentos de fundo para fazer datação e eludir a evolução mineral, granulométrica e química com as diversas entradas de material no Rio Paraopeba e especialmente na bacia do lago como foi feito no trabalho sobre lagoas marginais (TRINDADE, 2010).

As observações se baseiam na camada superior da água e os sedimentos de fundo em contato com ela, portanto, futuramente pode se desenvolver trabalhos que explores diferentes metodologias das aplicadas ao presente trabalho, incluindo a inserção de uma base maior de dados temporais a respeito da bacia do rio Paraopeba. Assim, este trabalho conclui que o lago da Usina Hidrelétrica Retiro baixo é um ambiente de boa qualidade ambiental, com baixos índices de contaminação nos recursos hídrico, e que o derramamento de lama ocorrido em Brumadinho já não apresenta superficialmente tanta influencia em suas águas e sedimentos.

Com relação aos valores comparativos entre os obtidos pela CPRM e pelos valores da presente pesquisa, podemos concluir que os valores de pH em 2019 aumentaram em relação aos valores de 2021, conforme mostrado na Tabela x.

<b>Valores CPRM (2019):</b>	<b>Valores 2021:</b>
<b>pH</b> - 7,22	pH - 7,73
<b>OD</b> - 6,76 mg/L	OD - 1,35 mg/L
<b>C.E</b> - 103,2 $\mu\text{s/cm}$	C.E - 200 $\mu\text{s/cm}$
<b>Temperatura</b> - 27,5 °C	Temperatura - 27,2 °C
<b>Ca</b> – 6,75 mg/L	Ca – 6,49 mg/L
<b>Mg</b> – 1,88 mg/L	Mg – 1,773 mg/L
<b>Fe</b> – 0,169 mg/L	Fe - 0,25 mg/L

Os valores de oxigênio dissolvido, contudo, diminuíram com o passar dos anos, demonstrando um ambiente redutivo no lago. Os valores de condutividade elétrica aumentaram em 2021, implicando em um potencial aumento de partículas suspensas no lago. A temperatura manteve-se estável, com média de 27 graus. Contudo, a

temperatura pode ser variável por conta da variação da hora, ou dias que podem ter aumento na temperatura. Os valores de cálcio mantiveram-se semelhantes, e os valores de magnésio também. Os valores de ferro diminuíram em 2021, o que pode representar uma diminuição da presença de ferro na água. Entretanto, esse valor ainda pode apresentar-se numa quantidade maior aglutinada aos sedimentos do fundo do lago.

## REFERÊNCIAS

ALKIMIM, F. F. **História geológica de Minas Gerais**. Departamento de Geologia Escola de Minas, UFOP. Morro do Cruzeiro s, n. 35400000, 2018.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Introdução à Geoestatística**. Estudos Tecnológicos-Acta Geológica Leopoldensia, São Leopoldo, v. 11, n.27, p. 5-81, 1988

ATSDR. **Toxicological Profiles** Disponível em:  
<<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiledocs/index.html>>. Acesso em 02/2022.

BAGGIO, H. F. **Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em água superficial e sedimentos de corrente na Bacia do Rio do Formoso, município de Buritizeiro, MG**. 2008. 216 f. Tese (Doutorado em Geologia) Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte - MG, 2008.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BENTO, C. C. **Análise geoquímica ambiental multielementar na caracterização da qualidade da água superficial do lago da barragem de Três Marias-MG: contribuições naturais e antropogênicas para as concentrações e distribuições dos parâmetros de qualidade de água**. Dissertação—Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha - UFJVM: [s.n.]. 2020.

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Resolução 357. Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em:  
[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfcd\\_a\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf)

CONAMA. **Resolução CONAMA nº 454, de 1 de novembro de 2012**. Resolução 454. Brasília, DF. 1 de novembro de 2005. Disponível em:  
[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res\\_conama\\_454\\_2012\\_materialserdragadoemaguasjurisdicionaisbrasileiras.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materialserdragadoemaguasjurisdicionaisbrasileiras.pdf)

CALMANO, W.; HONG, J.; FÖRSTNER, U. **Binding and Mobilization of Heavy Metals in Contaminated Sediments Affected by pH and Redox Potential**. Water Science and Technology, v. 28, n. 8-9, p. 223–235, 1 out. 1993.

CLIMATEMPO - **Climatologia de Felixlândia**. Disponível em:  
<https://www.climatepo.com.br/climatologia/3370/felixlandia-mg>. Acesso em: 12 abr. 2022.

COSTA, M.T. & BRANCO, J.J.R. Introdução. In: Branco J.J.R. (eds.) **Roteiro para a excursão Belo Horizonte – Brasília**. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, CONGR. BRAS. GEOL., 14, Belo Horizonte, Anais, 15:1-119. 1961.

CPRM. “**Monitoramento Especial da Bacia do Rio Paraopeba: Relatórios 01, 02**”. Belo Horizonte. Disponível em: [www.cprm.gov.br/publique/media](http://www.cprm.gov.br/publique/media). 2019.

KUCHENBECKER, M., FRAGOSO, D. G. C., COSTA, R. D. D., REIS, H. L. S., & GRAÇA, R. F. P. **Geologia e recursos minerais da folha Morro da Garça SE. 23-ZA-IV: Estado de Minas Gerais**. CPRM, 2014a.

KUCHENBECKER, M., FRAGOSO, D. G. C., COSTA, R. D. D., REIS, H. L. S., & GRAÇA, R. F. P. **Mapa Geologia e recursos minerais da folha Morro da Garça SE.23-Z-A-IV: estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: CPRM, 2014. 61 p. Escala 1:100.000. 2014b.

DARDENNE, M. A. **Síntese sobre a Estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Recife, 1978. Resumo, Recife, p. 597-610. Gonçalves, P.V.M. 2014. Flúor nas águas subterrâneas do aquífero Bambuí no sudoeste da Bahia (Brasil). Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Tese de doutorado, 30-39. 2014p. 1978.

ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.

ESTEVEES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FERNANDES, A.; SANTOS, M.; NOGUEIRA, P.; SARAIVA, V.; OLIVEIRA, V.; ALMEIDA, K.; NACIF, W.; FONSECA, M. **Análise do impacto na qualidade da água do rio Paraopeba após 2 ciclos hidrológicos do rompimento das barragens de rejeitos da mineradora Vale S.A**. Revista Mineira de Recursos Hídricos, v. 2, 28 dez. 2021.

FILIZOLA, H.F.; GOMES, M.A.F.; SOUZA, M.D.de. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 169 p.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. **Metal pollution in the aquatic environment**. Berlin: Springer-Verlag, 1983.

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G.T. W. **Metal Pollution in the aquatic Environment**. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag. 1979.

GONCHARUK, V. V.; BAGRII, V. A.; MEL'NIK, L. A.; CHEBOTAREVA, R. D.; BASHTAN, S. YU. **The use of redox potential in water treatment processes**. J. Water Chem.Techno, 32(1), 1–9, 2010.

GUEDES, J. A. **Teores geoquímicos em sedimentos de fundo do rio Jundiá, Macaã –BA/RN**. Brazilian Geographical Journal, v. 3, n. 1, 2 jul. 2012.

HOODA, P. S. **Trace elements in soils**. Chichester, West Sussex: Wiley, 2010.



IGLESIAS M., UHLEIN A. **Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozoicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Geociências, 39: 256–266. 2009.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4ed. Boca Raton: CRC Press. 534p. 2010.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de Água**. 3ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

LICHT O. A. B. **Prospecção geoquímica : princípios, técnicas e métodos**. Rio de Janeiro: CPRM. p. 236. 1998.

LIMA, G. F. C. **Análise geoquímica de metais pesados em sedimentos de corrente na represa da CEMIG-Três Marias/MG: distribuição e influência dos processos naturais e antropogênicos**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2020.

LIMIAR, 2012 - **Pacuera**. Rbe.com.br. Disponível em: <<http://www.rbe.com.br/portfolio-item/pacuera/>>. Acesso em: 6 ago. 2022.

LOSKA, K.; WIECHUŁA, D. **Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir**. Chemosphere, v. 51, n. 8, p. 723–733, jun. 2003.

LUCAS, TPB; PLEC, D.; ABREU, ML; PARIZZI, MG. **Identificação De Interpoladores Adequados A Dados De Chuva A Partir De Parâmetros Estatísticos**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 13, n. 13, 7 jun. 2014.

MANLY, B. J. F.; IANDA, S.; TADEU, C. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

PENG, J., YONG-HUI S., PENG Y., XIAO-YU C., GUANG-LEI Q., **The remediation of heavy metals contaminated sediment**. Journal of Hazardous Materials, v. 161, n. 2, p. 633–640, 2009.

PORTO, A. A. C. **"Avaliação da eficiência de tecnologias de proteção da ictiofauna em empreendimentos hidrelétricos"**. Belo Horizonte. Minas Gerais. Brasil: Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais. 2017.

RIBEIRO, E. V. **Avaliação da qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora: metais pesados e atividades antropogênicas**. 2010. 196 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

RIBEIRO, E. V.; MAGALHÃES JR, A. P.; HORN, A. H.; TRINDADE W. M. **Metais pesados e qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três**

**Marias e Pirapora-MG:** índice de contaminação. Geonomos, Belo Horizonte, n. 01, p. 49 - 63. 2012.

ROHDE, G. M. **Geoquímica ambiental e estudos de impacto**. 4ª Edição. ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2013.

RUSSELL, J. B. **Química geral**. 2. ed. São Paulo (SP): Makron Books, 1994.

SALOMONS W.; FÖRSTNER, U. **Metals in the hydrocycle**. Berlin; New York: Springer, 2012.

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. **Metals in the hydrocycle**. Berlin ; New York: Springer, 2012.

SILVA, C. R. da; F., BERNADINO. R.; CAPITANI, E. M. de. **Geologia Médica no Brasil**. In: SILVA, Cássio Roberto da Silva (Ed). Geologia Médica no Brasil: Efeitos dos materiais e fatores geológicos na saúde humana, animal e meio ambiente. Rio de Janeiro: CPRM- Serviço Geológico do Brasil. Cap. 2, p. 6-14. 2006

TAKENO, N. **Atlas of Eh-pH diagrams - Intercomparison of thermodynamic databases**. Geological survey of Japan open file report, n. 419, v.102. 2005.

TRINDADE, W. M. **Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do Rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG:** fatores naturais e antrópicos. 2010. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

USEPA. **Method 3051**. 1998. Disponível em: <http://www.epa.gov/SW-846/3051.pdf>. Acesso em: mar. 2022.

VOGEL, A. I.; **Química Analítica Qualitativa**. 1ª ed. São Paulo: Editora Mestre Jou, 1981, 665 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 472p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2014.

## APÊNDICE A – DADOS SOBRE AS AMOSTRAS.

Pontos	Coordenadas		Observações
	X	Y	
B1	-44,787133	-18,883848	Sem dados
B2	-44,801489	-18,898971	Água/Sedimento
B3	-44,798796	-18,901196	Água
B4	-44,791231	-18,898685	Água/Sedimento
B5	-44,791231	-18,898685	Água
B6	-44,790597	-18,900035	Água
B7	-44,784111	-18,902432	Água
B8	-44,791885	-18,90498	Água/Sedimento
B9	-44,78917	-18,95317	Água/Sedimento
B10	-44,78842	-18,898386	Água
B11	-44,786301	-18,897163	Água
B12	-44,784185	-18,896604	Água
B13	-44,781701	-18,896472	Água
B14	-44,77966	-18,896091	Água
B15	-44,77795	-18,89659	Água
B16	-44,77664	-18,8977	Água
B17	-44,77515	-18,89941	Água
B18	-44,77308	-18,90089	Água/Sedimento
B19	-44,792568	-18,915581	Água
B20	-44,777003	-18,90201	Água
B21	-44,777802	-18,90826	Água/Sedimento
B22	-44,781297	-18,907952	Água
B23	-44,784034	-18,910565	Água
B24	-44,787933	-18,91193	Água
B25	-44,790182	-18,914079	Água
B26	-44,79258	-18,915592	Água
B27	-44,792656	-18,917893	Água
B28	-44,792602	-18,919727	Água/Sedimento
B29	-44,789313	-18,916888	Água
B30	-44,78556	-18,918779	Água
B31	-44,782206	-18,920514	Água
B32	-44,779238	-18,923079	Água
B33	-44,777508	-18,925678	Água/Sedimento
B34	-44,779157	-18,928784	Água
B35	-44,782304	-18,930008	Água/Sedimento
B36	-44,783282	-18,931282	Água/Sedimento
B37	-44,783843	-18,937334	Água
B38	-44,756709	-18,942841	Água/Sedimento
B39	-44,757969	-18,944195	Água
B40	-44,759785	-18,944932	Água
B41	-44,761193	-18,944424	Água/Sedimento
B42	-44,761193	-18,944424	Água
B43	-44,78326	-18,886822	Água
B44	-44,783151	-18,884622	Água
B45	-44,780998	-18,884645	Água
B46	-44,778837	-18,885284	Água
B47	-44,776782	-18,885889	Água
B48	-44,774945	-18,88585	Água/Sedimento
B49	-44,772867	-18,886205	Água
B50	-44,771383	-18,887461	Água
B51	-44,769268	-18,888301	Água
B52	-44,767598	-18,889119	Água
B53	-44,766888	-18,889541	Água
B54	-44,769821	-18,885807	Água
B55	-44,771121	-18,882951	Água
B56	-44,773081	-18,882539	Água
B57	-44,774856	-18,881127	Água
B58	-44,777186	-18,88056	Água
B59	-44,778946	-18,880602	Água
B60	-44,7808	-18,880663	Água
B61	-44,781441	-18,882422	Água
B62	-44,781626	-18,883367	Água
B63	-44,785006	-18,887534	Água/Sedimento
B64	-44,784186	-18,890214	Água
B65	-44,786403	-18,892616	Água/Sedimento

## APENDICE B - VALORES FÍSICO-QUÍMICOS *IN SITU*.

Pontos	Parametros Físicos											
	Temp.[°C]	pH	mV[pH]	ORP[mV]	EC[μS/cm]	Abs.[μS/cm]	σ[KOhm-cm]	TDS [ppt]	Sal.[psu]	Press.[psi]	D.O.[%]	D.O.[ppm]
B1												
B2	28,84	7,62	-45,4	-20,5	379	406	2,6	0,189	0,18	13,869	18,1	1,31
B3	27,83	8,24	-81,3	-21,0	158	166	6,3	0,079	7,31E-02	13,893	18,1	1,34
B4	26,66	8,54	-97,6	-23,8	162	167	6,2	0,081	7,54E-02	13,88	18,1	1,37
B5	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
B6	27,09	8,28	-83,3	-15,4	187	194	5,3	0,093	8,70E-02	13,873	18,1	1,36
B7	27,47	8,19	-78,2	-13,4	177	186	5,7	0,089	0,08	13,867	18,1	1,35
B8	27,43	8,32	-84,1	-23,0	176	163	6,0	0,084	0,08	13,880	18,1	1,35
B9	26,82	8,74	-110,9	-17,5	207	214	4,8	0,048	0,01	13,866	18,1	1,36
B10	26,42	7,51	-38,7	37,5	208	214	4,8	0,104	9,74E-02	13,828	18,1	1,37
B11	26,48	7,75	-52,5	44,4	241	248	4,1	0,120	0,11	13,841	18,1	1,37
B12	26,60	7,74	-52,0	55,6	227	234	4,4	0,114	0,11	13,853	18,1	1,37
B13	26,59	7,74	-51,7	65,6	217	223	4,6	0,108	0,10	13,849	18,1	1,37
B14	26,58	7,71	-50,1	65,0	174	180	5,7	0,087	8,12E-02	13,850	18,1	1,37
B15	26,64	7,65	-46,5	68,6	215	222	4,7	0,108	0,10	13,856	18,1	1,36
B16	26,56	7,65	-46,8	66,5	182	188	5,5	0,091	8,50E-02	13,858	18,1	1,37
B17	26,54	7,64	-46,2	90,8	186	191	5,4	0,093	0,09	13,860	18,1	1,37
B18	26,92	7,62	-44,8	92,4	187	194	5,3	0,093	8,71E-02	13,858	18,1	1,36
B19	26,93	7,69	-49,2	110,0	202	209	5,0	0,101	9,43E-02	13,878	18,1	1,36
B20	26,82	7,71	-49,9	112,4	208	215	4,8	0,104	0,10	13,872	18,1	1,36
B21	27,92	7,58	-43,1	130,4	185	195	5,4	0,092	8,60E-02	13,849	18,1	1,33
B22	26,81	7,67	-47,7	127,6	184	190	5,4	0,092	8,58E-02	13,855	18,1	1,36
B23	26,96	7,73	-51,1	116,7	210	217	4,8	0,105	9,80E-02	13,864	18,1	1,36
B24	26,82	7,66	-47,4	120,9	221	229	4,5	0,111	0,10	13,892	18,1	1,36
B25	26,82	7,65	-46,6	117,8	219	227	4,6	0,110	0,10	13,881	18,1	1,36
B26	26,90	7,65	-46,7	109,6	213	221	4,7	0,107	0,10	13,877	18,1	1,36
B27	26,89	7,57	-42,2	116,0	208	215	4,8	0,104	9,71E-02	13,863	18,1	1,36
B28	27,84	7,37	-30,5	103,2	203	214	4,9	0,102	9,48E-02	13,859	18,1	1,34
B29	26,94	7,65	-46,7	121,2	210	218	4,8	0,105	9,81E-02	13,880	18,1	1,36
B30	27,14	7,74	-52,0	129,3	218	226	4,6	0,109	0,10	13,900	18,1	1,36
B31	27,21	7,78	-54,3	140,9	214	223	4,7	0,107	9,98E-02	13,900	18,1	1,36
B32	27,28	7,71	-50,4	131,1	230	240	4,3	0,115	0,11	13,911	18,1	1,35
B33	28,07	7,66	-47,5	130,6	210	222	4,8	0,105	9,79E-02	13,913	18,1	1,34
B34	27,55	7,76	-53,1	127,8	203	212	4,9	0,101	9,45E-02	13,911	18,1	1,35
B35	27,09	7,74	-51,9	137,5	212	221	4,7	0,106	9,91E-02	13,902	18,1	1,36
B36	27,96	7,60	-44,2	134,3	199	210	5,0	0,099	0,09	13,901	18,1	1,34
B37	27,81	7,65	-47,0	124,8	192	203	5,2	0,096	8,96E-02	13,910	18,1	1,34
B38	27,79	7,63	-45,5	123,8	208	219	4,8	0,104	9,71E-02	13,913	18,1	1,34
B39	28,27	7,86	-59,3	146,8	185	196	5,4	0,092	8,58E-02	13,842	18,1	1,32
B40	27,76	8,05	-70,1	144,7	208	218	4,8	0,104	9,68E-02	13,848	18,1	1,34
B41	28,55	8,00	-67,1	133,8	215	230	4,7	0,108	0,10	13,857	18,1	1,32
B42	29,63	7,52	-39,8	131,6	251	273	4,0	0,126	0,12	13,865	18,1	1,29
B43	26,28	7,60	-43,8	155,6	147	151	6,8	0,074	6,82E-02	13,771	18,1	1,37
B44	26,42	7,56	-41,6	186,3	137	141	7,3	0,069	6,36E-02	13,795	18,1	1,36
B45	26,49	7,58	-42,5	172,4	168	173	6,0	0,084	7,81E-02	13,816	18,1	1,36
B46	26,56	7,60	-43,5	165,2	166	171	6,0	0,083	7,74E-02	13,820	18,1	1,36
B47	26,66	7,61	-44,3	170,8	200	206	5,0	0,100	9,33E-02	13,825	18,1	1,36
B48	26,92	7,49	-37,3	182,9	192	199	5,2	0,096	8,96E-02	13,845	18,1	1,36
B49	27,00	7,56	-41,3	193,7	202	210	5,0	0,101	9,43E-02	13,853	18,1	1,36
B50	27,00	7,60	-43,8	198,9	198	206	5,1	0,099	9,24E-02	13,853	18,1	1,36
B51	27,12	7,57	-42,2	190,1	190	198	5,3	0,095	8,86E-02	13,860	18,1	1,35
B52	27,38	7,61	-44,6	181,1	197	206	5,1	0,098	9,18E-02	13,865	18,1	1,35
B53	27,73	7,51	-38,6	30,1	204	215	4,9	0,102	9,51E-02	13,858	18,1	1,34
B54	27,61	7,66	-47,3	147,9	189	198	5,3	0,094	0,09	13,864	18,1	1,34
B55	27,37	7,75	-52,6	157,5	195	204	5,1	0,098	9,11E-02	13,878	18,1	1,35
B56	27,06	7,72	-50,9	165,5	198	206	5,1	0,099	0,09	13,878	18,1	1,36
B57	27,29	7,72	-51,1	155,8	196	205	5,1	0,098	9,15E-02	13,883	18,1	1,35
B58	26,91	7,76	-53,0	165,3	192	199	5,2	0,096	8,95E-02	13,881	18,1	1,36
B59	27,19	7,70	-49,7	161,9	194	202	5,2	0,097	9,06E-02	13,868	18,1	1,35
B60	27,30	7,68	-48,6	155,2	203	212	4,9	0,102	9,48E-02	13,864	18,1	1,35
B61	27,58	7,65	-46,8	149,9	197	207	5,1	0,099	9,19E-02	13,855	18,1	1,34
B62	27,31	7,65	-47,0	145,2	202	211	5,0	0,101	9,43E-02	13,851	18,1	1,35
B63	27,43	7,59	-43,6	160,3	195	204	5,1	0,098	9,10E-02	13,839	18,1	1,34
B64	27,36	7,68	-48,6	174,5	197	206	5,1	0,099	9,19E-02	13,844	18,1	1,35
B65	27,54	7,56	-41,5	163,2	205	215	4,9	0,102	9,55E-02	13,832	18,1	1,34



**APENDICE D – VALORES DE EPT'S NAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO.**

Pontos	Mg (mg/kg)	Al (mg/kg)	Ca(mg/kg)	Cr (mg/kg)	Fe(mg/kg)	Co (mg/kg)	Cu(mg/kg)	Cd(mg/kg)	Ti (mg/kg)	Mn(mg/kg)	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Ba (mg/kg)	Pb(mg/kg)
P2	390,2	8610	588	0,76	5210	0,58	28,94	1,02	76,7	241,5	7,06	35,09	50,3	28,02
P4	113,9	3719	335,7	0,76	5210	0,58	2,35	1,02	30,32	0,704	7,06	0,4	23,6	6,3
P8	104,8	2992	220,3	0,76	5210	5,9	10,12	1,02	40,32	3,527	7,06	1,51	20,98	19,91
P9	217,6	6880	333,5	3,44	5200	3,48	21,76	1,02	34,72	4,566	7,06	4,29	184,9	29,22
P18	157	5280	181,7	0,76	5210	3,14	11,51	1,02	58,8	1,549	7,06	4,8	40,3	21,26
P21	67,3	2635	174,4	0,76	5210	4,15	10,37	1,02	42,04	1,177	7,06	7,38	20,9	24,93
P28	218	12680	967	5,92	5210	0,58	10,34	1,02	85,5	0,967	7,06	1,31	42,6	22,83
P33	173,2	8410	308,2	0,76	5210	0,58	3,7	1,02	43,11	0,757	7,06	2,63	37,38	14,54
P35	155,3	7360	180,6	0,76	5210	0,58	13,19	1,02	33,53	1,35	7,06	4,61	47,94	20,89
P36	80,7	7770	156,9	0,76	5210	0,58	2,11	1,02	66,8	0,255	7,06	0,17	17,77	12,68
P38	136,3	6320	168,4	0,76	5210	0,58	11,71	1,02	26,75	0,609	7,06	0,17	22,62	15,89
P41	122,4	4904	186,7	0,76	5210	0,58	8,79	1,02	26	1,081	7,06	0,17	26,33	15,12
P48	87,2	3338	265	0,76	5210	0,58	9,65	1,02	17,73	1,433	7,06	0,17	36,24	12,64
P63	93,1	3588	179,8	0,76	5210	1,2	5,51	1,02	37,2	1,559	7,06	2,88	29,08	7,86
P65	96	2543	209,4	0,76	5210	6,45	7,5	1,02	21,87	3,084	7,06	0,17	31,6	12,36