

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**  
**Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais**

**COCHISE RICCI LIBANIO**

**ESTADO TRÓFICO DO RIO MUZAMBO, TRIBUTÁRIO DO RESERVATÓRIO DA  
USINA HIDRELÉTRICA DE FURNAS, SUDOESTE DE MINAS GERAIS**

**ALFENAS / MG**

**2019**

**COCHISE RICCI LIBANIO**

**ESTADO TRÓFICO DO RIO MUZAMBO, TRIBUTÁRIO DO RESERVATÓRIO DA  
USINA HIDRELÉTRICA DE FURNAS, SUDOESTE DE MINAS GERAIS**

Dissertação de mestrado apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL-MG.

Orientador: Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha.

Co-orientador: Prof. Dr. Ronaldo Luiz Mincato

**ALFENAS / MG**

**2019**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca campus Poços de Caldas

L694e Libanio, Cochise Ricci.

Estado trófico do Rio Muzambo, tributário do reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, Sudoeste de Minas Gerais / Cochise Ricci Libanio. -- Alfenas/MG, 2019.

59 f. –

Orientador(a): Diego de Souza Sardinha.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2019.

Bibliografia.

1. Água - Qualidade. 2. Transporte de sedimento. 3. Bacias Hidrográficas. I. Sardinha, Diego de Souza. II. Título.

CDD – 628.16

Ficha Catalográfica elaborada por Thaís Aparecida de Lima  
Bibliotecária-Documentalista CRB6/3032



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Alfenas / UNIFAL-MG  
Programa de Pós-graduação – Ciências Ambientais  
Rua Gabriel Monteiro da Silva, 714. Alfenas - MG CEP 37130-000  
Fone: (35) 3701-9685 (Coordenação) / (35) 3701-9262 (Secretaria)  
<http://www.unifal-mg.edu.br/ppgca/>



## COCHISE RICCI LIBÂNIO

**“Estado trófico do Rio Muzambo, tributário do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, Sudoeste de Minas Gerais”**


A Banca julgadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de Concentração: Ciências Ambientais.

Aprovado em: 15 de março de 2019.

Prof. Dr. Diego de Souza Sardinha  
Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura: 

Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva  
Instituição: UFLA

Assinatura: 

Prof. Dr. Antônio Donizetti Gonçalves de Souza  
Instituição: UNIFAL-MG

Assinatura: 

**Dedico este trabalho à minha mãe Nina, pela sabedoria que me soube passar através de gestos de vida e a meu maior amigo e pai Marcius Libanio, homem sábio e douto.**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao amigo, professor e orientador Diego de Souza Sardinha por me incentivar a iniciar e concluir este desafiante trabalho e me fazer crescer na academia.

Ao co-orientador e professor Ronaldo Luiz Mincato, um amigo daqueles que o mundo coloca em seu caminho para toda a vida, que em momentos difíceis pude contar.

À minha esposa Patrícia, pelo companheirismo e paciência.

À minha filha Maria Fernanda, meu estímulo diário de força.

Aos meus professores de graduação Ana Rute do Vale, Clibson Alves dos Santos, Evânio dos Santos Branquinho, Fernando Shinji Kawakubo, Flamarion Dutra Alves, Lineu Aparecido Gaspar Jr., Marta Felícia Marujo Ferreira, Paulo Henrique de Souza, Rúbia Gomes Morato e Sandra de Castro de Azevedo.

Aos colaboradores Roberto e Wagner da fazenda Ilha do Lobo, que me permitiram e possibilitaram a coleta de amostras para este trabalho, além de me passar informações importantes sobre o Rio Muzambo.

Aos meus amigos de mestrado André e Gleicon, pela amizade e ajuda nas disciplinas.

À secretária do PPGCA Denise, pelo bom atendimento a mim e a todos os alunos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao geógrafo Lucas Emanuel Servidoni, pela amizade e pela ajuda na confecção dos mapas.

## RESUMO

Neste trabalho foi avaliado o índice de estado trófico para fósforo total (IET-Pt) na bacia hidrográfica do Rio Muzambo, com uma área total de 1512 km<sup>2</sup>, abrangendo nove municípios, localizados na região sudoeste de Minas Gerais, sendo compreendido pela Unidade de Gestão GD-3, do entorno do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, sendo o Rio Muzambo um dos seus principais tributários desse importante reservatório para a geração de energia e economia regional, com uma vazão média de 11,8 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> na secção de monitoramento próxima ao exutório. Para calcular o IET-Pt, foram coletadas amostras mensais entre julho de 2017 e junho de 2018, analisando as seguintes variáveis: vazão, precipitação, temperatura, pH, condutividade, turbidez, OD (oxigênio dissolvido), STD (sólidos totais dissolvidos), STS (sólidos totais em suspensão), nitrato, fosfato e sulfato. Também foi quantificado o transporte de sedimento dissolvido (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) e em suspensão, carregado no Rio Muzambo até o exutório, localizado no Reservatório de Furnas, chegando a um resultado de 24,85 t./km<sup>2</sup>.ano<sup>-1</sup>. A avaliação do IET-Pt caracterizou a água que chega ao exutório do Rio Muzambo como oligotrófica, mesotrófica e eutrófica, onde o valor mínimo foi de 47,27 e o máximo de 61,99 durante o ano de monitoramento hidrológico, além de algumas consequências ambientais negativas observadas, como o desmatamento de mata ciliar e a extração de areia do rio. Isso pode trazer possíveis efeitos sobre a saúde, economia e sociedade, juntamente como grau de trofismo da água. O estudo de transporte de sedimento trouxe como resultado o volume aproximado de sedimento depositado em seu exutório, evidenciando os possíveis impactos ao Reservatório de Furnas, como a aceleração do assoreamento. Por fim, o grau de trofismo encontrado nas amostras do Rio Muzambo aliado com informações do uso do solo da região e transporte de sedimentos, proporcionaram resultados importantes para o conhecimento sobre a região. Os dados obtidos poderão ser usados como base de dados, em futuros trabalhos de avaliação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Muzambo.

**Palavras-chave:** Índice de Estado Trófico. Transporte de Sedimento. Bacia Hidrográfica.

## ABSTRACT

In this work the trophic status index for total phosphorus (IET-Pt) in the Muzambo River basin was evaluated, with a total area of 1512 km<sup>2</sup>, covering nine municipalities, located in the southwestern region of Minas Gerais, being comprised by the Management Unit The Muzambo River is one of its main tributaries of this important reservoir for the generation of energy and regional economy, with an average flow of 11.8 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> in the section of GD-3, of the surroundings of the Reservoir of the Furnas Hydroelectric Power Plant. of monitoring near the exudation. In order to calculate the IET-Pt, monthly samples were collected between July 2017 and June 2018, analyzing the following variables: flow, precipitation, temperature, pH, conductivity, turbidity, OD (dissolved oxygen), STD (total dissolved solids) STS (total suspended solids), nitrate, phosphate and sulfate. It was also quantified the transport of dissolved sediment (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) and in suspension, carried in the Muzambo River to the exutório, located in the Reservoir of Furnas, reaching a result of 24.85 t./km<sup>2</sup>.year<sup>-1</sup>. The evaluation of the IET-Pt characterized the water that reaches the Muzambo river exudory as oligotrophic, mesotrophic and eutrophic, where the minimum value was 47.27 and the maximum of 61.99 during the year of hydrological monitoring, as well as some consequences environmental impacts such as deforestation of riparian forest and the extraction of sand from the river. This can bring possible effects on health, economy and society along with degree of water trophism. The study of sediment transport resulted in the approximate volume of sediment deposited in its exudate, evidencing the possible impacts to the Furnas Reservoir, as the acceleration of sedimentation. Finally, the degree of trophism found in the samples of the Muzambo River allied with information on the region's soil use and sediment transport, provided important results for the knowledge about the region. The data obtained can be used as a database in future works to evaluate the environmental quality of the Muzambo River basin.

Keywords: Index of Trophic Status. Sediment Transport. Hydrographic Basin.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Muzambo com os municípios ao qual está inserida.....	19
Figura 2. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Muzambo e sua ligação com o Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas.....	20
Figura 3. Mapas de declividade e altimetria da bacia hidrográfica do Rio Muzambo.....	21
Figura 4. Mapa de uso e ocupação de solo abrangendo a área de influência até o ponto de amostragem (coleta) .....	22
Figura 5. Relevo e uso do solo: (a) latossolo vermelho em relevo plano a suavemente ondulado preparado para cultivo; (b) relevo ondulado a fortemente ondulado com cultivo de café; (c) relevo plano com pastagem.....	23
Figura 6. Extração de areia no leito do Rio Muzambo .....	24
Figura 7. Imagens do Reservatório de Furnas próximo ao exutório do Rio Muzambo. (a) Espelho d'água no reservatório de Furnas próximo ao exutório do Rio Muzambo,1999. (b) Pastagem consolidada devido a proliferação de plantas aquáticas, depósito de sedimento e pisoteio de gado, 2018.....	24
Figura 8. Espécies de plantas aquáticas características de área eutrofizada do exutório do Rio Muzambo. (a) <i>Eichhornia crassipes</i> . (b) <i>Paspalum repens</i> . (c) <i>Salvinia auriculata</i> .....	25
Figura 9. Ilustração da secção transversal do rio e os pontos de amostragem .....	27
Figura 10. Medidor portátil U-50 Multiparameter Water Quality Checkers Horiba .....	28
Figura 11. (a) Conjunto de filtração. (b) Filtros para determinação de sólidos em suspensão	29
Figura 12. Área de drenagem em relação ao ponto de coleta e localização das Estações Pluviométricas de Guaxupé (E1), Muzambinho (E2) e Monte Belo (E3) .....	32
Figura 13. Média pluviométrica entre julho de 2017 e junho de 2018 e média da série histórica entre 1911 a 2017 .....	33
Figura 14. Relação entre vazão e precipitação 5 e 10 dias anteriores a data de coleta .....	35
Figura 15. Representação gráfica da calha do leito do Rio Muzambo entre os períodos de julho de 2017 e junho de 2018 .....	36
Figura 16. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre temperatura e turbidez .....	38
Figura 17 Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre vazão e turbidez, oxigênio dissolvido e vazão e sólidos totais em suspensão e vazão.....	40

Figura 18. Valores de pH encontrados nas amostras de água próximo ao exutório do Rio Muzambo e limites da resolução CONAMA 357/05, para rios classe II.....	41
Figura 19. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre pH e potencial de oxirredução, pH e nitrato, pH e fosfato e pH e sulfato.....	42
Figura 20. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre potencial de oxirredução com os nutrientes nitrato e fosfato.....	43
Figura 21. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre a condutividade e sólidos totais dissolvidos.....	43
Figura 22. Valores de Turbidez encontrados nas amostras de água do Rio Muzambo, próximo ao exutório em comparação ao valor máximo, estabelecido pela resolução CONAMA 357/05.....	44
Figura 23. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre sólidos totais dissolvidos e turbidez .....	45
Figura 24. Valores de oxigênio dissolvido encontrados nas amostras de água do Rio Muzambo, próximo ao exutório em comparação ao valor máximo, estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 .....	46
Figura 25. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre fosfato e nitrato, sulfato e nitrato e sulfato e fosfato .....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes de uso do solo e suas respectivas áreas em quilômetros quadrados.....	22
Tabela 2. Classificação do estado trófico para rios segundo índice de Carlson (1977), Adaptado de Lamparelli (2004).....	30
Tabela 3. Média da série histórica entre 1911 a 2017 das estações de Guaxupé (E1), Muzambinho (E2) e Monte Belo (E3).....	33
Tabela 4. Precipitação coletada nas estações pluviométricas de Guaxupé, Muzambinho e Monte Belo entre julho de 2017 e junho de 2018 e média histórica entre 1911 a 2017.....	34
Tabela 5. Tabela de relação entre vazão e precipitação (5 e 10 dias anteriores) a data de coleta.....	34
Tabela 6. Parâmetros para o cálculo da vazão no Rio Muzambo, entre julho de 2017 a junho de 2018.....	36
Tabela 7. Parâmetros físicos e químicos quantificados nas águas fluviais do exutório do Rio Muzambo, entre julho de 2017 e junho de 2018.....	38
Tabela 8. Valores dos coeficientes de correlação (r) de Pearson entre os parâmetros analisados nas águas do Rio Muzambo, entre julho de 2017 e junho de 2018, com destaque para os coeficientes significativos ao nível de 5 %.....	39
Tabela 9. Teores de nutrientes nas águas fluviais do exutório do Rio Muzambo entre julho de 2017 e junho de 2018.....	48
Tabela 10. Dados obtidos de $PO_4^{3-}$ , P e IET-Pt, obtidos de amostras do Rio Muzambo, entre julho de 2017 e junho de 2018.....	50
Tabela 11. Caracterização mensal do IET-Pt das amostras do Rio Muzambo entre julho de 2017 e junho de 2018.....	51
Tabela 12. Tabela das concentrações de STD, STS, $NO_3^-$ , $PO_4^{3-}$ e $SO_4^{2-}$ e valores da média ponderada pela vazão do Rio Muzambo.....	52
Tabela 13. Carga diária e anual transportada pelo Rio Muzambo.....	53
Tabela 14. Transporte específico diário e anual do Rio Muzambo.....	54

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVO</b> .....	<b>14</b>
<b>3 REFEREÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
<b>4 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>17</b>
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO .....	26
5.2 SECCÃO DE AMOSTRAGEM, VAZÃO E PRECIPITAÇÃO .....	26
5.3 DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	27
5.4 CORRELAÇÃO DE PEARSON .....	29
5.5 ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO .....	30
5.6 AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE ESPECÍFICO (SEDIMENTOS E NUTRIENTES) .	30
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>32</b>
6.1 ANÁLISE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS, VAZÃO E MORFODINÂMICA DO LEITO DE DRENAGEM.....	32
6.2 PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS NO RIO MUZAMBO.....	37
6.2.1 Temperatura: .....	37
6.2.2 Vazão:.....	39
6.2.3 pH – Potencial Hidrogeniônico:.....	40
6.2.4 Potencial de óxido redução – ORP:.....	42
6.2.5 Condutividade: .....	43
6.2.6 Turbidez - NTU - Nephelometric Turbidity Units:.....	44
6.2.7 Oxigênio dissolvido – OD:.....	45
6.2.8 Sólidos totais dissolvidos – STD:.....	46
6.2.9 Sólidos totais em suspensão – STS: .....	47
6.2.10 Nitrato – NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> : .....	47
6.2.11 Fosfato – PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> : .....	48
6.2.12 Sulfato – SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> :.....	49
6.3 ESTADO TRÓFICO DO RIO MUZAMBO.....	50
6.4 TRANSPORTE ESPECÍFICO DE SEDIMENTOS E NUTRIENTES DO RIO MUZAMBO .....	52
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>55</b>

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>
--------------------------	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, o exutório. A área de uma bacia hidrográfica contempla atividades agrícolas, industriais, formações vegetais, nascentes, córregos e riachos, lagoas e represas, rochas e solos, ou seja, todos os habitats e unidades da paisagem antrópica e natural.

O uso dos recursos naturais e o aumento dos resíduos gerados em uma bacia hidrográfica cresceram juntamente com a urbanização e o uso intensivo do solo, principalmente pela ocupação urbana próxima as margens dos rios. Em consonância com o crescimento demográfico e o adensamento populacional no meio urbano, as características naturais das águas de uma bacia hidrográfica sofrem alterações, devido à urbanização e despejos de efluentes sem tratamento, desmatamentos, uso da terra para exploração agrícola e mineração.

O uso e ocupação do solo determina os impactos ambientais, foi verificado dentro da área de estudo que a ocupação urbana e o despejo de estudo, a mau uso do solo na agricultura, através do desmatamento e de grandes áreas de cultivo de cana de açúcar. Segundo Borges (2009), as queimadas exigem um uso maior de agrotóxicos para o controle de pragas e de plantas invasoras, agravando ainda mais o meio natural, afetando os microrganismos do solo e contaminando o lençol freático e as nascentes. A contaminação da água pode atingir níveis de difícil ou impossível recuperação.

Em condições naturais a qualidade da água em uma bacia hidrográfica é afetada pelo escoamento superficial, infiltração e interação água-rocha/solo, resultantes da precipitação atmosférica. Em condições antrópicas, a qualidade da água pode ser afetada pelos despejos domésticos, industriais e/ou agrícolas, através da aplicação de fertilizantes, defensivos agrícolas e materiais particulados presentes na atmosfera. Estas ações antrópicas podem afetar diretamente a qualidade da água e proporcionar problemas no que se refere a qualidade de vida e a saúde da população.

A eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio nos ecossistemas aquáticos, que tem como consequência a proliferação de macrófitas resultando na alteração no sabor, odor, turbidez, redução de oxigênio dissolvido e contaminação da água (LAMPARELLI, 2004). Com isso, o estado trófico pode refletir a influência antropogênica na qualidade da água e no funcionamento ecológico de rios, lagos e reservatórios.

Mesmo a bacia hidrográfica do Rio Muzambo estar englobada dentro do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Entorno do Lago de Furnas, os dados, metas e indicadores são pouco ou não fornecidos pelos órgãos envolvidos, dificultando a análise dos dados obtidos em campo e em laboratórios.

A bacia hidrográfica do Rio Muzambo possui uma área de 1512 km<sup>2</sup> e está localizada na região Sudoeste do Estado de Minas Gerais e abrange os municípios de Guaxupé, Juruáia, São Pedro da União, Cabo Verde, Nova Resende, Muzambinho, Monte Belo, Areado e Alterosa. O exutório da bacia situa-se no Reservatório da Usina Hidrelétrica, que é frequentada por praticantes de esportes náuticos e turistas em geral. A alteração na qualidade de água deste importante sistema pode promover vários efeitos em níveis biológicos, econômicos, sociais e de saúde pública. Neste sentido, o presente trabalho tem como finalidade avaliar o estado trófico das águas fluviais da bacia do Rio Muzambo, região Sudoeste do Estado de Minas Gerais.

## 2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo, avaliar o índice de estado trófico das águas fluviais e o transporte de sedimento da bacia hidrográfica do Rio Muzambo, tributário do reservatório da usina hidrelétrica de Furnas, região Sudoeste do Estado de Minas Gerais. Para se atingir o objetivo geral, foram realizados os seguintes objetivos específicos:

- a) caracterizar a fisiografia da área de estudo;
- b) determinar uma secção de amostragem próximo ao exutório para coleta de água e medição de vazão do Rio Muzambo;
- c) determinar parâmetros físicos e químicos das águas superficiais na secção de amostragem;
- d) avaliar o índice de estado trófico para fósforo total (IET-Pt) na secção de amostragem;
- e) avaliar o transporte específico de nutrientes ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ ) e sedimentos na secção de amostragem.



### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo foi realizado um embasamento teórico para a compreensão dos resultados, onde serão abordados os seguintes tópicos: bacia hidrográfica, impactos antrópicos e estado trófico em corpos d'água.

A bacia hidrográfica é uma área natural, onde a precipitação molda o relevo e concentra a água no curso principal e faz convergir todo o escoamento para o exutório (TUNDISI, 2008). Seus limites são estabelecidos pela topografia, margeando os pontos de maior altitude, estabelecendo assim o divisor de água entre bacias hidrográficas. Segundo (MACHADO et al. 2014), o sistema de drenagem é o primeiro a se adaptar a qualquer deformação tectônica dos maciços, as mudanças do nível de base e aos controles estruturais do substrato.

O ciclo hidrológico na Terra tem como principal resultado a ciclagem e purificação da água, passando pelas etapas de evaporação, precipitação e drenagem de uma bacia hidrográfica. Segundo (TUNDISI, 2008) o ciclo hidrológico é o princípio unificador fundamental de tudo. Sendo assim, em meios naturais a água estabelece um ciclo de precipitação e infiltração no solo, já em condições antrópicas, o ciclo natural é alterado pelo despejo de esgotos domésticos e industriais, pelo escoamento superficial e percolação de fertilizantes e defensivos agrícolas no solo e na água.

Atualmente, vários problemas de origem antrópica como desmatamento, mau uso do solo e ocupação humana desordenada, afetam prejudicialmente a qualidade e a oferta da água. Segundo (LAMPARELLI, 2004), a crescente urbanização provocou uma crescente demanda por água e energia, resultando na construção de reservatórios e na retirada de um maior volume de água dos rios para abastecimento público.

Assim, o estudo da qualidade da água é de grande importância para estabelecer relações entre os fenômenos naturais e os antrópicos. Segundo (LAMPARELLI, 2004), o monitoramento de dados para acompanhamento de séries, permite uma melhor compreensão temporal da qualidade ambiental, além de servirem para o aprimoramento de políticas públicas e ambientais. Além disso, o despejo “in natura” de esgotos domésticos e industriais acarreta uma maior quantidade de nutrientes, fenômeno denominado de eutrofização antrópica ou eutrofização cultural (LAMPARELLI, 2004).

A partir do cálculo do IET-Pt, os cursos d'água de uma bacia hidrográfica podem ser classificados como (LAMPARELLI, 2004):

- (a) ultraoligotrófico, corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e

concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água;

(b) oligotrófico, corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes;

(c) mesotrófico, corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos;

(d) eutrófico, corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos;

(e) supereutrófico, corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos;

(f) hipereutrófico, corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

O termo trófico tem sua origem no grego antigo e está relacionado à alimentação ou nutrição, já o termo eutrófico é uma variação de trófico com o prefixo “eu”, que acrescenta sentido de muito. De forma geral pode-se definir eutrofização como sendo o aumento da concentração de nutrientes, em especial de fósforo e nitrogênio (ESTEVES, 2011). Assim, corpos d'água ricos em nutrientes, estão associados ao crescimento da produtividade primária, ocorrendo a proliferação de algas e macrófitas aquáticas, trazendo prejuízos para produção de energia elétrica, abastecimento, proteção a vida aquática, além de encarecer o tratamento para consumo (CUNHA; CALIJURI; LAMPARELLI, 2004)

O Índice de Estado Trófico (IET) desenvolvido em 1977 por Carlson e modificado por Toledo (1983) visa tornar mais claro os estudos sobre eutrofização, ou seja, classificar diferentes graus de trofia, avaliando a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo de algas e zooplânctons.

O índice de Carlson (1977) também foi utilizado por Lamparelli (2004) e ambos são modelos empregados para caracterizar o índice de eutrofização em ambientes lênticos e lóticos, associando valores de fósforo total, clorofila a e transparência para avaliação trófica. A consequência da eutrofização é a alteração dos índices de oxigênio dissolvido, turbidez e contaminação da água (ESTEVES, 2011; LAMPARELLI, 2004; TUNDISI, 2005).

A eutrofização gera um aumento da concentração de nutrientes, da biomassa de plantas e animais que consumirão uma alíquota maior de oxigênio, tornando o meio aquático anóxico e com maior turbidez. O aumento da biomassa influenciará no aumento de macrófitas e de sedimento depositado, diminuindo a vida útil dos reservatórios e causando um desequilíbrio ecológico que por sua vez dificultará a navegação e possivelmente a diminuição de alguma espécie explorada economicamente (TUNDISI, 2005).

Segundo (CUNHA et al., 2004) o estado trófico é uma importante propriedade dos ecossistemas aquáticos e reflete a influência antrópica na qualidade da água e o funcionamento ecológico de rios, lagos e reservatórios. Já para (FIA et al., 2004) o IET funciona como um registro das atividades humanas dentro das bacias hidrográficas, oferecendo parâmetros para a formulação de planos de manejo e gestão de ecossistemas aquáticos. Assim, o IET classifica os corpos d'água em diferentes graus de trofia, avaliando a qualidade das águas quanto ao enriquecimento por nutrientes e seus efeitos relacionados ao crescimento de algas e macrófitas aquáticas.

O parâmetro pH representa a concentração de íons de hidrogênio  $H^+$  em escala logarítmica indicando a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, sua faixa de pH varia de 0 a 14 (SPERLING, 2014). Os valores de pH podem ser alterados devido à dissolução de rochas, oxidação de matéria orgânica, fotossíntese, despejo de esgotos, etc. Valores de pH muito alto ou muito baixos, podem afetar o comportamento da vida aquática, desde peixes até microrganismos que decompõe matéria orgânica.

A condutividade é representada pela unidade micro simens por centímetro ( $\mu S.cm^{-1}$ ). A condutividade da água está relacionada com a carga de ânions e cátions e determina a capacidade de condução elétrica do meio. Este parâmetro tem então relação com a intensidade de dissolução da rocha, despejo de esgotos e também é possível relacionar ao volume da vazão, à temperatura e ao pH. (VALLE JR., 2013)

Conforme aumenta a temperatura haverá aumento da vazão devido ao volume de precipitação e conseqüentemente ao aumento do grau de dissolução da rocha, que por

sua vez, modifica o Ph, devido ao carreamento de material paraticulado e dissolvido ao leito do rio.

A turbidez é um parâmetro importante para a eutrofização, quanto mais turva for à água menor é a faixa de radiação solar que conseguirá penetrar na coluna d'água. Esta radiação constituiu a maior fonte de energia para os ecossistemas aquáticos, tendo grande importância para os organismos fitoplanctônicos que são a base da cadeia alimentar no meio aquático, pois a maior concentração desses organismos ocorre na zona eufótica. (ESTEVEES, 2011).

O oxigênio dissolvido na água é de grande importância para a manutenção do ecossistema aquático, principalmente para os seres aeróbios, durante o processo de decomposição da matéria orgânica há o consumo de oxigênio pelas bactérias, causando a diminuição da sua concentração no meio (ESTEVEES, 2011). Segundo Sperling (2014), no meio natural o oxigênio tem origem a partir dos organismos fotossintéticos e da atmosfera, sendo que, quanto maior a matéria orgânica, maior será a biomassa e, conseqüentemente, menor será o nível de oxigênio dissolvido. Por isso, este parâmetro é muito utilizado para caracterizar ambientes antropizados.

#### 4. CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Muzambo está localizada na região Sudoeste do Estado de Minas Gerais estando inserida na Unidade de Gestão e Planejamento Hidrográfico GD3 (Figura 2). A área total da bacia hidrográfica é de 1512 km<sup>2</sup> e seu leito principal possui 112 km, abrangendo os municípios de Guaxupé, Juruaia, São Pedro da União, Cabo Verde, Nova Resende, Muzambinho, Monte Belo, Areado e Alterosa (IGAM, 2012). O exutório do Rio Muzambo situa-se no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas um dos principais do país para geração de energia, além de ser uma fonte econômica na exploração da piscicultura, turismo e laser.

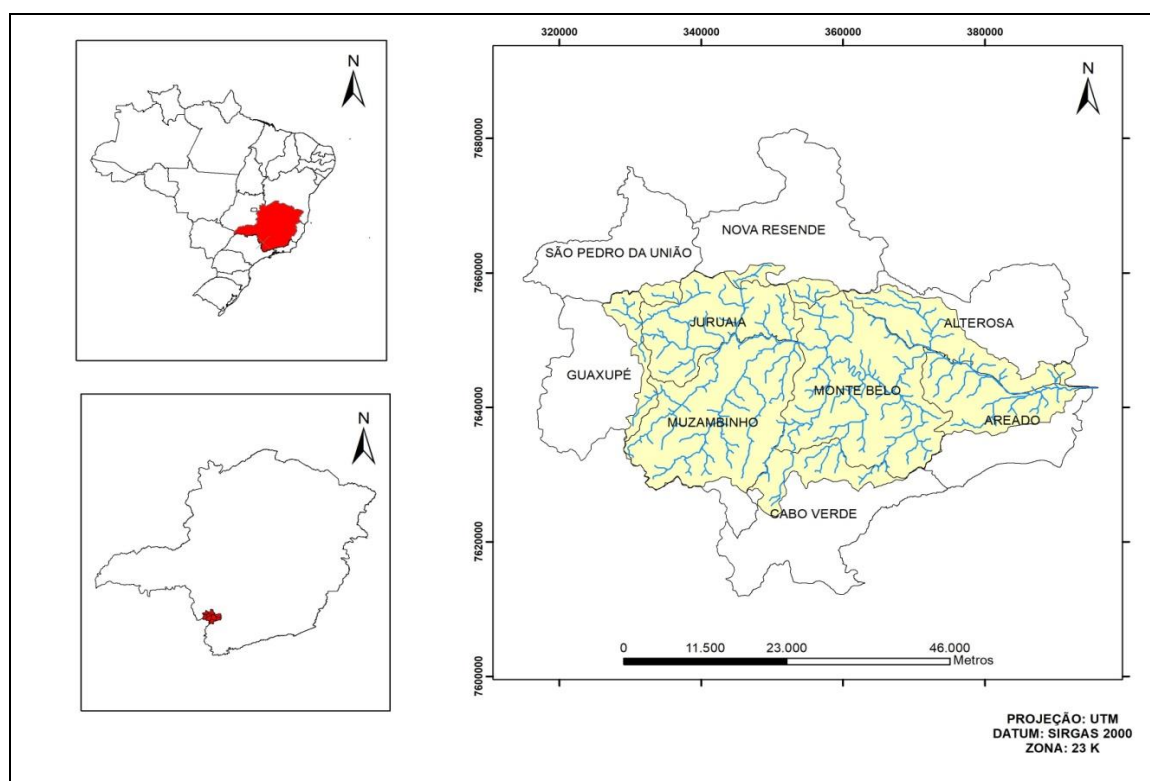


Figura1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Muzambo com os municípios ao qual está inserida. (Fonte: próprio autor)

O arcabouço geológico da área de estudo está localizado dentro do Complexo Varginha, com formação no Pré-Cambriano e Eopaleozóico, possuindo falhas de grande envergadura, dentre elas as falhas de Areado e São Pedro da União (BRASIL, 1979). O Complexo Varginha é formado por rochas anfibolíticas à granulíticas, representada por granitos, migmatitos granitoides e granulitos ácidos e básicos, metassedimentos,

gnaiesses, mármore, rochas cálcio-silicáticas e gnaissos (DORANTI, 2006). Trata-se de rochas orto e parametamórficas, de ordenação e evolução intrincadas.

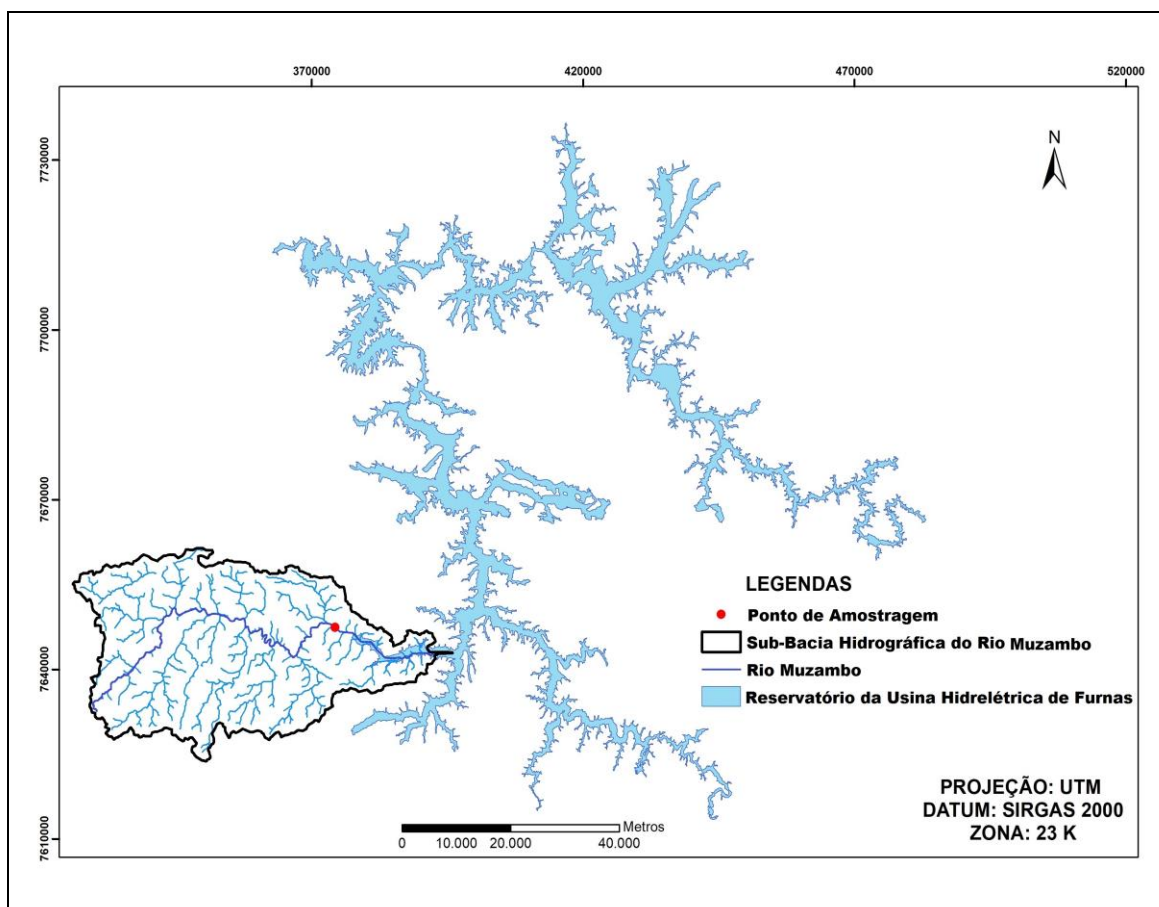


Figura 2. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Muzambo e sua ligação com o Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas. (Fonte: próprio autor)

A litologia é caracterizada por um embasamento de rochas cristalinas deformadas por tectonismo com sobreposição de depósitos detríticos e colúvio-aluvionares (IGAM, 2013). A região da bacia é marcada pela presença de granada-biotita-xisto e granada-biotita-gnaissos com variedades xistosas. Na porção sul de São Pedro da União afloram gnaissos e xistos granoblásticos granatíferos, e, a oeste de Alterosa migmatitos róseos e acinzentados (BRASIL, 1979). Na região de Monte Belo e Muzambinho afloram piroxênios-granulitos e entre Guaxupé e Jruaia existe grande densidade de micro e mesopertitas além de farto material contendo muscovita, clorita, carbonato e epidoto (BRASIL, 1979).

A bacia está inserida na província geomorfológica do planalto Sul de Minas, região caracterizada por níveis planálticos intercalados com serranias. A fronteira ocidental é marcada pelo domínio morfológico da Zona Cristalina do Norte que consiste

em uma paisagem de transição entre as terras altas do planalto Sul de Minas e o terreno rebaixado da Depressão Periférica Paulista (BRASIL, 1979; DORANTI, 2006).

Quanto ao relevo, à área de estudo está inserida em um conjunto de relevos dissecados, apresentando colinas e morros de vertentes convexo-côncavas de topografia variada, com áreas de relevo plano e declividade inferior a 3% e áreas de relevo altamente montanhoso com declividade superior a 75%. A altimetria varia de 758 a 1318 m em relação ao nível do mar (Figuras 3) e a secção de amostragem está a 777 m em relação ao nível do mar.

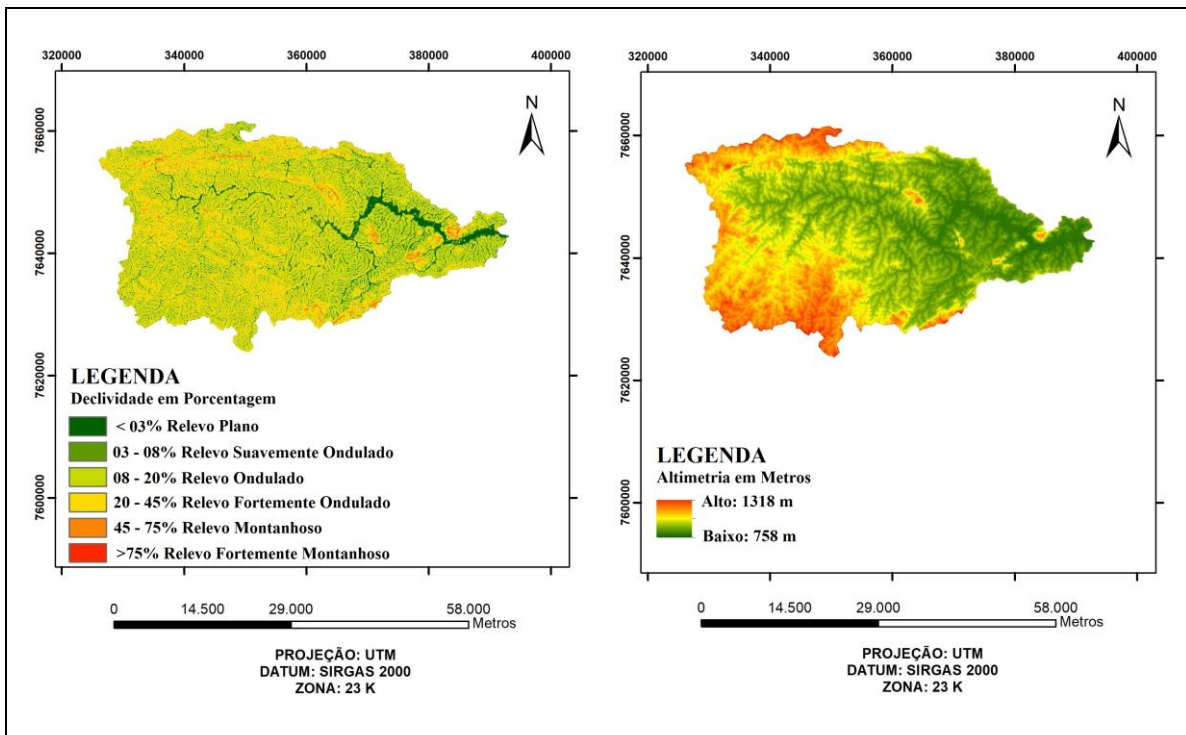


Figura 3. Mapas de declividade e altimetria da bacia hidrográfica do Rio Muzambo.

(Fonte: próprio autor)

A área total da bacia hidrográfica do Rio Muzambo é de 1512 km<sup>2</sup>, porém como a secção de monitoramento - ponto de coleta está localizado a aproximadamente 5 km antes do exutório, foi considerado para os cálculos uma área que compreende 1322 km<sup>2</sup>, conforme demonstrado no mapa de uso e ocupação do solo (Figura 4), devido a área de drenagem até a secção de amostragem. Neste mapa, observa-se que as atividades agropecuárias prevalecem em relação aos outros usos do total da bacia hidrográfica.

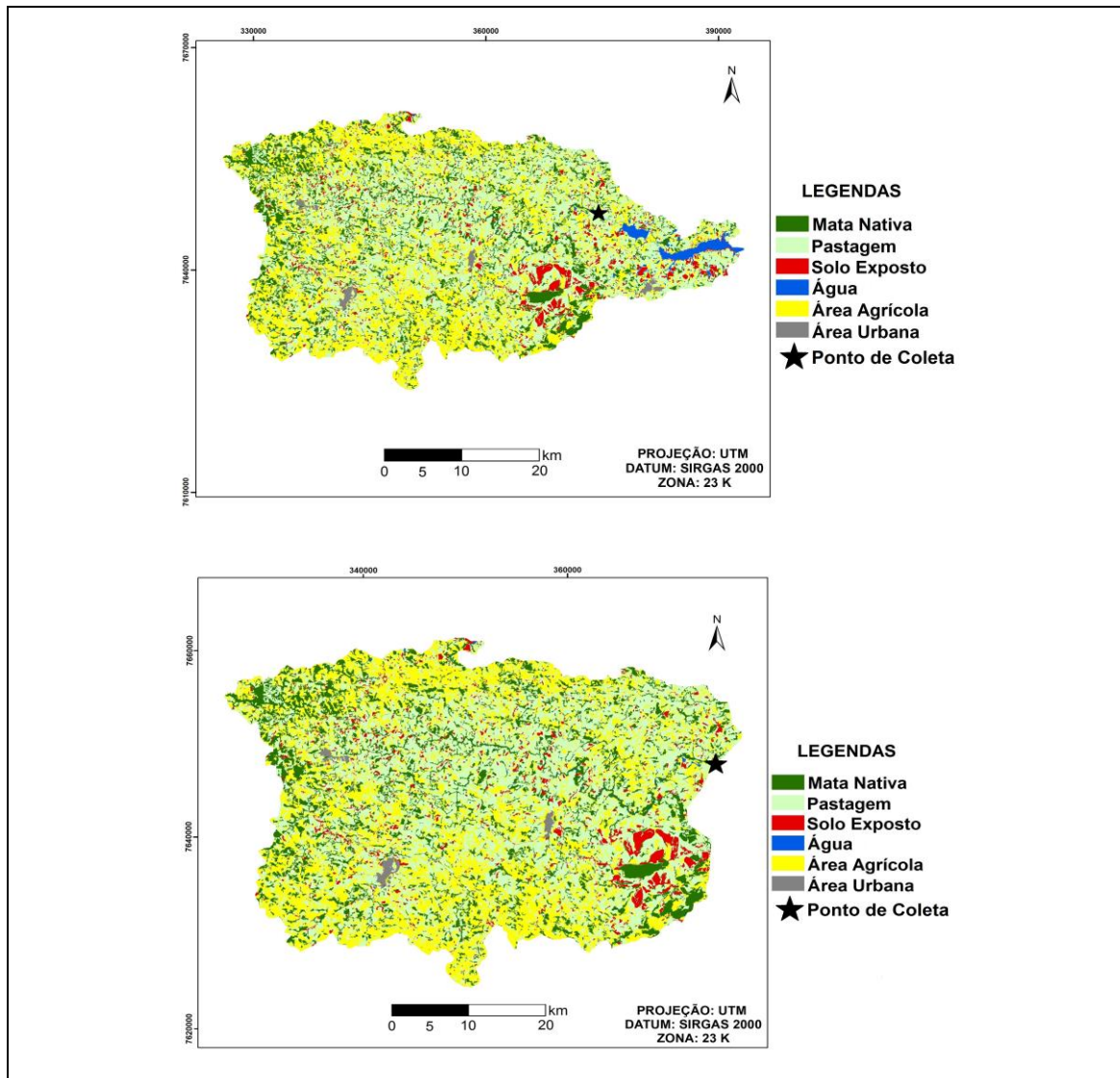


Figura 4. Mapa de uso e ocupação de solo da área total da bacia do Rio Muzambo e a área de influência até o ponto de amostragem (coleta). (Fonte: próprio autor)

Tabela 1. Classes de uso do solo e suas respectivas áreas em quilômetros quadrados.

<b>Uso do Solo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
<b>Água</b>	2,32	0,2
<b>Área urbana</b>	7,74	0,6
<b>Área agrícola</b>	430,13	32,5
<b>Mata nativa</b>	230,91	17,5
<b>Pastagem</b>	592,25	44,8
<b>Solo Exposto</b>	58,67	4,4
<b>Total</b>	1322,02	100,0

A Figura 5a está localizada na margem direita da MG-446 entre Juruáia, sentido Muzambinho (21°18'11.7"S 46°30'55.1"W) onde há presença de um latossolo vermelho



em relevo plano a suavemente ondulado preparado para cultivo agrícola. Entre os distritos da Juréia e Santa Cruz da Aparecida, ambos em Monte Belo ( $21^{\circ}16'32.6''S$   $46^{\circ}18'18.0''W$ ), a Figura 5b apresenta um relevo ondulado a fortemente ondulado onde predomina o cultivo de café. Próximo ao bairro do Cocal, município de Alterosa ( $21^{\circ}15'33.1''S$   $46^{\circ}15'17.7''W$ ), a Figura 5c apresenta um relevo plano utilizado como pastagem para bovinos.



Figura 5. Relevo e uso do solo: (a) latossolo vermelho em relevo plano a suavemente ondulado preparado para cultivo; (b) relevo ondulado a fortemente ondulado com cultivo de café; (c) relevo plano com pastagem. (Fonte: próprio autor)

A vegetação da área de estudo é característica da transição entre Cerrado e Mata Atlântica (IBGE, 2002). Quanto ao uso do solo, esta é uma região de elevada produção de café, cultivo de cana de açúcar para produção de etanol e açúcar, além de grandes áreas de pastagens.



Figura 6. Extração de areia no leito do Rio Muzambo. (Fonte: próprio autor)

Um porto para embarque de areia em área de preservação permanente, além de dragas no leito do rio também fazem parte da paisagem (Figura 6). Segundo (DOMINGOS, 2013) o impacto ambiental, ocasionado pela retirada da cobertura vegetal da mata ciliar se agrava quando o material proveniente de processos erosivos é depositado nos recursos hídricos, levando ao assoreamento, redução no volume d'água e aumento da turbidez, diminuindo a entrada de luz e dificultando a fotossíntese e as taxas oxigênio no meio aquático.

O processo de assoreamento e formação de depósito de sedimentos no exutório do Rio Muzambo pode ser observado por meio de uma imagem do ano de 1999 comparada com outra do ano de 2018. Na figura 7a é possível verificar uma lâmina d'água no reservatório de Furnas, atualmente há uma pastagem consolidada (Figura 7b).

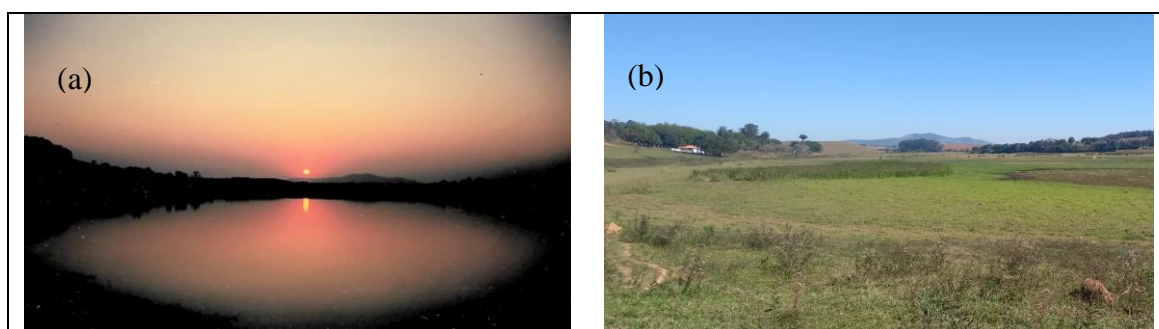


Figura 7. Imagens do Reservatório de Furnas próximo ao exutório do Rio Muzambo. (a) Espelho d'água no reservatório de Furnas próximo ao exutório do Rio Muzambo, 1999. (b) Pastagem consolidada devido a proliferação de plantas aquáticas, depósito de sedimento e pisoteio de gado, 2018. (Fonte: próprio autor)

Provavelmente, devido à oscilação do nível do reservatório de Furnas, plantas do gênero *Paspalum*, *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* (Figura 8) se proliferavam de forma rápida durante o período de seca, e, no período úmido formaram-se grandes

ilhas, no exutório do Rio Muzambo. A cada ano essas ilhas ficam maiores e fornecem alimento para o gado, pisoteando e compactando o material e produzindo matéria orgânica que por sua vez enriquece o ambiente para maior proliferação dessas plantas.



Figura 8. Espécies de plantas aquáticas características de área eutrofizada do exutório do Rio Muzambo. (a) *Eichhornia crassipes*. (b) *Paspalum repens*. (c) *Salvinia auriculata*. (Fonte: próprio autor)

Segundo Brandão (1989) as espécies de plantas aquáticas *Eichhornia crassipes*, *Paspalum repens* e *Salvinia auriculata* podem se comportar agressivamente ou não, bloqueando canais de irrigação, margens de lagoas e represas, competindo com culturas de arroz e vegetação marginal.

Com relação a despejo de esgoto nas águas da bacia hidrográfica do Rio Muzambo, os municípios de Muzambinho - população 20.430, Monte Belo – população 13.061 e Juruáia – população 9.238 (IBGE, 2010), despejam em sua totalidade sem tratamento todo o esgoto produzido nos municípios. Em contato com as prefeituras, apenas Monte Belo tem um projeto de tratamento de esgoto, porém ainda não foi implantado.



## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

Para subsidiar os elementos fisiográficos e espacializar as informações, foram realizadas pesquisas bibliográficas, inventário de dados, levantamento do material técnico, bibliográfico e cartográfico sobre a área de estudo ANA (Agência Nacional das Águas), IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), CBH Furnas (Comitê de Bacia Hidrográfica Furnas) e IF-Muzambinho (Instituto Federal de Muzambinho).

Os mapas foram gerados a partir de base de dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e imagens de satélite disponibilizadas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). As bases de dados e imagens foram trabalhados através do software ArcGIS 10.5 e nas visitas a campo utilizou-se o equipamento GPS (Global Positioning System) modelo Garmin (Map 60CSx).

### 5.2 SECÇÃO DE AMOSTRAGEM, VAZÃO E PRECIPITAÇÃO

Para avaliar o estado trófico do Rio Muzambo foram realizadas coletas de águas fluviais uma vez por mês entre julho de 2017 a junho de 2018, caracterizando as variações em um ano hidrológico completo. A secção de amostragem, localizado nas coordenadas 21°15'44"S 46°13'31"W, possui aproximadamente 30 metros lineares e foi escolhido por ser a última ponte sobre a calha do rio antes do reservatório, ou seja, o local mais próximo ao exutório, fora do remanso do reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas.

As amostras foram coletadas com garrafa de Van Dorn, de forma composta, em volumes iguais em três pontos da mesma secção do rio (25% - 50% - 75%) a uma profundidade de 0,5 m nas porções 25% e 75% (margens) e a 1 m na porção 50% (leito do canal principal – Figura 9).

As amostras foram armazenadas em frasco plástico opaco branco, previamente lavado com água deionizada e conservadas com 1 mL de ácido clorídrico ( $\text{pH} \leq 2,0$ ), conforme (APHA, 2012). Após a coleta os frascos foram acondicionados em caixa térmica contendo gelo e transportados para o Laboratório de Ecossistemas Aquáticos e Solos (LEAS) – UNIFAL-MG, campus Poços de Caldas para análise, conforme ABNT/NBR9898.

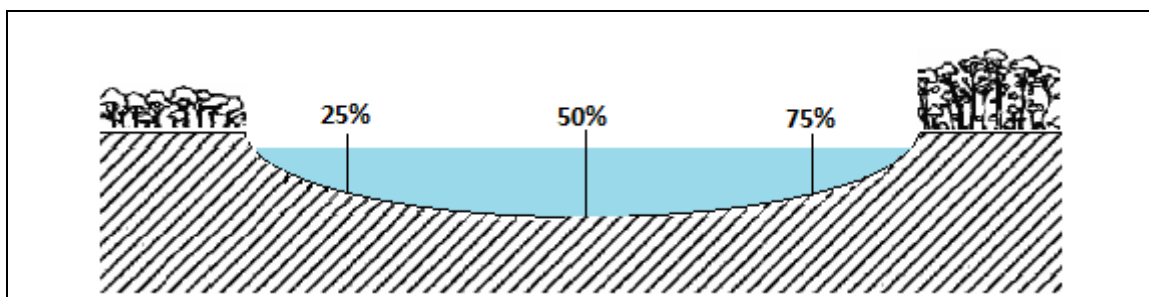


Figura 9. Ilustração da seção transversal do rio e os pontos de amostragem.

(Fonte: próprio autor)

O monitoramento da vazão foi determinado com uma régua limnimétrica para medir o nível da água do rio, uma trena de tecido emborrachado graduada (Vonder 30 m x 12,5mm) para a largura, e um micromolinete Flow Rate Sensor Vernier para velocidade ( $0,0$  a  $4,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \pm 0,0012 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Com relação a coleta de dados pelo micromolinete, foi observado a profundidade para coletas em pontos diferentes na vertical. A vazão foi estimada de acordo com a Equação (1).

$$Q = P \times L \times V \quad (1)$$

*Em que:*  $Q$  = vazão ( $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ );  $P$  = profundidade do canal (m);  $L$  = largura do canal (m);  $V$  = velocidade de escoamento no canal ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Os dados históricos de precipitação foram calculados através da média aritmética dos dados das estações: Guaxupé (Estação 2146026 do tipo pluviométrica, responsável ANA); Muzambinho (Estação 2146030 do tipo pluviométrica, responsável ANA); Monte Belo-Juréia (Estação 2146027 do tipo pluviométrica, responsável ANA). Os dados pluviométricos do período de estudo também foram obtidos no site METEOBLUE, para uso de dados diários de precipitação.

### 5.3 DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

As águas fluviais foram monitoradas utilizando equipamento com eletrodos de leitura direta no próprio local de amostragem, medidor portátil U-50 Multiparameter Water Quality Checkers da Horiba, previamente calibrado em laboratório para pH 4,00 ( $4,01 \pm 0,01$  a  $25 \pm 0,2^\circ\text{C}$ ) e 7,00 ( $7,01 \pm 0,01$  a  $25 \pm 0,2^\circ\text{C}$ ), a condutividade elétrica foi calibrada usando solução padrão de KCl ( $1,0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) de condutividade elétrica

conhecida,  $147 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ , oxigênio dissolvido com solução de sulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )  $< 0,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{O}_2$  e turbidez com solução de turbidez (100 NTU) (Figura 10).



Figura 10. Medidor portátil U-50 Multiparameter Water Quality Checkers Horiba.

Com isso, foram analisadas as seguintes variáveis: pH (método de eletrodo de vidro, de  $0,0$  a  $14,0 \pm 0,1$  pH); condutividade elétrica (método do eletrodo 4AC, de  $0,0$  a  $100,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1} \pm 0,1$  %); oxigênio dissolvido (método polarográfico, de  $0,0$  a  $50,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} \pm 0,2 \text{ mg L}^{-1}$ ); potencial redox (método do eletrodo de platina, de  $-2000$  a  $2000 \text{ mV}^{\pm} \pm 15 \text{ mV}^1$ ); turbidez (fonte de luz LED, de  $0,0$  a  $800,0 \text{ NTU} \pm 1,0 \text{ NTU}$ ).

Amostras de sólidos totais em suspensão foram realizadas em triplicata segundo metodologia gravimétrica (Equação 2), com volume de  $250 \text{ mL}$  cada (Figura 11). As alíquotas foram filtradas com membranas filtrantes de vidro de  $0,45 \mu\text{m}$ , secas por 1 hora em estufa a  $105^\circ\text{C}$ , previamente pesadas e acopladas a um conjunto de filtração ligado a uma bomba de vácuo. Após filtração as membranas foram colocadas em estufa para secagem e pesadas de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

$$STS = \frac{P_1 - P_2}{V_{amostra}} \quad (2)$$

*Em que:* STS = concentração de Sólidos Totais em Suspensão ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ );  $P_1$  = massa do filtro pesado após a filtração (mg),  $P_2$  = massa do filtro pesado antes da

filtração (mg) e  $V$  = volume da amostra de água filtrada (L).

Os teores de fosfato -  $\text{PO}_4^{3-}$  (método do ácido ascórbico, de  $0,02$  a  $2,5 \pm 0,01$   $\text{mg.L}^{-1}$ ), sulfato  $\text{SO}_4^{2-}$  (método sulfaver 4, de  $0$  a  $70$   $\text{mg L}^{-1} \pm 0,9$   $\text{mg.L}^{-1}$ ) e nitrato  $\text{NO}_3^-$  (método de redução de cádmio, de  $0$  a  $30,0 \pm 0,3$   $\text{mg.L}^{-1}$ ) foram quantificados por colorímetro modelo DR 890 da HACH COMPANY (HACH, 2013).

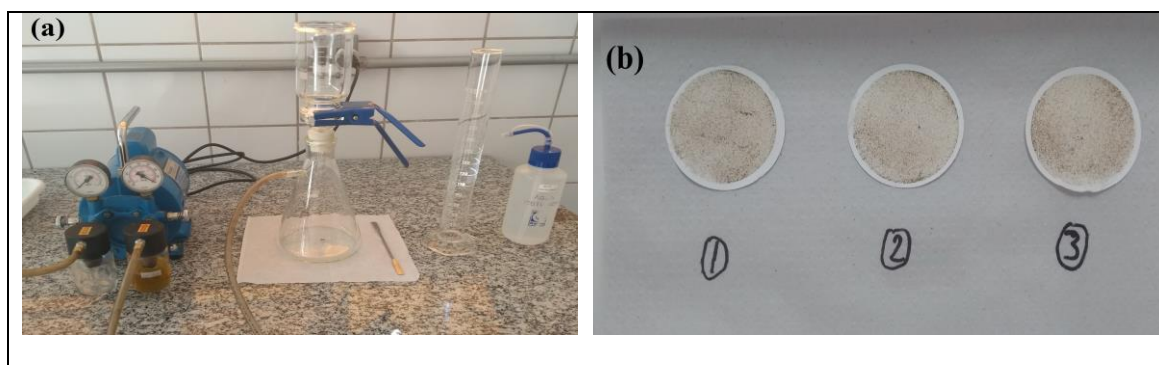


Figura 11. (a) Conjunto de filtração. (b) Filtros para determinação de sólidos em suspensão. (Fonte: próprio autor)

#### 5.4 CORRELAÇÃO DE PEARSON

O coeficiente de correlação de Pearson ou índice de Pearson “ $r$ ” mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas. É um índice onde os valores refletem a intensidade de uma relação linear entre dois conjuntos de dados. Este coeficiente, normalmente representado pela letra “ $r$ ” varia entre  $-1$  e  $1$ . Onde  $r = 1$  significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis,  $r = -1$  significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis e  $r = 0$  significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra, ou seja, quanto mais próximo do zero o índice menor a relação entre os parâmetros. Neste trabalho a Correlação de Pearson foi utilizada segundo a Equação (3).

$$r = \frac{\Sigma(x_i - x)(y_i - y)}{\sqrt{(\Sigma(x_i - x)^2)(\Sigma(y_i - y)^2)}} \quad (3)$$

Em que:  $r$  = coeficiente de correlação de Pearson;  $\Sigma$  = somatório;  $x_i$  e  $y_i$  = variáveis;  $x$  e  $y$  = médias aritméticas das variáveis.

Para validação dos índices de Pearson, foram considerados índices com forte relação, cujo teste de significância foram menores que 5 % ( $p < 0,05$ ).

## 5.5 ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO

O índice do estado trófico foi composto pelas concentrações de fósforo total (IET-PT), modificados por Lamparelli (2004), sendo estabelecidos para ambientes lóticos, segundo a Equação (4) e Tabela (2).

$$IET_{Pt} = 10 \times \left[ 6 - \left( \frac{0,42 - 0,36 \times \ln Pt}{\ln 2} \right) \right] - 20 \quad (4)$$

*Em que:* Pt = concentração de fósforo total medida na superfície da água, em  $\mu\text{g.L}^{-1}$ ; ln = logaritmo natural.

Os limites estabelecidos para as diferentes classes de trofia encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação do estado trófico para rios segundo índice de Carlson (1977).  
Adaptado de Lamparelli (2004).

<b>Estado trófico</b>	<b>Critério</b>	<b>Pt (<math>\mu\text{g.L}^{-1}</math>)</b>
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$P \leq 13$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$13 < P \leq 35$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$35 < P \leq 137$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$137 < P \leq 296$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$296 < P \leq 640$
Hipereutrófico	$IET > 67$	$640 < P$

IET – Índice de Estado Trófico; Pt – Fósforo Total (Fonte: Lamparelli, 2004)

Para conversão de Fosfato  $\text{PO}_4^{3-}$  em Fósforo Total (Pt) foi utilizado o fator de conversão 0,3261 (HACH, 2013). Este fator de conversão foi obtido a partir da relação do peso molecular do fósforo P (31) e do fosfato  $\text{PO}_4^{3-}$  (95).

## 5.6 AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE ESPECÍFICO (SEDIMENTOS E NUTRIENTES)

Para avaliar o transporte específico de sedimentos e nutrientes, nas águas fluviais da bacia hidrográfica do Rio Muzambo foi necessário relacionar a concentração média ponderada para cada parâmetro com a vazão média do rio durante um ano hidrológico, ou seja, estimou-se a quantidade total fornecida pelo rio em  $\text{t.ano}^{-1}$ . A concentração média ponderada do parâmetro ( $C_{mp}$ ) foi obtida pela Equação 5.



$$C_{mp} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (5)$$

*Em que:*  $C_{mp}$  = média ponderada do parâmetro nas águas fluviais ( $\text{mg.L}^{-1}$ );  $C_i$  = concentração do parâmetro na  $i$ -ésima amostra ( $\text{mg.L}^{-1}$ );  $Q_i$  = vazão do rio durante a coleta da  $i$ -ésima amostra ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

No cálculo de transporte de material foi empregado os dados de vazão (descarga líquida) e a concentração média ponderada de sedimentos e nutrientes a partir das Equações (6) e (7).

$$\frac{Q_{\text{diário}}}{\text{Área}} = 0,0864 \times Q_{\text{vazão}} \times (C_{mp}) \quad (6)$$

*Em que:*  $Q_{\text{diário}}$  = transporte de material diário ( $\text{t./km}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$ );  $Q_{\text{vazão}}$  = vazão anual ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ );  $C_{mp}$  = concentração média ponderada ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e a  $\text{Área}$  = área da sub-bacia hidrográfica ( $\text{km}^2$ ).

$$\frac{Q_{\text{anual}}}{\text{Área}} = Q_{\text{vazão}} \times 31,536 \times (C_{mp}) \quad (7)$$

*Em que:*  $Q_{\text{anual}}$  = transporte de material anual ( $\text{t./km}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$ ); 31,536 = fator de correção no período estudado, ano;  $Q_{\text{vazão}}$  = vazão média total ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ );  $C_{mp}$  = concentração média ponderada total ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e a  $\text{Área}$  = área da sub-bacia hidrográfica ( $\text{km}^2$ ).

Para o cálculo das equações (6) e (7), levou-se em consideração a área de drenagem até a seção de monitoramento, correspondente a  $1322 \text{ km}^2$ .

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 ANÁLISE DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS, VAZÃO E MORFODINÂMICA DO LEITO DE DRENAGEM

A precipitação é um fator importante para avaliar o índice de estado trófico, pois está relacionada ao intemperismo químico da rocha, ao transporte de material particulado até o curso d'água, a dissolução dos esgotos despejados, a velocidade da corrente do rio, a turbidez e outros parâmetros utilizados neste trabalho.

Analisando a média aritmética obtida através dos dados de três estações pluviométricas e a média histórica (Figuras 12 e 13), nota-se que no período de estudo, a média aritmética dos índices pluviométricos estão abaixo das médias aritméticas dos índices históricos mensais, conforme apresentados na tabela 4.

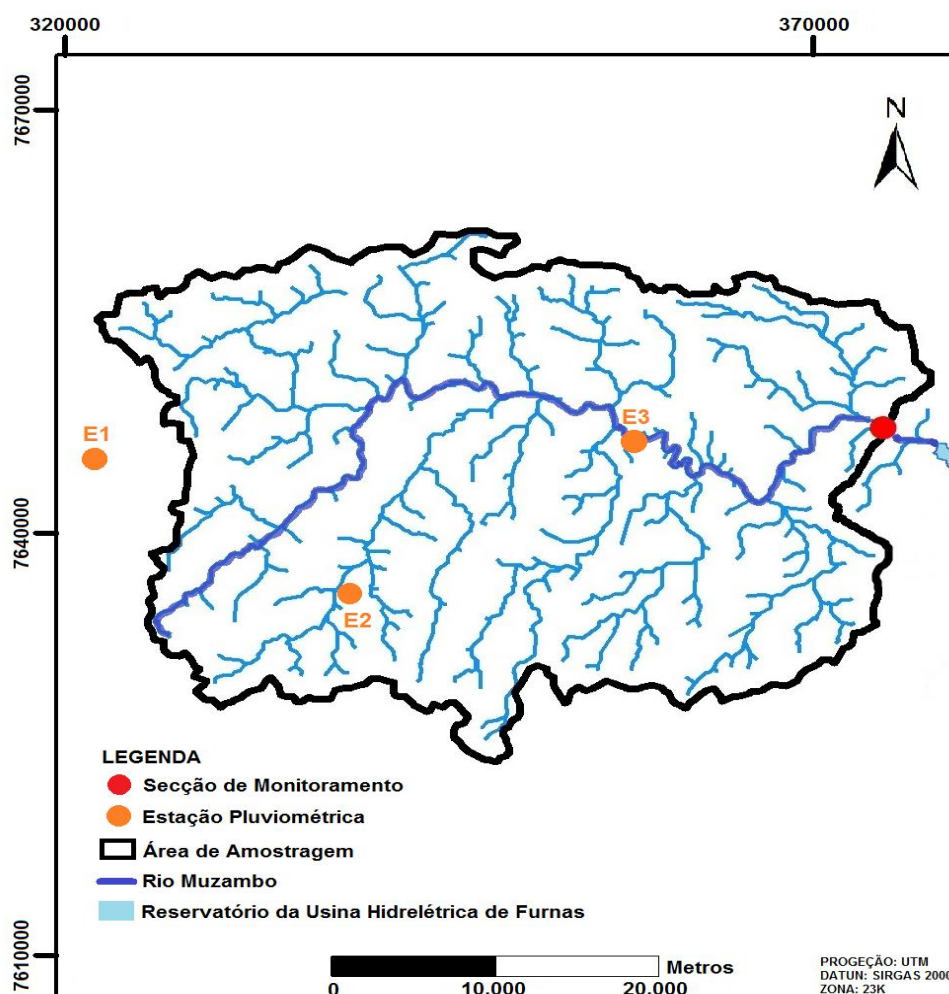


Figura 12. Área de drenagem em relação a seção de monitoramento e localização das Estações Pluviométricas de Guaxupé (E1), Muzambinho (E2) e Monte Belo (E3).

(Fonte: próprio autor)

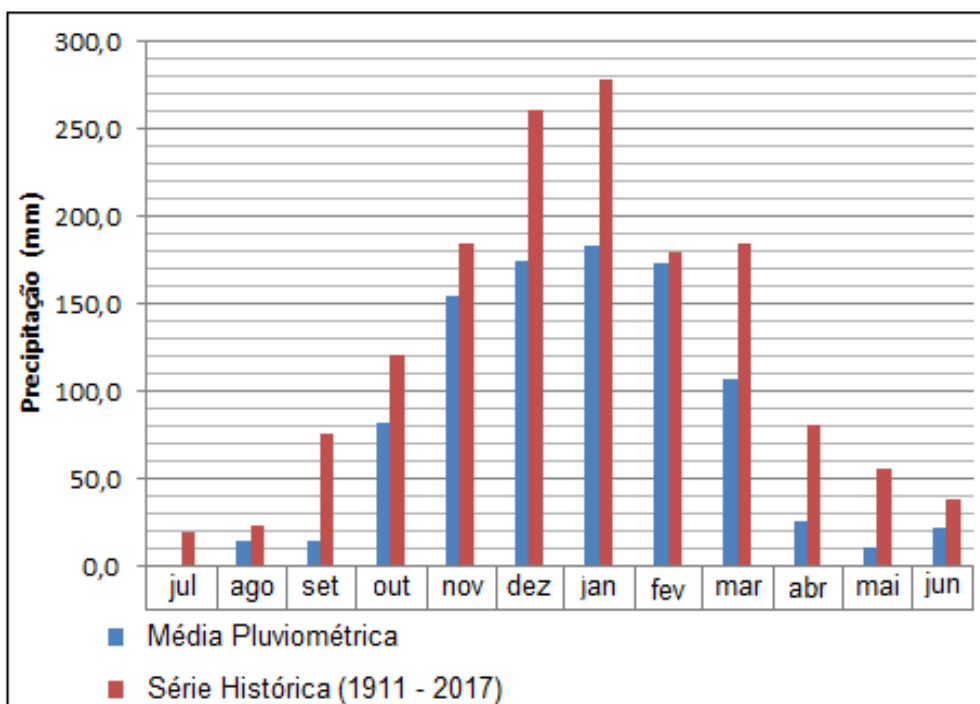


Figura 13. Média pluviométrica entre julho de 2017 e junho de 2018 e média da série histórica entre 1911 a 2017. (Fonte: próprio autor)

Tabela 3. Média da série histórica entre 1911 a 2017 das estações de Guaxupé (E1), Muzambinho (E2) e Monte Belo (E3).

	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>MÉDIA</b>
<b>JANEIRO</b>	268,1	277,6	291,4	<b>279,0</b>
<b>FEVEREIRO</b>	189,2	164,7	184,4	<b>179,4</b>
<b>MARÇO</b>	176,3	204,2	172,6	<b>184,4</b>
<b>ABRIL</b>	80,9	76,6	83,2	<b>80,2</b>
<b>MAIO</b>	56,3	49,1	61,0	<b>55,5</b>
<b>JUNHO</b>	34,4	49,8	31,5	<b>38,6</b>
<b>JULHO</b>	20,2	19,4	18,5	<b>19,4</b>
<b>AGOSTO</b>	27,4	15,6	25,7	<b>22,9</b>
<b>SETEMBRO</b>	82,7	69,5	76,9	<b>76,4</b>
<b>OUTUBRO</b>	128,6	105,0	130,5	<b>121,4</b>
<b>NOVEMBRO</b>	199,7	176,8	179,1	<b>185,2</b>
<b>DEZEMBRO</b>	276,4	254,1	250,9	<b>260,5</b>

Os dados médios das séries históricas (Tabela 3) e das médias pluviométricas do período de estudo (Tabela 4) indicam dois períodos hidrológicos bem definidos, caracterizado por uma estação seca que compreende os meses entre abril a setembro e estação úmida entre os meses de outubro a março.

Tabela 4. Precipitação coletada nas estações pluviométricas de Guaxupé, Muzambinho e Monte Belo entre julho de 2017 e junho de 2018 e média histórica entre 1911 a 2017.

<b>Mês</b>	<b>Precipitação Guaxupé</b>	<b>Precipitação Muzambinho</b>	<b>Precipitação Monte Belo</b>	<b>Média</b>	<b>Média Histórica</b>
<b>jul/17</b>	0	0,4	0,5	0,3	19,4
<b>ago/17</b>	14,5	11,4	16,8	14,2	22,9
<b>set/17</b>	0	19,1	24,0	14,4	76,4
<b>out/17</b>	60,9	122,5	64,0	82,5	121,4
<b>nov/17</b>	179,3	158,8	126,5	154,9	185,2
<b>dez/17</b>	157,2	240,9	127,5	175,2	260,5
<b>jan/18</b>	181,6	220,0	150,0	183,9	279,0
<b>fev/18</b>	211,6	210,5	97,0	173,0	179,4
<b>mar/18</b>	118,5	147,8	56,5	107,6	184,4
<b>abr/18</b>	34,4	31,4	11,0	25,6	80,2
<b>mai/18</b>	2,9	17,3	11,0	10,4	55,5
<b>jun/18</b>	25,6	33,1	7,5	22,1	38,6

A precipitação da bacia hidrográfica tem uma estreita relação com as medidas de vazão, principalmente no período úmido, melhor observado através da Tabela 5 e Figura 14.

Tabela 5. Tabela de relação entre vazão e precipitação (5 e 10 dias anteriores) a data de coleta.

<b>Data da coleta</b>	<b>Precipitação 10 dias anteriores à coleta (mm)</b>	<b>Precipitação 5 dias anteriores à coleta (mm)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>)</b>
22/07/2017	0,5	0,5	7,24
19/08/2017	15,8	15,8	6,26
23/09/2017	0	0	5,06
21/10/2017	1,0	1,0	5,54
25/11/2017	72,5	48,5	31,72
19/12/2017	1,5	1,0	6,92
27/01/2018	6,5	6,5	13,53
21/02/2018	42,5	39,5	18,43
24/03/2018	6,5	3,5	24,60
21/04/2018	1,0	0	6,06
06/06/2018	1,5	1,5	8,30
23/06/2018	0	0	7,88

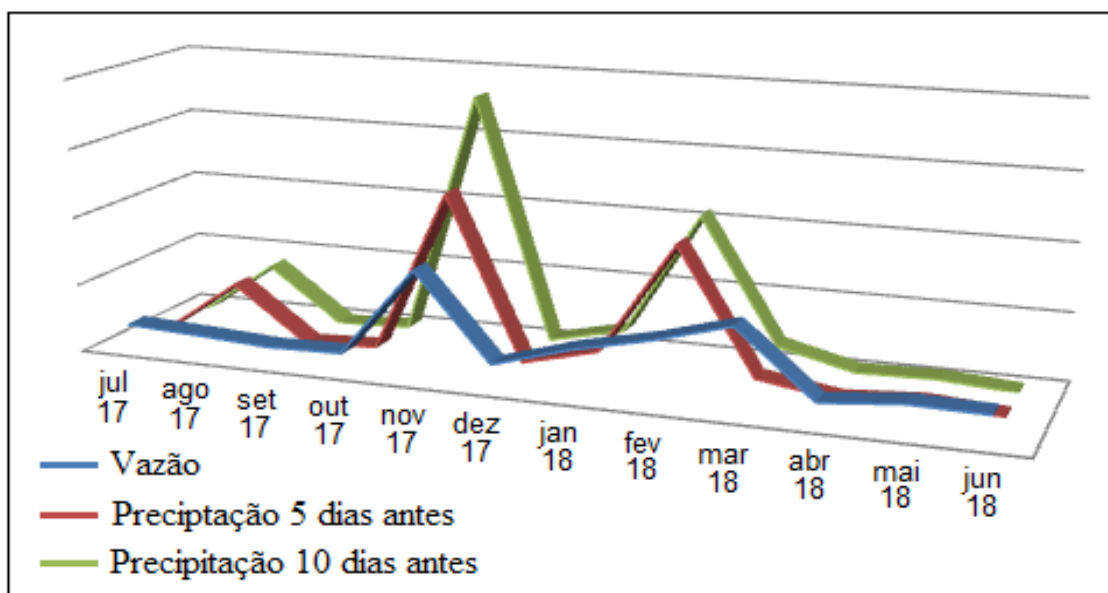


Figura 14. Relação entre vazão e precipitação 5 e 10 dias anteriores a data de coleta.

(Fonte: próprio autor)

A vazão nos meses de agosto e outubro de 2017 foram  $6,26 \text{ m.s}^{-1}$  e  $5,54 \text{ m.s}^{-1}$  respectivamente, diminuindo em relação ao mês de julho ( $7,24 \text{ m.s}^{-1}$ ). A precipitação em julho foi quase nula ( $0,3 \text{ mm}$ ) sendo que agosto houve uma pequena precipitação de ( $14,2 \text{ mm}$ ). Segundo Aparecido, (2018) o armazenamento de água no solo em agosto de 2017, foi de  $53,82 \%$ , setembro de  $40,6 \%$  e outubro de  $100\%$ . Assim é possível estabelecer uma possível dependência entre a vazão do Rio Muzambo e o armazenamento de água no solo.

Devido à precipitação de outubro ( $82,5 \text{ mm}$ ) e início de novembro de 2017 ( $154,9 \text{ mm}$ ), a vazão do Rio Muzambo aumentou para  $31,72 \text{ m.s}^{-1}$  e alterou a forma da secção do rio, carregando em sua corrente o material depositado do lado direito do leito Tabela 6 e Figura 15. Em dezembro de 2017 foi observada uma queda significativa da vazão  $6,92 \text{ m.s}^{-1}$ , este fator pode estar relacionado ao baixo índice pluviométrico de novembro ( $154,9 \text{ mm}$ ), abaixo do valor da média histórica ( $185,2$ ), conforme tabela 4.

Em janeiro, fevereiro e março de 2018 a vazão voltou a aumentar, atingindo-a  $24,60 \text{ m.s}^{-1}$  em março conforme valores de precipitação no mês de janeiro ( $183,9 \text{ mm}$ ), em fevereiro ( $173 \text{ mm}$ ) e março ( $107,6 \text{ mm}$ ), em abril, maio e junho-as vazões foram de  $6,06 \text{ m.s}^{-1}$ ,  $7,30 \text{ m.s}^{-1}$  e  $7,88 \text{ m.s}^{-1}$  respectivamente nos meses de abril, maio e junho. A vazão média do Rio Muzambo durante o período de estudo foi de  $11,79 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  e oscilou

da vazão mínima de  $5,06 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  em setembro de 2017 e máxima de  $31,72 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  em novembro de 2017, conforme Tabelas 6.

Tabela 6. Parâmetros para o cálculo da vazão no Rio Muzambo, entre julho de 2017 a junho de 2018.

Data	Profundidade média (m)	Velocidade média (m/s)	Largura do leito (m)	Vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
22/07/2017	1,31	0,25	22,30	7,24
19/08/2017	1,45	0,19	22,43	6,26
23/09/2017	1,16	0,21	21,25	5,06
21/10/2017	1,10	0,24	20,63	5,54
25/11/2017	2,21	0,61	23,70	31,72
19/12/2017	1,40	0,22	22,60	6,92
27/01/2018	1,81	0,33	22,70	13,53
21/02/2018	1,89	0,41	23,65	18,43
24/03/2018	2,20	0,47	23,70	24,60
21/04/2018	1,34	0,21	21,14	6,06
06/06/2018	1,21	0,31	22,06	8,30
23/06/2018	1,13	0,32	21,65	7,88
<b>média</b>	1,52	0,31	22,32	11,80

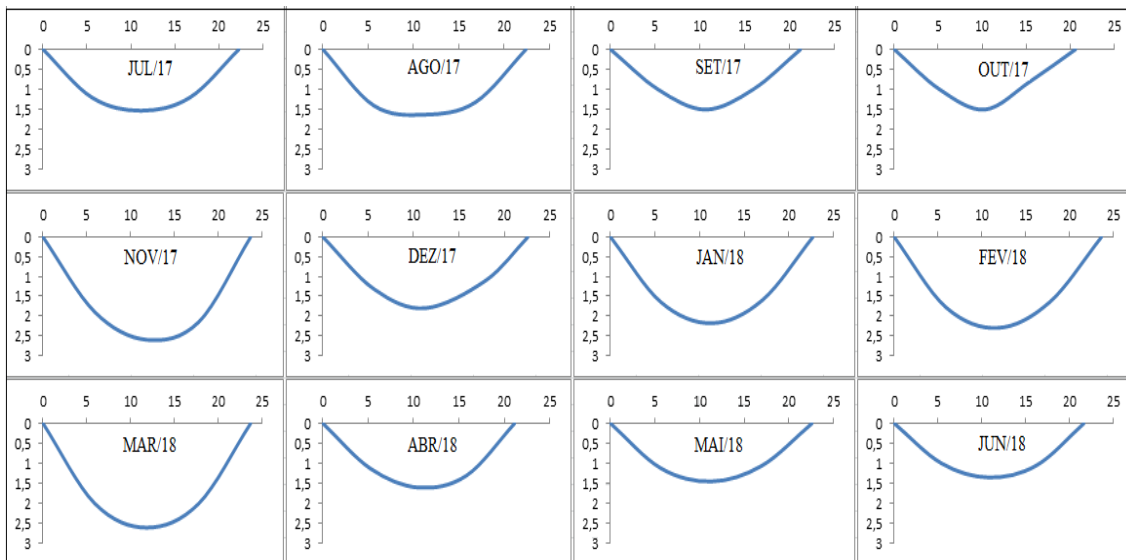


Figura 15. Representação gráfica da calha do leito do Rio Muzambo entre os períodos de julho de 2017 e junho de 2018.

O formato elíptico da bacia hidrográfica do Rio Muzambo, segundo Mello & Silva (2013), pode contribuir para a diminuição da velocidade da corrente fluvial,

devido às enxurradas serem distribuídas, acarretando em uma menor magnitude da vazão. Devido à magnitude menor da vazão a calha do rio não sofre tanta alteração e os sedimentos de fundo conseqüentemente são transportados em uma menor velocidade.

Nos meses de outubro a dezembro a calha do rio apresenta pequena deformidade do lado direito da secção, isso talvez tenha ocorrido devido à primeira chuva ocorrida em outubro. A chuva pode ter contribuído para o carreamento de sedimentos acumulados no período seco, pois, a aproximadamente 30 metros a montante da secção de amostragem, o rio possui um meandro a direita, erodindo a margem esquerda do curso. Além disso, o curso pode ter propiciado o acúmulo de sedimentos de fundo no lado direito da calha, que por sua vez, pode ter sido carregado pela corrente, deixando novamente o leito do rio a forma de parábola. Segundo (CHRISTOFOLETTI, 1980), o nome deste processo natural é “*point bars*”, que são os baixios arenosos ou de cascalho construídos pelo rio através da deposição no lado interno das curvas, dos materiais arrancados dos bancos de solapamento situados a montante.

## 6.2 PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS NO RIO MUZAMBO

### 6.2.1 Temperatura

A temperatura é um parâmetro importante, pois o seu aumento está relacionado ao aumento das taxas de reações químicas, físicas e biológicas (SPERLING, 2014). A temperatura da água é importante para a distribuição do fitoplâncton, pois age diretamente sobre o organismo, principalmente na reprodução destes. Estes organismos fitoplanctônicos tem total relação com os nutrientes essenciais como P, N, C, Ca, Mg, entre outros (ESTEVES, 2011).

Durante o ano de coleta a temperatura da água do Rio Muzambo oscilou de 16,75 em julho e 26,83 °C em dezembro de 2017 com média anual de 22,2 °C (Tabela 7). Os resultados indicam uma variação média de 10,08 °C na temperatura da água entre o inverno seco e o verão chuvoso.

Em um estudo feito no alto do Sorocaba, Sardinha (2008), encontrou uma variação da temperatura da água de 14,4 °C. Esta diferença de aproximadamente 4 °C entre as duas bacias pode estar relacionada com a atividade antrópica ou transferência de calor por condução, radiação e convecção (SARDINHA et al. 2008).

Em outro trabalho realizado na bacia Rio Arari – PA (ALVES, et.al, 2012), encontrou uma variação de temperatura foi de apenas 4 °C durante o ano todo. Esta variação menor possivelmente se deu pelo tipo de clima, equatorial com menor

amplitude térmica na região do Rio Arari e tropical/tropical de altitude com maior amplitude térmica na região do Rio Muzambo e Alto Sorocaba.

Tabela 7. Parâmetros físicos e químicos quantificados nas águas fluviais do exutório do Rio Muzambo, entre julho de 2017 e junho de 2018.

	Q	T°C	pH	ORP (mV)	Cond. ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	Turb (NTU)	OD	STD	STS	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>											
jul/17	7,24	16,75	7,47	147,0	66	4,0	4,58	43	16,6	1,3	0,0	0,06
ago/17	6,26	18,92	7,22	195,3	64	6,2	4,37	41	27,6	1,4	0,0	0,04
set/17	5,06	20,93	7,61	136,0	66	9,1	4,33	43	28,2	1,5	0,0	0,06
out/17	5,54	24,87	7,18	217,3	87	11,1	6,57	56	23,2	2,4	0,0	0,08
nov/17	31,72	23,89	7,18	161,6	55	41,8	1,30	35	115,6	1,0	0,0	0,08
dez/17	6,92	26,83	7,13	193,3	76	20,4	5,73	50	41,3	1,3	1,0	0,16
jan/18	13,53	26,58	6,86	225,6	68	23,1	3,70	44	41,0	2,7	1,0	0,06
fev/18	18,43	24,54	7,22	214,0	56	33,1	4,62	37	19,6	3,1	0,0	0,16
mar/18	24,60	24,88	6,58	255,0	58	29,6	1,49	38	29,3	2,9	1,0	0,18
abr/18	6,06	20,81	6,77	264,0	65	17,7	11,16	42	35,3	2,7	0,0	0,33
mai/18	8,30	19,96	5,53	246,6	51	5,2	6,62	33	8,0	4,4	2,0	0,68
jun/18	7,88	17,55	6,63	223,6	58	4,1	7,24	38	6,9	3,1	1,0	0,45
<b>média</b>	<b>11,79</b>	<b>22,20</b>	<b>6,94</b>	<b>206,6</b>	<b>64</b>	<b>17,1</b>	<b>5,14</b>	<b>41</b>	<b>32,7</b>	<b>2,3</b>	<b>0,5</b>	<b>0,19</b>

Q = vazão; T°C = temperatura; pH = Potencial hidrogeniônico; ORP = Potencial de oxi redução; Cond = condutividade; Turb = turbidez; OD = Oxigênio dissolvido; STD = Sólidos totais dissolvidos; STS = Sólidos totais em suspensão.

A relação da temperatura e da turbidez foi positiva, com índice de Pearson (0,7) Tabela 8 e Figura 16. Isto pode estar relacionado com as maiores precipitações que ocorrem durante o verão quente e chuvoso, aumentando consequentemente a vazão e a turbidez da água.

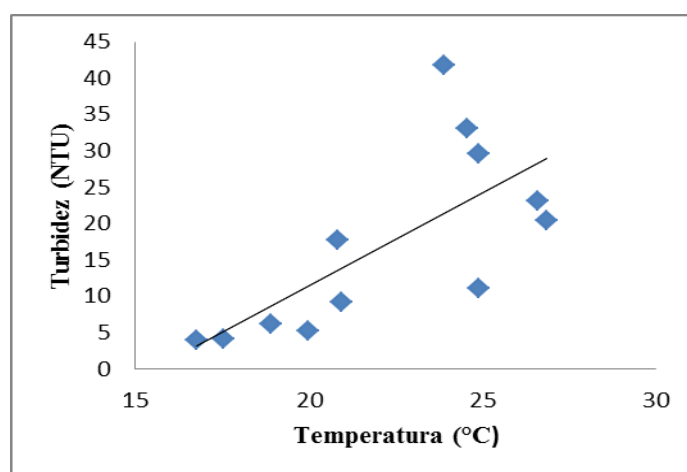


Figura 16. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre temperatura e turbidez



Tabela 8. Valores dos coeficientes de correlação (r) de Pearson entre os parâmetros analisados nas águas do Rio Muzambo, no período de julho de 2017 a junho de 2018, com destaque para os coeficientes significativos ao nível de 5 %. ( Fonte: próprio autor)

	<i>Q</i>	<i>T°C</i>	<i>pH</i>	<i>ORP</i>	<i>Cond</i>	<i>Turb</i>	<i>OD</i>	<i>STD</i>	<i>STS</i>	<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	<i>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></i>	<i>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></i>
<i>Q</i>	1											
<i>T°C</i>	0,41	1										
<i>pH</i>	0,03	0,06	1									
<i>ORP</i>	0,01	0,20	-0,72	1								
<i>Cond.</i>	-0,48	0,33	0,46	-0,1	1							
<i>Turb</i>	0,86	0,70	0,13	0,07	-0,22	1						
<i>OD</i>	-0,69	-0,31	-0,25	0,42	0,22	-0,50	1					
<i>STD</i>	-0,49	0,34	0,46	-0,10	0,99	-0,20	0,23	1				
<i>STS</i>	0,68	0,39	0,26	-0,30	-0,08	0,70	-0,45	-0,11	1			
<i>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></i>	-0,05	-0,02	-0,82	0,77	-0,37	-0,10	0,35	-0,36	-0,50	1		
<i>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></i>	-0,16	-0,32	-0,88	0,57	-0,48	-0,30	0,50	-0,47	-0,40	0,78	1	
<i>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></i>	-0,01	0,09	-0,84	0,49	-0,31	-0,20	0,02	-0,29	-0,30	0,64	0,71	1

Q = vazão; T°C = temperatura; pH = Potencial hidrogeniônico; ORP = Potencial de oxi redução; Cond = condutividade; Turb = turbidez; OD = Oxigênio dissolvido; STD = Sólidos totais dissolvidos; STS = Sólidos totais em suspensão.

### 6.2.2 Vazão

Para o parâmetro vazão foram obtidas correlações positivas com turbidez (0,86) e sólidos totais em suspensão (0,68) e uma correlação negativa com oxigênio dissolvido (-0,69), conforme Tabela 8 e Figura 17.

Esta relação entre turbidez e vazão também foi encontrada no Rio Catolé Grande – BA (BARRETO, 2014), onde foi observado que no mês de menor vazão, foi o mês com menor turbidez e um índice de Pearson positivo 0,81. No Rio Muzambo esta relação entre turbidez e vazão também pode ser observada durante o período de estudo, melhor demonstrado pela correlação de Pearson positiva 0,86 (Figura 17).

No Rio Cascavel, oeste do Paraná, Moura et al. (2009), verificou que os resultados elevados de turbidez estavam relacionados com os meses de maior índice pluviométrico, o que ocasionou o revolvimento do sedimento de fundo.

Neste sentido, observa-se que a vazão, influenciada pela precipitação, esta contribuindo para o aumento dos valores de turbidez e sólidos totais em suspensão, pois, a erosão laminar que carrega sedimentos para a calha do rio é maior no período chuvoso.

Para oxigênio dissolvido, a carga de matéria orgânica (material alóctone) depositada no período seco, pode estar sendo revolvida durante o período chuvoso, conforme correlação negativa observada.

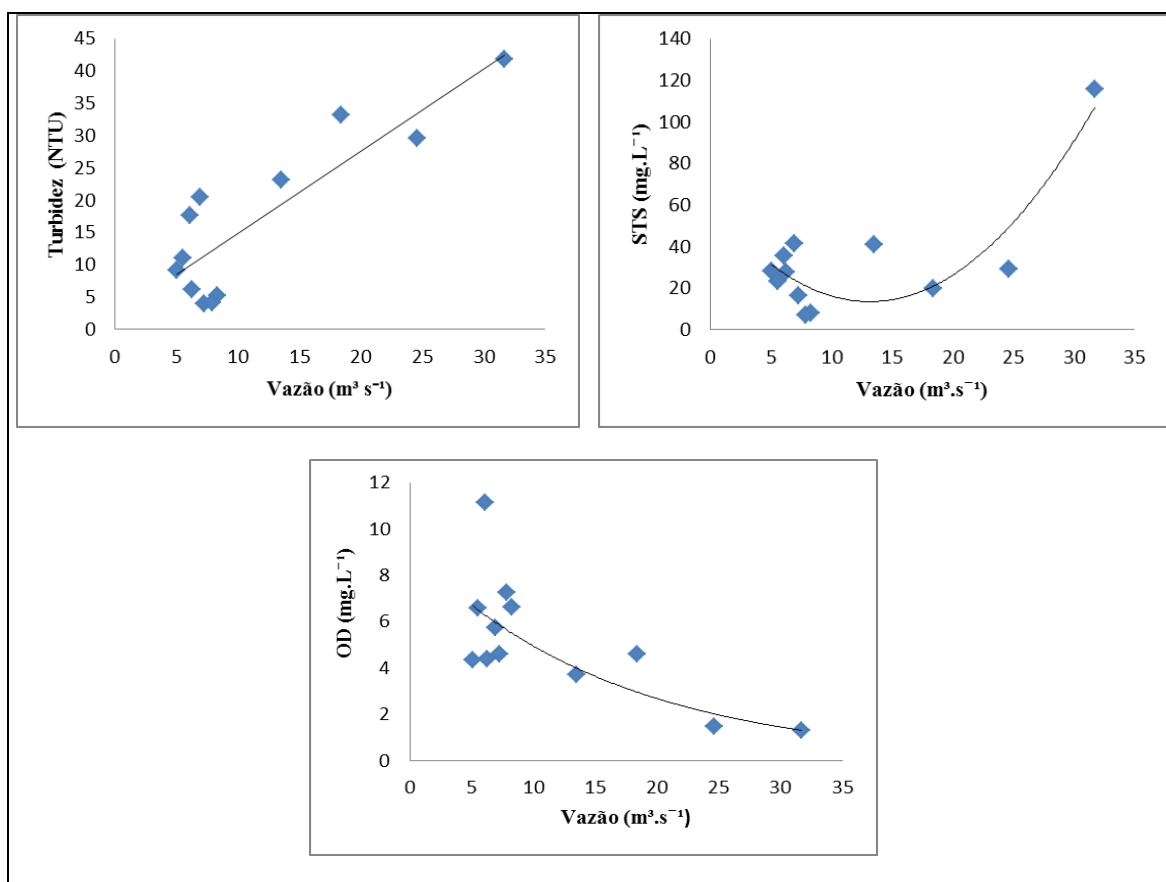


Figura 17 Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre vazão e turbidez, vazão e oxigênio dissolvido e vazão e sólidos totais em suspensão e vazão.

### 6.2.3 pH – Potencial Hidrogeniônico

A Resolução CONAMA n° 357 de 2005 fixa o valor de pH entre 6,0 e 9,0 como critério de proteção da vida aquática (Figura 18), e valores fora desse intervalo podem alterar a solubilidade de nutrientes. Os valores encontrados durante o período de amostragem estão dentro da faixa recomendada, apenas os resultados de maio de 2018 (pH = 5,53) estão fora desta faixa.

Durante o ano de coleta não houve variação do pH, que se manteve próximo a neutralidade. Porém, na maioria das amostras os valores apresentaram um caráter levemente ácido (Tabela 7 e Figura 18), menor valor 5,53 e o maior 7,47 em julho de 2017, com média anual de 6,94. Segundo (BARRETO, 2014) a pequena variação de pH

pode estar relacionada ao fato de que o uso e ocupação de solo está quase que restrito ao uso agropecuário.

De acordo com (BARRETO, 2014), vários autores encontram valores relacionados entre a diminuição do pH com o aumento da vazão, porém ainda é difícil estabelecer uma relação entre os parâmetros. Já no Rio Muzambo não foi encontrada esta relação entre a diminuição do pH e o aumento da vazão.

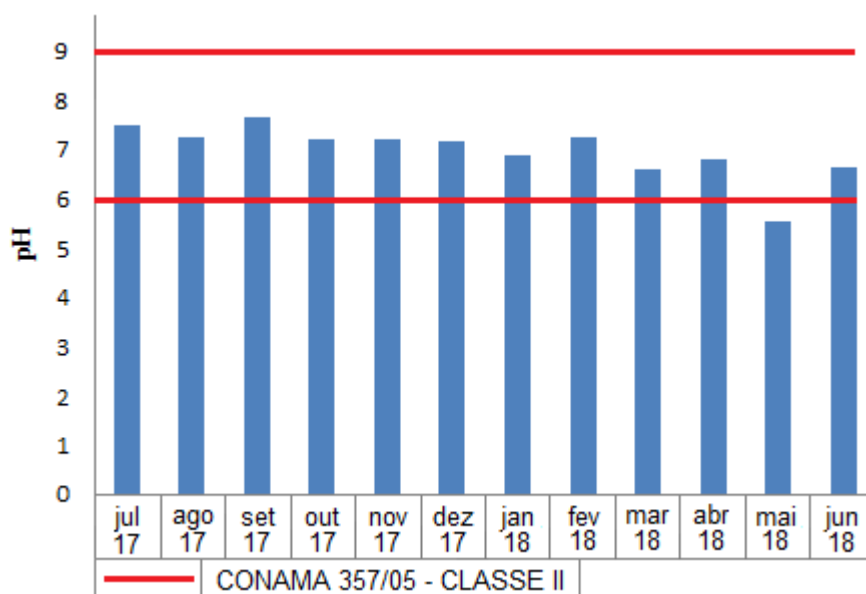


Figura 18. Valores de pH encontrados nas amostras de água próximo ao exutório do Rio Muzambo e limites da resolução CONAMA 357/05, para rios classe II.

Quanto ao pH observa-se correlações negativas com potencial de oxirredução (-0,72), nitrato (-0,82), fosfato (-0,88) e sulfato (-0,84), ou seja, quanto menor os valores de pH, maior será a concentração destes elementos (Figura 20 e Tabela 8).

Segundo (RAMOS JR., 2012), o pH é a expressão numérica logarítmica, assim a unidade de pH representa o aumento ou a diminuição da concentração de íons de hidrogênio em dez vezes, além do pH ser um importante indicador dos processos de produção e respiração. Assim podemos notar no Rio Muzambo esta relação entre pH e potencial de óxido redução.

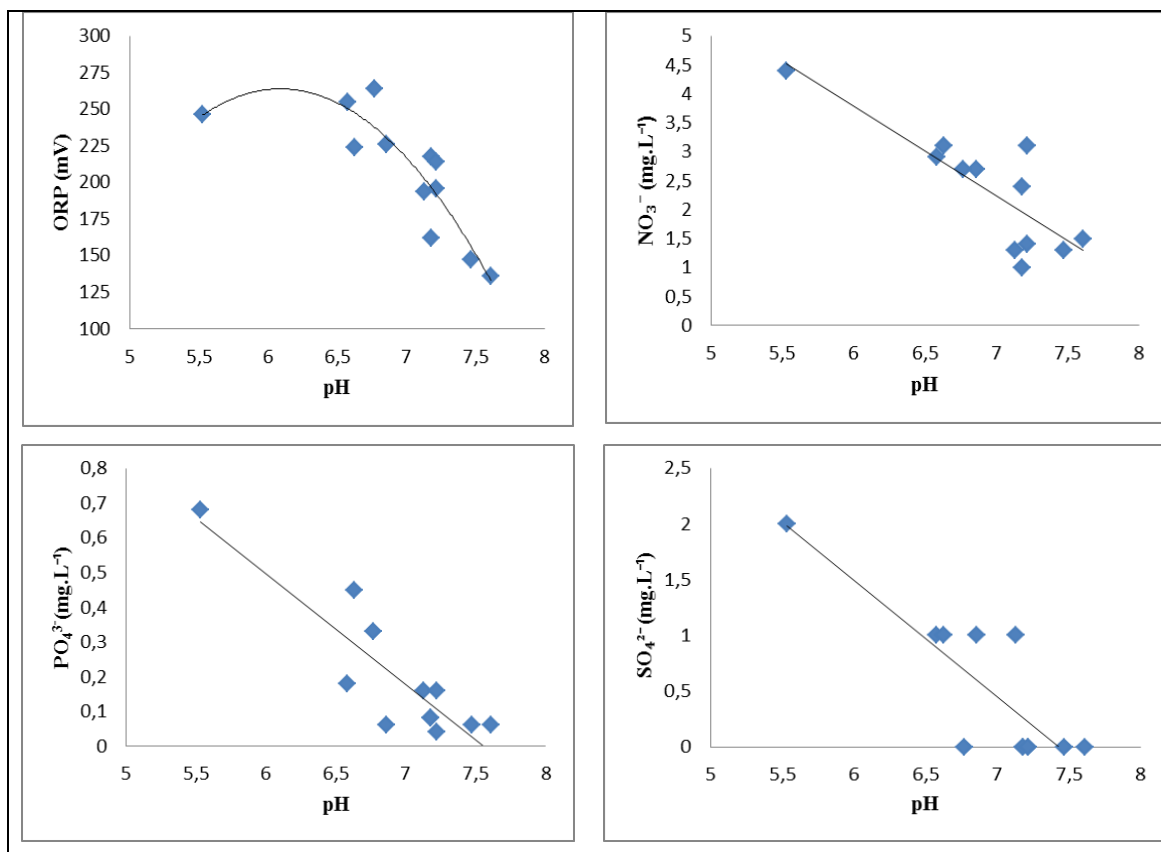


Figura 19. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre pH e potencial de oxirredução, pH e nitrato, pH e fosfato e pH e sulfato.

#### 6.2.4 Potencial de óxido redução – ORP

O potencial de oxirredução, potencial redox ou apenas potencial de redução é uma medida que representa a tendência da espécie química de adquirir elétrons ou serem reduzidas. A unidade de medida do ORP é mili volt (mV). A variação do ORP apresentou valor mínimo de 136 mV em setembro de 2017 e máximo de 264 mV em abril de 2018, com média anual de 206,6 mV conforme (Tabela 7).

Correlações positivas entre potencial de oxirredução com os nutrientes nitrato (0,77) e fosfato (0,57) também foram observadas neste estudo (Figura 21 e Tabela 8).

O potencial de óxido redução expressa a capacidade intrínseca de espécies químicas presentes em uma solução de agirem como agente oxidantes ou redutores de outras espécies químicas. (RAMOS JR., 2012). Assim a correlação entre ORP e nitrato e fosfato, nas amostras do Rio Muzambo, demonstra está relação nos processos de oxidação e redução nos níveis de base do rio.

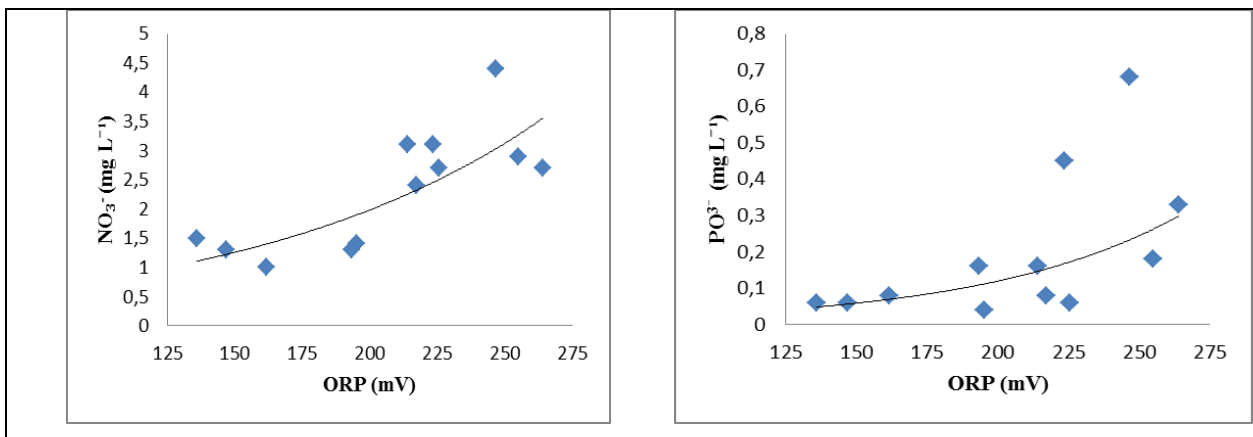


Figura 20. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre potencial de oxirredução com os nutrientes nitrato e fosfato.

### 6.2.5 Condutividade

Durante o ano de coleta, os índices de condutividade variaram  $51 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  em maio de 2018 a  $87 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  em outubro de 2017, com média anual de  $64 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Tabela 7). Já (CARMO, 2005) em estudo no Rio Descoberto - DF encontrou valores mínimo e máximo de  $41 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e  $125 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

Segundo (SILVA e FERNANDES, 2011) em estudo sobre a qualidade da água, verificou que as amostras onde a condutividade alcançaram níveis elevados, eram provenientes de águas provenientes de telhados cerâmicos, possivelmente em função do material depositado e justificando quando for maior a quantidade de íons, maior será a condutividade elétrica.

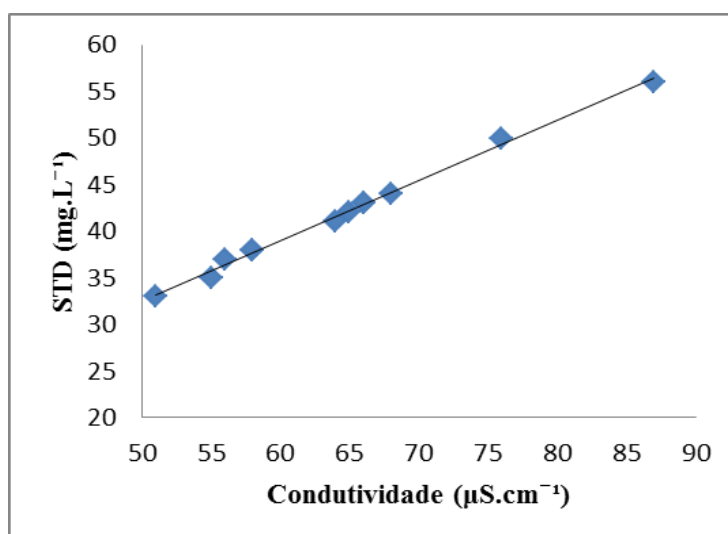


Figura 21. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre a condutividade e sólidos totais dissolvidos.

A relação da condutividade e sólidos totais dissolvidos foi de (0,99) conforme Figura 21 e Tabela 8. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água em uma dada temperatura, ou seja, o seu teor salino é aproximadamente dois terços do valor obtido para a condutividade, conforme instrumentação utilizada neste estudo.

### 6.2.6 Turbidez - NTU - Nephelometric Turbidity Units

Durante o ano hidrológico estudado foi observado uma grande variação de turbidez entre o período seco e o úmido, menor 4,0 NTU em julho de 2017 e maior de 41,8 NTU em novembro de 2017, com média anual de 17,11 NTU (Tabela 7).

Os valores de turbidez, em novembro de 2017, foram de 41,8 NTU, ficando fora da especificação da resolução CONAMA 357/05, para rios de classe II, inferior a 40 NTU (Figura 22). Isto se deve, muito provavelmente, ao período de chuvas e aumento do escoamento superficial, conforme verificado nos valores de precipitação e vazão da Tabela 4. O aumento do escoamento superficial pode influenciar no aumento da erosão laminar, ocasionando um maior carregamento de sedimentos para a calha do rio.

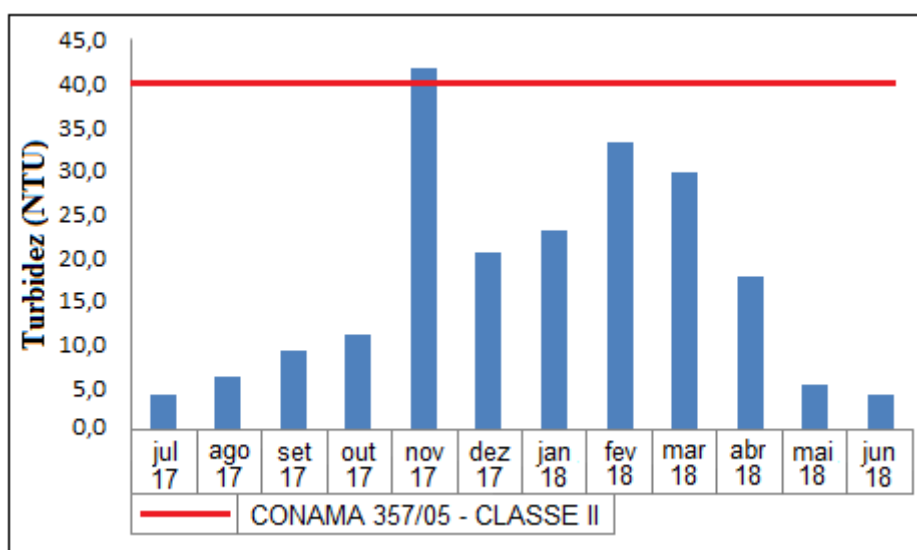


Figura 22. Valores de Turbidez encontrados nas amostras de água do Rio Muzambo, próximo ao exutório em comparação ao valor máximo, estabelecido pela resolução CONAMA 357/05, para rios classe II.

Segundo (SILVA et al., 2008), em seu estudo no Rio Purus – AM foi verificado que o aumento da pluviosidade se relacionou com o aumento da turbidez e sólidos totais

em suspensão. Esta relação entre turbidez e sólidos totais em suspensão foi verificado nas amostras do Rio Muzambo conforme figura 23.

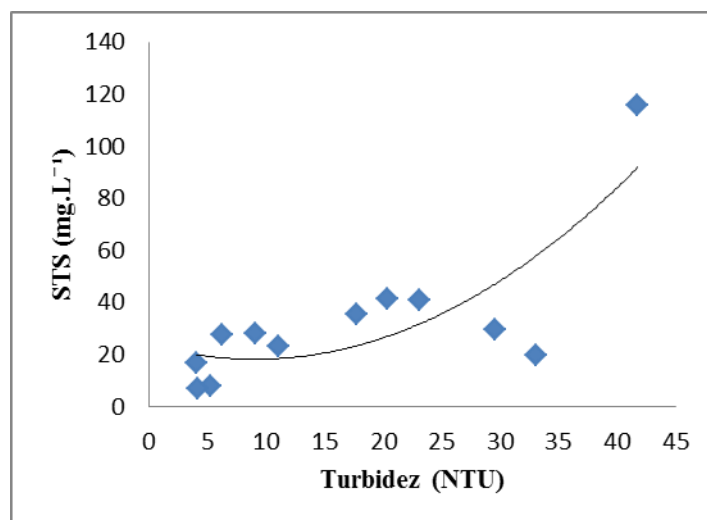


Figura 23. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre turbidez e sólidos totais em suspensão.

### 6.2.7 Oxigênio dissolvido – OD

Os dados menores de OD podem ser justificados pelo maior consumo de oxigênio como consequência do aumento de nutrientes e materiais orgânicos no período chuvoso, que aumenta o consumo de  $O_2$ .

Segundo Paula Filho (2012) em seu estudo no Rio Corrente – PI, a concentração média de oxigênio dissolvido foi de  $5,2 \text{ mg.L}^{-1}$  e verificou que as concentrações abaixo de  $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$  favorecem os processos anaeróbicos, favorecendo a solubilização dos óxidos de ferro e alumínio, diminuindo a capacidade máxima de adsorção de fósforo dos sedimentos ocasionando um aumento da concentração de nutrientes. Nas amostras do Rio Muzambo, nos meses de novembro de 2017 e março de 2018, foram encontrados valores de oxigênio dissolvido de  $1,3 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$  (Tabela 7).

De acordo com o estabelecido na resolução CONAMA 357/05, para rios de classe II, o valor de OD não deve ser inferior a  $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ . Pode-se observar na Figura 24, que nos meses de outubro de 2017, abril, maio e junho de 2018 as concentrações são superiores ao estabelecido pela legislação. Os valores mais baixos encontrados durante o período de estudo foram nos meses de novembro de 2017 e março de 2018,  $1,3 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $1,49 \text{ mg.L}^{-1}$  respectivamente, com média anual de  $5,14 \text{ mg.L}^{-1}$  (Tabela7).

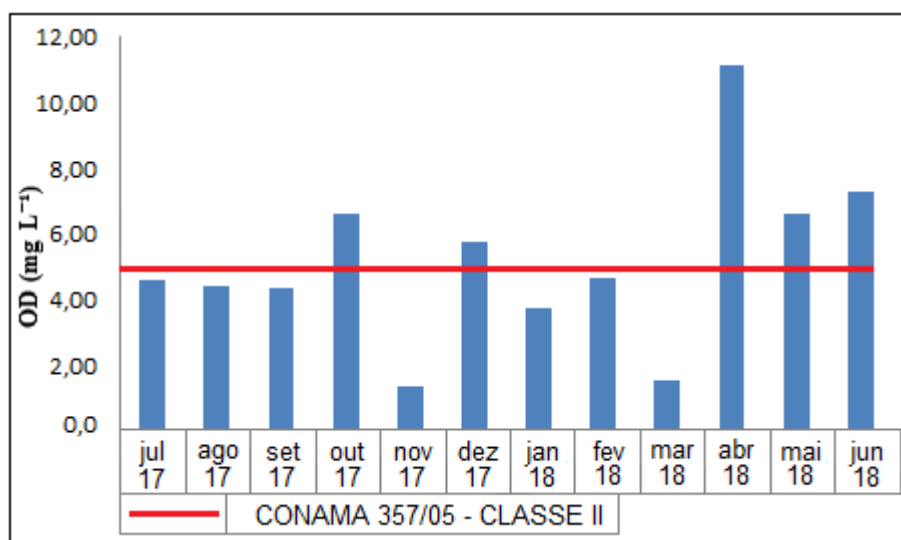


Figura 24. Valores de oxigênio dissolvido encontrados nas amostras de água do Rio Muzambo, na secção de monitoramento em comparação ao valor máximo, estabelecido pela resolução CONAMA 357/05

Os meses com baixo nível de oxigênio dissolvido foram os que tiveram as maiores vazões registradas durante o estudo  $31,72 \text{ m.s}^{-1}$  em novembro de 2017 e  $24,60 \text{ m.s}^{-1}$  em março de 2018. Segundo Sperling (2014), o consumo de oxigênio dissolvido se deve a respiração dos microorganismos decompositores, tornando a taxa de consumo de oxigênio superior a taxa de produção. Neste sentido, muito provavelmente a carga de matéria orgânica (material alóctone) depositada no leito do rio durante o período seco, pode ter sido revolvida durante o período chuvoso, aumentando o consumo de oxigênio pelo processo de decomposição.

### 6.2.8 Sólidos totais dissolvidos – STD

A concentração de sólidos dissolvidos está relacionada à precipitação, à geologia e à geomorfologia da bacia hidrográfica, da vegetação e das variações dos ciclos hidrológicos e climatológicos, pois estes ciclos controlam os processos físicos, químicos e biológicos (TUNDISI, 2008)

O menor valor encontrado foi de  $33 \text{ mg.L}^{-1}$  em maio de 2018, o maior de  $56 \text{ mg.L}^{-1}$  em outubro de 2017, com média anual de  $41 \text{ mg.L}^{-1}$ , conforme (Tabela 7). Tais concentrações foram próximas as encontradas por Madruga (2008), em estudo realizado no Córrego dos Macacos, afluente do rio Mogi Guaçu, onde os valores de sólidos totais



dissolvidos foram de 55,7 mg.L<sup>-1</sup>. Já Carmo (2005) em estudo no Rio Descoberto – DF, encontrou valores mínimo e máximo de 19 mg.L<sup>-1</sup> e 59 mg.L<sup>-1</sup>.

### 6.2.9 Sólidos totais em suspensão – STS

Os sólidos totais em suspensão correspondem à matéria orgânica e inorgânica, tendo como origem natural e antrópica, através de despejo industrial, atividades de garimpo ou mineração e agricultura (SPERLING, 2014). Este é um parâmetro importante, pois pode representar uma carga considerável transportada para o Reservatório de Furnas.

Nos rios brasileiros a carga de material em suspensão é bem maior que a carga dissolvida e depende diretamente do uso do solo e da cobertura vegetal (TUNDISI, 2008). De forma grosseira é constatado que a carga de sólidos totais em suspensão é predominante sobre a carga de fundo, podendo atingir 95% da carga sólida dos rios (SPERLING, 2014).

O menor valor foi de 6,9 mg.L<sup>-1</sup> em junho de 2018 e o maior de 115,6 mg.L<sup>-1</sup> em novembro de 2017, com média no período de estudo de 32,7 mg.L<sup>-1</sup>, conforme (Tabela 7). Estes valores demonstram uma correlação entre sólidos totais em suspensão e a vazão de período seco e período úmido, onde o índice de Pearson foi de 0,68 (Tabela 8).

Em estudo realizado por Alves (2008), foram encontradas concentrações mínimas e máximas de sólidos totais em suspensão no Rio Pirapó - PR nos valores de 4,0 mg.L<sup>-1</sup> e 82,0 mg.L<sup>-1</sup>. Esta diferença entra os valores encontrados nas duas bacias hidrográficas pode estar relacionada com a topografia do terreno, pois os índices altimétricos da bacia do Rio Muzambo são bem maiores que os da bacia do Rio Pirapó.

### 6.2.10 Nitrato – NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Naturalmente, as fontes de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> são as chuvas com raios, aporte orgânico e inorgânico como dejetos de animais, fertilizantes e atualmente em grande escala o despejo de esgotos nos corpos d'água (SPERLING, 2014). O NO<sub>3</sub><sup>-</sup> é essencial nos ecossistemas aquáticos continentais, pois é uma das principais formas de nitrogênio assimiláveis pelos produtores primários (ESTEVEZ, 2011).

No meio aquático o nitrogênio (N) é encontrado em várias formas, uma delas é em forma de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) que pode ser produzido a partir da oxidação do nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) em nitrato pela reação  $NO_2^- + O_2 \rightarrow NO_3^- + Energia$  e da oxidação da amônia (NH<sub>3</sub>)

em nitrato pela reação  $NH_4^+ + 2 O_2 \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O + Energia$  (SPERLING, 2014).

A menor concentração obtida foi de 1,0 mg. L<sup>-1</sup> em novembro de 2017 e a maior foi de 4,4 mg. L<sup>-1</sup> em maio de 2018, com média anual de 2,3 mg L<sup>-1</sup>, conforme (Tabelas 7 e 9). A resolução CONAMA 357-05 estabelece que as concentrações de nitrato sejam inferiores a 10,0 mg.L<sup>-1</sup>, sendo assim pode ser observado baixos níveis de nitrato nas amostras analisadas.

As concentrações encontradas nas amostras do Rio Muzambo foram superiores em relação as encontradas no estudo realizado por Madruga (2008), onde os valores máximo e mínimo encontrados no Rio Mogi Guaçu foram 0,032 mg.L<sup>-1</sup> e 0,099 mg.L<sup>-1</sup>, já no Córrego dos Macacos o mesmo autor encontrou valor de até 4,21 mg.L<sup>-1</sup>, valor bem próximo ao encontrado no Rio Muzambo.

#### 6.2.11 Fosfato – PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

O fósforo (P) na água é encontrado na forma de ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico (ESTEVEZ, 2011). O fósforo nas águas tem como origem natural a dissolução de compostos minerais e do solo, e, origem antrópica a partir de despejos de esgotos, detergentes, dejetos de animais e fertilizantes (SPERLING, 2014).

Tabela 9. Teores de nutrientes nas águas fluviais do exutório do Rio Muzambo entre julho de 2017 e junho de 2018.

Mês/Ano	Vazão m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
		(mg.L <sup>-1</sup> )		
jul/17	7,24	1,30	0,06	0
ago/17	6,26	1,40	0,04	0
set/17	5,06	1,50	0,06	0
out/17	5,54	2,40	0,08	0
nov/17	31,72	1,00	0,08	0
dez/17	6,92	1,30	0,16	1
jan/18	13,53	2,70	0,06	1
fev/18	18,43	3,10	0,16	0
mar/18	24,60	2,90	0,18	1
abr/18	6,06	2,70	0,33	0
mai/18	8,30	4,40	0,68	2
jun/18	7,88	3,10	0,45	1
<b>média</b>	<b>11,79</b>	<b>2,30</b>	<b>0,19</b>	<b>0,5</b>

Para os ecossistemas o fósforo tem grande importância para o crescimento e aumento da população de algas, onde elevados níveis pode favorecer um crescimento exagerado (SPERLING, 2014).

A menor concentração obtida foi de 0,04 mg.L<sup>-1</sup> em agosto de 2017, a maior foi de 0,68 mg.L<sup>-1</sup> em maio de 2018, com média anual de 0,19 mg.L<sup>-1</sup> conforme (Tabela 7 e 9). Já Carmo (2005) em estudo no Rio Descoberto – DF encontrou valores mínimo (1,0 mg.L<sup>-1</sup>) e máximo (8,0 mg.L<sup>-1</sup>), valores bem maiores encontrados no Rio Muzambo.

### 6.2.12 Sulfato – SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

De acordo com a resolução CONAMA 357-05 as concentrações de sulfato devam ser inferiores a 250 mg.L<sup>-1</sup>, nas amostras analisadas, a menor concentração obtida foi 0,0 mg L<sup>-1</sup> na maioria dos meses, e a maior de 2,0 mg.L<sup>-1</sup> em maio de 2018, com média anual de 0,5 mg.L<sup>-1</sup>, conforme (Tabela 7 e 9).

Segundo Sardinha (2011) a presença de ânions pode estar relacionada com aportes antropogênicos como tráfego de veículos, queimadas e queima de combustíveis fósseis (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

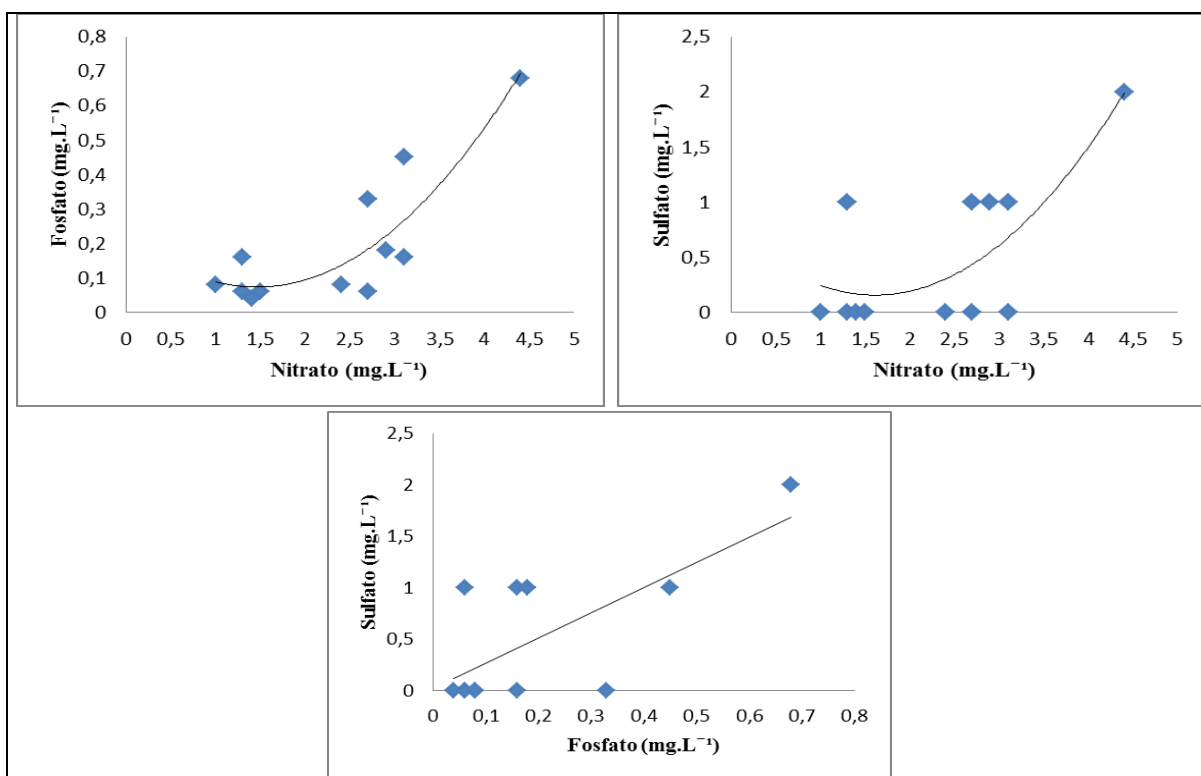


Figura 25. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre fosfato e nitrato, sulfato e nitrato e sulfato e fosfato.

Correlações positivas entre os nutrientes fosfato e nitrato (0,78), sulfato e nitrato (0,64) e sulfato e fosfato (0,71) também foram verificadas nas águas superficiais da bacia do Rio Muzambo.

Segundo Souza e Gonçalves (2014), os principais vetores de nutrientes no curso de água é o uso urbano e o mau uso do solo na agricultura. Assim o despejo de efluentes sem tratamento, a ausência ou pouca mata ciliar e o mau uso do solo, proporcionam um carreamento de material particulado contendo nitrato, sulfato e fosfato.

### 6.3 ESTADO TRÓFICO DO RIO MUZAMBO

Os valores de fósforo total (Pt) e IET-Pt nas águas do Rio Muzambo, variaram no período de estudo. O Pt variou entre 13,0  $\mu\text{g.L}^{-1}$  (oligotrófico) em agosto de 2017 e 221,7  $\mu\text{g.L}^{-1}$  (eutrófico) em início de junho de 2018 (Tabela 10). Consequentemente os valores de IET-Pt no período também variaram, de 47,27 em agosto de 2017 para 61,99 em maio de 2018.

Tais valores de Pt foram próximos aos encontrados no Rio Mogi Guaçu (MADRUGA, 2008), onde os valores mínimo e máximo foram de 60  $\mu\text{g.L}^{-1}$  e 110  $\mu\text{g.L}^{-1}$ .

Tabela 10. Dados obtidos de  $\text{PO}_4^{3-}$ , P e IET-Pt, obtidos de amostras do Rio Muzambo, entre julho de 2017 e junho de 2018.

<b>Data</b>	<b><math>\text{PO}_4^{3-}</math> <math>\text{mg.L}^{-1}</math></b>	<b>Pt <math>\text{mg.L}^{-1}</math></b>	<b>Pt <math>\mu\text{.L}^{-1}</math></b>	<b>IET-Pt</b>
22/07/17	0,06	0,0195	19,5	49,38
19/08/17	0,04	0,0130	13,0	47,27
23/09/17	0,06	0,0195	19,5	49,38
21/10/17	0,08	0,0260	26,0	50,87
25/11/17	0,08	0,0260	26,0	50,87
19/12/17	0,16	0,0521	52,1	54,47
27/01/18	0,06	0,0195	19,5	49,38
21/02/18	0,16	0,0521	52,1	54,47
24/03/18	0,18	0,0586	58,6	55,09
21/04/18	0,33	0,1076	107,6	58,23
06/06/18	0,68	0,2217	221,7	61,99
23/06/18	0,45	0,1467	146,7	59,85

$\text{PO}_4^{3-}$  = Fosfato; Pt = Fósforo total.

Os valores de Pt e IET-Pt, no Rio Muzambo, caracterizaram o estado trófico do corpo d'água. Assim, em julho, agosto, setembro, outubro e novembro de 2017 e janeiro

de 2018 o estado trófico foi definido como oligotrófico nos meses de dezembro de 2017, fevereiro, março e abril de 2018 como mesotrófico e nas duas amostras do mês de junho de 2018, como eutrófico (Tabela 11).

Foram obtidos os níveis de estado trófico encontrados no Rio Muzambo, oligotrófico, mesotrófico e eutrófico, variou durante o ano, possivelmente devido as características fisiográficas da bacia hidrográfica, desmatamento, volume de efluentes despejados e ciclo de culturas agrícolas.

Nos cultivos agrícolas como o do predomínio do café, que pelo mapa de uso e ocupação de solo, ocupa as áreas mais íngremes, favorece a erosão hídrica. Estas áreas de café tem uma ocupação histórica e também carecem de práticas conservacionistas.

Outro fator que contribui para erosão hídrica e o aporte de sedimentos aos cursos d'água é a quantidade de apenas 17,5% de matas nativas, abaixo dos 20% de Reserva Legal estabelecido pelo atual Código Florestal Brasileiro.

Tabela 11. Caracterização mensal do IET-Pt das amostras do Rio Muzambo entre julho de 2017 e junho de 2018.

<b>Data</b>	<b>Estado trófico</b>	<b>Critério</b>	<b>IET-Pt</b>
22/07/17	Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	49,38
19/08/17	Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	47,27
23/09/17	Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	49,38
21/10/17	Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	50,87
25/11/17	Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	50,87
19/12/17	Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	54,47
27/01/18	Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	49,38
21/02/18	Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	54,47
24/03/18	Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	55,09
21/04/18	Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	58,23
06/06/18	Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	61,99
23/06/18	Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	59,85

Em estudo comparativo, Farage (2010), encontrou valores de IET-Pt, no Rio Pomba – MG, entre 43 e 89, variando entre o ultraoligotrófico e o hipereutrófico. Já Andrietti (2015), em estudo no rio Caiabí – MT, em uma região com baixa atividade antrópica encontrou valores entre 10 e 29, caracterizando o ambiente como ultraoligotrófico.

#### 6.4 TRANSPORTE ESPECÍFICO DE SEDIMENTOS E NUTRIENTES DO RIO MUZAMBO

O transporte de sedimentos e nutrientes, neste trabalho, pode ser considerado um fator importante para caracterizar o ambiente fluvial do Rio Muzambo, pois todo o material transportado será depositado no Reservatório de Furnas. Os resultados das médias ponderadas pela vazão (Tabela 12) indicam que sólidos totais em suspensão são as maiores concentrações analisadas ( $45,84 \text{ mg.L}^{-1}$ ), seguida por sólidos totais dissolvidos ( $39,50 \text{ mg.L}^{-1}$ ), nitrato ( $2,27 \text{ mg.L}^{-1}$ ), sulfato ( $0,49 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e fosfato ( $0,17 \text{ mg.L}^{-1}$ ).

Segundo, Machado e Vettorazzi (2003) os processos hidrológicos associados ao manejo do solo, claramente exercem um papel na produção e transporte de sedimento. Em estudo no Rio São Francisco, Carvalho (1995) verificou que o aumento da produção de sedimento está associado a urbanização, mineração e aumento das áreas agrícolas, aliado a fortes chuvas. Sardinha (2008), na bacia do Alto Sorocaba, observou a diminuição na qualidade das águas do rio devido a baixa eficiência no tratamento de esgoto doméstico e intensa atividade agrícola, acelerando os processos de eutrofização no reservatório de Itupararanga.

Tabela 12. Tabela das concentrações de STD, STS,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  e valores da média ponderada pela vazão do Rio Muzambo.

Mês/Ano	Q $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$	STD	STS	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$
		(mg.L <sup>-1</sup> )				
jul/17	7,24	43	16,60	1,30	0,06	0
ago/17	6,26	41	27,60	1,40	0,04	0
set/17	5,06	43	28,20	1,50	0,06	0
out/17	5,54	56	23,20	2,40	0,08	0
nov/17	31,72	35	115,60	1,00	0,08	0
dez/17	6,92	50	41,30	1,30	0,16	1
jan/18	13,53	44	41,00	2,70	0,06	1
fev/18	18,43	37	19,60	3,10	0,16	0
mar/18	24,60	38	29,30	2,90	0,18	1
abr/18	6,06	42	35,30	2,70	0,33	0
mai/18	8,30	33	8,00	4,40	0,68	2
jun/18	7,88	38	6,90	3,10	0,45	1
<b>Média</b>	11,79	41,66	32,71	2,31	0,19	0,5
<b>Média ponderada pela vazão</b>		<b>39,50</b>	<b>45,84</b>	<b>2,27</b>	<b>0,17</b>	<b>0,49</b>

Q = vazão; STD = Sólidos totais dissolvidos; STS = Sólidos totais em suspensão;  $\text{NO}_3^-$  = Nitrato;  $\text{PO}_4^{3-}$  = Fosfato;  $\text{SO}_4^{2-}$  = Sulfato.

As atividades agro-pastoris podem alterar a qualidade da água, pois, sedimentos gerados e resíduos de agrotóxicos podem ser carregados aos cursos d'água, principalmente durante o verão chuvoso. Segundo Tundisi (2008), os ambientes lóticos são atingidos por modificações, entre elas: poluição orgânica e inorgânica a partir de fontes agrícolas; uso intensivo do solo que acarreta o aumento de material em suspensão; alteração das várzeas; remoção da vegetação ripária e urbanização. Além disso, a atividade cafeeira da região também pode alterar a qualidade das águas do Rio Muzambo, segundo Cabanellas (2004), o beneficiamento das sementes do café pode gerar efluentes líquidos que contem elevadas concentrações de material orgânico e inorgânico.

Para calcular a quantidade de material dissolvido, suspenso e nutrientes transportados pelo Rio Muzambo ao Reservatório de Furnas, foram utilizados os valores da média ponderada pela vazão da Tabela 12. A carga diária transporte é de aproximadamente  $90,0 \text{ t.dia}^{-1}$  ou  $33.000 \text{ t.ano}^{-1}$  (Tabela 13). Os resultados de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  foram de  $2,31 \text{ t.dia}^{-1}$ ,  $0,17 \text{ t.dia}^{-1}$  e  $0,5 \text{ t.dia}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 13). Essa carga de nutrientes pode proporcionar um ambiente altamente propício para o desenvolvimento de algas, macrófitas e vegetação marginal, proporcionando uma rápida alteração do ecossistema local do exutório. Na bacia do Barigui, área de  $1416 \text{ km}^2$ , Nolasco et al., (2011) encontram uma variação de  $20,0$  e  $350,0 \text{ t.dia}^{-1}$  de sólidos totais em suspensão.

Tabela 13. Carga diária e anual transportada pelo Rio Muzambo.

Transporte	STD	STS	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$
	(tonelada)				
<b>Diário</b>	40,23	46,69	2,31	0,17	0,50
<b>Anual</b>	14.700	17.000	844.000	63.000	182.000

STD = Sólidos totais dissolvidos; STS = Sólidos totais em suspensão;  $\text{NO}_3^-$  = Nitrato;  $\text{PO}_4^{3-}$  = Fosfato;  $\text{SO}_4^{2-}$  = Sulfato.

Considerando a área de drenagem do ponto de amostragem ( $1322 \text{ km}^2$ ) e a carga diária e anual transportada pelo Rio Muzambo (toneladas), foi calculado o transporte específico ( $\text{t.km}^{-2}$ ) de sólidos totais dissolvidos, suspensos, nitrato, fosfato e sulfato (Tabela 14). Os resultados indicam que a carga mínima transportada pelo Rio Muzambo para o Reservatório de Furnas foi de  $6,77 \times 10^{-2}$  de  $\text{t./km}^2 \text{ dia}^{-1}$  e  $24,85 \text{ t./km}^2 \text{ ano}^{-1}$

Tabela 14. Transporte específico diário e anual do Rio Muzambo.

Transporte	STD	STS	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	(t.km <sup>-2</sup> )				
<b>Diário</b>	3,05 x 10 <sup>-2</sup>	3,54 x 10 <sup>-2</sup>	1,75 x 10 <sup>-3</sup>	1,33 x 10 <sup>-4</sup>	3,78 x 10 <sup>-4</sup>
<b>Anual</b>	11,12	12,91	6,39 x 10 <sup>-1</sup>	0,48 x 10 <sup>-1</sup>	1,38 x 10 <sup>-1</sup>

STD = Sólidos totais dissolvidos; STS = Sólidos totais em suspensão; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Nitrato; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> = Fosfato; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = Sulfato

Considerando os dados de usos e ocupação da área pela pastagem (44,8%), agrícola (32,5%) e Mata Nativa (17,5%), os dados de turbidez e de STS são explicados pela maior quantidade de sedimentos que são careados para os cursos d'água da área pela erosão hídrica. Em geral as pastagens não são mantidas com manejos conservacionistas, com sobrepastoreio e sem o rodízio de pastagens, que favorece a erosão hídrica dos solos.



## 7. CONCLUSÃO

O índice de eutrofização para fósforo total – IET-Pt mostrou-se como um instrumento de grande importância para monitoramento da água do Rio Muzambo. Além desse índice, fatores físicos e químicos foram analisados em conjunto, auxiliando a caracterizar o grau de trofismo da bacia hidrográfica através do IET-Pt do Rio Muzambo. Os índices de IET-Pt foram classificados entre oligotrófico, mesotrófico e eutrófico, possuindo uma água com característica de produtividade baixa a intermediária, com valores de IET-Pt entre 47 e 61. Com relação aos meses classificados como eutróficos, nota-se correspondência com altas taxas de OD e fósforo e pouca turbidez.

A média histórica das chuvas confirma os meses mais chuvosos de outubro a março. As vazões no ano de estudo são coerentes com a precipitação, exceto para o mês de dezembro, com precipitação anormalmente baixa, em relação a série histórica. O período chuvoso também apresenta os maiores índices de turbidez e STS, os menores de OD. As maiores temperaturas da água no período chuvoso refletem as variações sazonais das temperaturas climáticas e também explica os maiores índices de turbidez com as maiores temperaturas, isso devido à erosão hídrica maior no período chuvoso.

Com relação a carga de sólidos transportada por área, com valor de  $24,8 \text{ t.km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$  e devido a grande carga de nutrientes e material carregado até o exutório, localizado no reservatório da Represa de Furnas, com uma carga total aproximada de  $90 \text{ t.dia}^{-1}$  e  $33.000 \text{ t.ano}^{-1}$  de sólidos dissolvidos e em suspensão, evidencia um assoreamento do exutório.

Os resultados dos parâmetros analisados poderiam ser mais precisos se fossem coletados diariamente ou até mesmo semanalmente, porém os resultados apresentados neste estudo evidenciam como dados iniciais, para estudos mais aprofundados.

Através desses resultados, sugere-se que amostragens em pontos definidos desde a nascente até o exutório do Rio Muzambo devam ser realizadas com o objetivo de identificar os locais de possíveis alterações na qualidade das águas na bacia. Além disso, o monitoramento temporal através de imagens de satélite, em conjunto com as taxas de materiais transportados e depositados no Reservatório de Furnas, podem contribuir com medidas de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos desta importante bacia hidrográfica.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-9898-** Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores. Rio de Janeiro, 1987.
- ALVES, E.C.; SILVA, C.F.; COSSICH, E.S.; TAVARES, C.R.G.; SOUZA FILHO, E.E.; CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do Rio Pirapó – Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. **Acta Sci. Technol**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 39 – 48, 2008.
- ALVES, I.C.C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M.L.S.; MONTEIRO, S.M.; BARBOSA, L.P.F.; GUIMARÃES, J.T.F. Qualidade das águas superficiais e avaliação de estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, Norte do Brasil). **Acta Amazônica**, v.42, n.1, p. 115-124, 2012.
- ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A.G.; ALMEIDA, F.T.; BONGIOVANI, M.C.; SCHNEIDER, R.M. Índice de qualidade da água e de estado trófico do Rio Caiabí-MT. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.11, n.1, 2016.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington, American Public Health Association Pub., 2012. 1935 p.
- APARECIDO, L.E.O.; SOUZA, P.S. **Boletim Climático**. Muzambinho: Instituto Federal Sul de Minas – Campus Muzambinho, 2017-2018.
- BARRETO, L.V.; FRAGA, M.S.; BARROS, F.M.; ROCHA, F.A.; AMORIM, J.S.; CARVALHO, S.R.; BONOMO, P.; SILVA, D.P. Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 9, n. 1, 2014.
- BORGES, J.R.P. O processo de avanço das lavouras de cana-de-açúcar em assentamento rural e seus impactos à saúde humana e ao ambiente - um estudo de percepção de riscos socioambientais. In: CONGRESSO DE MEIO AMBIENTE DA ASSOCIAÇÃO UNIVERSIDADE GRUPO DE MONTIVIDEO. 6., [20--]. **Anais...** Disponível em: <http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A3-007.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2019.
- BRANDÃO, M.; LACA-BUENA, J.P.; GAVILANES, M.L. Plantas palustres e Aauáticas que se Ccmportam como Iivasoras no Estado de Minas Gerais. **Acta Botânica Brasileira**, v.2, n 1, p. 255 – 265. 1989.
- BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral – **Projeto Sapucaí, estados de São Paulo e Minas Gerais: Relatório final de geologia**. Por Libório Quirino Kaefer e outros. Brasília, DNPM/CPRM, superintendência regional de São Paulo, 1979.
- CABANELAS, C.F.G. **Tratamento da água sob recirculação, em escala laboratorial, na despolpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa: Departamento de Engenharia Agrícola, 2004.
- CARMO, M.S.; BOAVENTURA, G.R.; OLIVEIRA, E.C. Geoquímica das águas da bacia hidrográfica do Rio Descoberto, Brasília/DF – Brasil. **Química Nova**, v. 28, n.4, p. 565 – 574, 2005.

- CARVALHO, N. Erosão crescente na bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia**, Caderno de Recursos Hídricos, v. 13, n. 2, p. 5-19, 1995.
- CARVALHO, N. O; GUILHON, L. G; TRINDADE, P. A. O assoreamento de um pequeno reservatório – Itiquira, um estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, 2008.
- CONCEIÇÃO, F.T.; SANTOS, C.M.; SOUZA, A.D.G.; LIMA, V.B.; SARDINHA, D.S.; NAVARRO, G.R.B. Avaliação do transporte específico de cátion e ânion na bacia do Ribeirão Preto (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v. 16, n. 1, p.29-37, 2012.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **Resolução nº 430, de 13 de março de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 92, Seção 1, p. 89, 16 maio 2011.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Blucher, 1980.
- CUNHA, D. G. F., CALIJURI, M. C., LAMPARELLI, M. C. **Ecological Engineering**, v. 60, p. 126-134, 2004.
- DOMINGOS, O.H. **Diagnóstico dos impactos ambientais na bacia do Rio Muzambo e Muzambinho-MG**. 2013. 41f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção Agropecuária)-Universidade José do Rosário Vellano, Alfenas, 2013.
- DORANT, I. C. **Estrutura da paisagem no leste de São Paulo e sudoeste de Minas Gerais: Relações entre superfície de erosão e termocronologia por traços de fissão**. 2006. 109f. Dissertação (Mestrado em Geociências)-UNESP, Rio Claro-SP, 2006.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.
- FARAGE, J.A.P.; MATOS, A.T.; DA SILVA, D.D.; BORGES, A.C. Determinação do índice de estado trófico para fósforo em pontos do Rio Pomba. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 18, n. 14, p. 322 – 329, 2010.
- FIA, R, MATOS, A. T., CORADI, P. C., PEREIRA-RAMIREZ, O. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v. 4, n 1, p. 132- 141, 2004.
- HACH - DR/890 COLORIMETER PROCEDURES MANUAL. 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Perfil dos municípios brasileiros: Meio Ambiente**. Rio de Janeiro, 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Perfil dos municípios brasileiros: Cidades**. Rio de Janeiro, 2010.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Relatório Parcial 2: Prognóstico das demandas hídricas / Instituto Mineiro de Gestão das Águas; Alago – Fupai**. Belo Horizonte: IGAM, 2013. 130 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Resumo executivo do plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do entorno do lago de Furnas / Instituto Mineiro de Gestão das Águas; Alago - Fupai.** Belo Horizonte: IGAM, 2012. 75 p.

LAMPARELLI, M. C. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** 2004. 235f. Tese (Doutorado em Ciências)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A. Simulação da produção de sedimentos para a micro bacia hidrográfica do Ribeirão dos Martins-SP. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 735-741, 2003.

MACHADO, G.M.; FERREIRA, M.F.M. Morfotectônica da bacia hidrográfica do Rio Muzambo, município de Monte Belo-MG. **In: SIMPÓSIO MINEIRO DE GEOGRAFIA-DAS DIVERSIDADES À ARTICULAÇÃO GEOGRÁFICA**,1.,2014, Alfenas. **Anais...** UNIFAL-MG, 2014. p. 183 – 195.

MADRUGA, F.V.; REIS, F.A.G.V.; MEDEIROS, G.A.; GIORDANO, L.C. Avaliação da influência do Córrego dos Macacos na qualidade da água do Rio Mogi Guaçu, no município de Mogi Guaçu – SP. **Engenharia ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 2, p. 152 – 168, 2008.

MAIA, A.A.D.; CARVALHO, S.L.; CARVALHO, F.T. Comparação de dois índices do grau de trofia nas águas do baixo Rio São José dos Dourados, São Paulo, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 613-622, 2015.

MELLO, C.R.; SILVA, A.M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas.** Lavras: Ed. UFLA, 2013. p. 455.

MOURA, A.C; ASSUMPÇÃO, R.A.B.; BISCHOFF, J. Monitoramento físico-químico e microbiológico da água do Rio Cascavel, durante o período de 2003 a 2006. **Arq. Inst. Biol.**, São Paulo, v.26, n. 1, p 17-26, jan./mar. 2009.

NOLASCO, M.B. **Transporte de material dissolvido e particulado na bacia do Rio Sorocaba-SP.** 2001. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências)-CENA/USP, Piracicaba, 2011.

PAULA FILHO, F.J.; DE MOURA, M.C. S.; MARINS, R.V. Fracionamento geoquímico do fósforo em água e sedimentos do Rio Corrente, bacia hidrográfica do Parnaíba/PI. **Revista Virtual Química**, v.4, n.6, p. 623 – 640, 2012.

RAMOS JR., A.B.S.; **Hidroquímica do Rio São Paulo, recôncavo baiano.** 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica)-Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

SILVA, A.E.P.; ANGELIS, C.F.; MACHADO, L.A.T.; WAICHAMAN, A.V. Influência da precipitação na qualidade da água no Rio Purus. **Acta Amazônica**, v.38, n.4, p. 733 – 742, 2008.

SILVA, D.B.; FERNANDES, L.F.R. Avaliação da qualidade de água pluvial que incide na quadra poliesportiva Nilo Peçanha do IF Sul de Minas – Campus Inconfidentes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2., 2011. **Anais...** Londrina – PR, 2011.

SARDINHA, D.S. **Avaliação da taxa de intemperismo químico na bacia do Rio Jaú (SP)**. 2011. 109 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional)-Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

SARDINHA, D.S.; CONCEIÇÃO, F.T.; BONOTTO, D.M.; SALLES, D.H.; ANGELUCCI, V.A. Avaliação do balanço anula de cátions e ânions na bacia do alto Sorocaba-SP. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 4, p. 730-740, 2008.

SARDINHA, D.S.; CONCEIÇÃO, F.T.; SOUZA, A.D.G.; SILVEIRA, A.; JULIO, M.; GONÇALVES, J.C.S.I. Avaliação da Qualidade da Água e Autodepuração do Ribeirão do Meio, Leme (SP). **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 13, n. 3, p.329-338, 2008.

SOUZA, M.M.; GASTALDINI, M.C.C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 19, n.3, p. 263 – 274, 2014.

SPERLING, M.V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. v. 7. 592 p.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI : enfrentando a escassez**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2005. 247 p.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VALLE JÚNIOR, R.F.; ABDALA, V.L.; GUIDOLINI, J.F.; SIQUEIRA, H.E.; CANDIDO, H. G. Diagnóstico temporal e espacial da qualidade das águas superficiais do Rio Uberaba – MG. **Revista Caminhos de Geografia**, v.14, n. 45, p. 01 – 11, Uberlândia, 2013.