

Tatiana Acácio da Silva

**Uso do solo e sua influência na qualidade da água e produção de
sedimentos em reservatórios de abastecimento de água do município de
Sorocaba – SP**

Sorocaba
2021

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

**ciências
ambientais**

Tatiana Acácio da Silva

**Uso do solo e sua influência na qualidade da água e produção de
sedimentos em reservatórios de abastecimento de água do município de
Sorocaba – SP**

Dissertação apresentada como requisito para a
obtenção do título de Mestre em Ciências
Ambientais da Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho” na Área de
Concentração Diagnóstico, Tratamento e
Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Manuel Enrique Gamero
Guandique

Sorocaba
2021

S586u

Silva, Tatiana Acácio

Uso do solo e sua influência na qualidade da água e produção de sedimentos em reservatórios de abastecimento de água do município de Sorocaba – SP / Tatiana Acácio Silva. -- Sorocaba, 2021
82 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientador: Manuel Enrique Gamero Guandique

1. Bacia hidrográfica. 2. Represas. 3. Uso do solo. 4. Qualidade da água. 5. Análise de Componentes Principais.. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE TATIANA ACÁCIO DA SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS, DO INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - CÂMPUS DE SOROCABA.

Aos 15 dias do mês de janeiro do ano de 2021, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de TATIANA ACÁCIO DA SILVA, intitulada **Avaliação do uso do solo e sua influência na qualidade da água e produção sedimentos em reservatórios de abastecimento de água do município de Sorocaba – SP**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. MANUEL ENRIQUE GAMERO GUANDIQUE (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Engenharia Ambiental / Unesp - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Prof^ª. Dr^ª. ADELAIDE CASSIA NARDOCCI (Participação Virtual) do(a) Faculdade de Saúde Pública - Universidade de São Paulo (FSP-USP), Prof. Dr. LEANDRO CARDOSO DE MORAIS (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / Unesp - Instituto de Ciência e Tecnologia - Câmpus de Sorocaba. Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADA . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. MANUEL ENRIQUE GAMERO GUANDIQUE

A minha mãe que sempre me apoiou e deu seu máximo para que eu tivesse uma educação e formação superior, ao meu esposo pela paciência e pelo companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força, motivação e sabedoria.

Agradeço a minha família em especial meus pais Maria, Rau e João por todo apoio e exemplo pelo amor incondicional, ao meu esposo Miquéias por me apoiar e ajudar ao longo desta jornada.

Agradeço meu orientador, Prof. Dr. Manuel Enrique Gamero Guandique, obrigada pelo exemplo de pesquisador, professor e cidadão, obrigada pelo apoio e contribuições para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba – SAAE, seu diretor- geral Mauri Gião Pongitor; Reginaldo Schiavi e Fernando Santos pela disponibilidade dos dados referente a qualidade da água e pela disponibilidade da equipe técnica para realização das coletas em campo. E ao seu Antônio e o “Galo”, funcionários da SAAE que auxiliaram durante as coletas em campo.

As técnicas do laboratório da UNESP Leticia Boschini e Suzan Lessa pelo suporte técnico durante as análises em laboratório, e os alunos Pedro Bartholo e Victor Oliveira pelo auxílio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão de bolsa de estudo (Código de Financiamento 001).

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA, da Universidade Estadual Paulista - UNESP/Sorocaba pela oportunidade de cursar pós-graduação.

Aos professores integrantes do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pelo aprendizado adquirido durante as disciplinas cursadas.

Em especial, aos meus amigos que fiz na Pós-Graduação que fizeram dos momentos mais tensos, agradáveis ao longo das disciplinas.

Agradeço aos funcionários da UNESP de Sorocaba por proporcionar condições para a realização deste trabalho.

Agradeço aos amigos Amazonino e a Keith pelo apoio, suporte e amizade, não tenho palavras para expressar tamanha gratidão.

E agradeço a todos aqueles que de algum modo contribuíram direta ou indiretamente para a consolidação deste trabalho.

Não é o crítico que importa; nem aquele que aponta onde foi que o homem tropeçou ou como o autor das façanhas poderia ter feito melhor. O crédito pertence ao homem que está por inteiro na arena da vida, cujo rosto está manchado de poeira, suor e sangue, que luta bravamente; que erra, que decepciona, por que não há esforço em erros e decepções, mas que, na verdade, se empenha em seus feitos; que conhece o entusiasmo, as grandes paixões; que se entrega a uma causa digna; que na melhor das hipóteses, conhece no final o triunfo da grande conquista e que, na pior, se fracassar, ao menos fracassa ousando grande.

Trecho do discurso proferido por Theodore Roosevelt, em abril de 1910.

LISTA DE SIGLAS

ACP - Análise de Componentes Principais
ANA - Agência Nacional da Águas
CBH-SMT - Comitê de Bacias Hidrográficas Sorocaba e Médio Tietê
CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP- Componentes Principais
CT- Coliformes Termotolerantes
d - Índice de concordância
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
EMA - Erro Médio Absoluto
GPM- Global Precipitation Measurement
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
IQA- Índice de Qualidade de Água
KMO- Kaiser Meyeir Oklin
NSF - National Sanitation Foundation
NTK- Nitrogênio total kjedlh
OD - Oxigênio Dissolvido
Pbias - Percent Bias ou Porcentagem do viés
PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos
PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos
REMQ - Raiz do Erro Quadrático Médio
RT - Resíduos Totais
SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SF - Sólidos Fixos
SigRH - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SSF - Sólidos em Suspensão Fixo
ST- Sólidos Totais
STS - Sólidos Totais em Suspensão
UGRHI - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo tridimensional de uma bacia hidrográfica	5
Figura 2. Comportamento do sedimento dentro de um reservatório.....	10
Figura 3. Localização da área de estudo.....	16
Figura 4. Sistema de distribuição de água SAAE.....	17
Figura 5. Mapa Pedológico área de estudo.....	19
Figura 6. Mapa de elevação para as sub-bacias hidrográficas onde estão inseridos os reservatórios.....	20
Figura 7. Distribuição dos pontos amostrais nos reservatórios estudados.	21
Figura 8. Coleta de água com DH-48 Hidromec (a), armazenamento das amostras (b) e transporte (c).....	22
Figura 9. Etapas seguidas na análise de sólidos Totais, sendo dissecador (a), balança (b), amostra (c), mufla (d) e amostra retiradas da estufa (e).	23
Figura 10. Etapas seguidas na análise de Sólidos Totais em Suspensão, sendo cadinhos calcinados e com os filtros (a), dissecador (b), balança analítica (c), filtragem por sucção(d), estufa (e), cadinhos com as amostras retiradas da estufa (f) e amostra pós estufa e mufla (g).	25
Figura 11. Malha amostral dos dados do GPM e estação do INMET.	26
Figura 12. Relação entre dados observados em superfície (INMET) e por satélite (GPM), bem como valores estatísticos (a) e valores acumulados (b).....	30
Figura 13. Distribuição espacial da precipitação para os anos de 2016 (a) e 2017 (b).	32
Figura 14. Distribuição espacial da precipitação para os anos de 2018 (a) e 2019 (b).	33
Figura 15. Mapa de uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Ipanema e Pirajibu- Mirim entre os anos de 2016 a 2019.....	37
Figura 16. Sólidos Totais (Fixos e Voláteis) e Sólidos Totais em Suspensão (Fixos e Voláteis) para a represa Castelinho no período seco e chuvoso.....	38
Figura 17. Sólidos Totais (Fixos e Voláteis) e Sólidos Totais em Suspensão (Fixos e Voláteis) para a represa Éden Ferraz no período seco e chuvoso.	39
Figura 18. Sólidos Totais (Fixos e Voláteis) e Sólidos Totais em Suspensão (Fixos e Voláteis) para a represa Ipaneminha no período seco e chuvoso.	41
Figura 19. Parâmetros físico-químicos e biológicos da água no reservatório Éden-Ferraz.	45
Figura 20. Parâmetros físico-químicos e biológicos da água no Ipaneminha.	48
Figura 21. Matriz de correlação entre os parâmetros de qualidade da água e IQA na represa Éden Ferraz.....	50
Figura 22. Matriz de correlação entre os parâmetros de qualidade da água e IQA na represa Ipaneminha.	51
Figura 23. Gráficos de plano fatorial entre os parâmetros de qualidade da água em função do IQA.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Pesos atribuídos para os parâmetros do IQA.	12
Tabela 2. Classificação do IQA segundo CETESB (2018).	12
Tabela 3. Métodos utilizados para avaliar os parâmetros do IQA.	23
Tabela 4. Datas de aquisição das cenas do Sentinel-2 para a classificação do uso do solo.	28
Tabela 5. Uso e ocupação do solo para a sub-bacia do Pirajibu- Mirim entre 2016 a 2019.	34
Tabela 6. uso e ocupação do solo para Sub-bacia do rio Ipanema.	35
Tabela 7. Índice de Qualidade da Água para o reservatório Éden Ferraz.	49
Tabela 8. Índice de Qualidade da Água para o reservatório Ipaneminha.	50
Tabela 9. Fatores encontrados e o percentual de explicação das amostras para cada ano avaliado.....	54

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	JUSTIFICATIVA	3
3.	OBJETIVOS	4
3.1	OBJETIVO GERAL	4
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
4.1	BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO	5
4.2	USO DO SOLO NA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS.....	7
4.3	RESERVATÓRIO E ABASTECIMENTO PÚBLICO	8
4.4	DINÂMICA DE SEDIMENTOS EM RESERVATÓRIOS	9
4.5	ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA - IQA.....	11
4.5.1	Indicadores físicos-químicos e biológicos de qualidade da água.....	12
5.	MATERIAL E MÉTODOS	16
5.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
5.2	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA, DA VEGETAÇÃO E PEDOLOGIA	18
5.3	COLETA DE AMOSTRAS EM CAMPO.....	20
5.3.1	Procedimentos Laboratoriais	22
5.3.2	Análise de Sólidos Totais em Suspensão	24
5.4	ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO	26
5.5	ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	28
5.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	28
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
6.1	ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO LOCAL	30
6.2	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	34
6.2.1	Uso do solo e ocupação do solo na sub- bacia do Pirajibu- Mirim	34
6.2.2	Uso do solo e ocupação do solo na sub-bacia do rio Ipanema	35
6.3	ANÁLISE DOS SEDIMENTOS	38
6.3.1	Análise dos sedimentos na Castelinho e Éden Ferraz	38
6.3.2	Análise dos sedimentos na represa Ipaneminha	40
6.4	ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	42
6.4.1	Reservatório Castelinho.....	42
6.4.2	Reservatório do Éden Ferraz	42
6.4.3	Reservatório Ipaneminha.....	46
6.5	AValiação DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA - IQA.....	49
6.6	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS	52

7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	61

RESUMO: A água é um dos recursos essenciais para a existência de vida na Terra, o Brasil possui um vasto potencial hídrico, entretanto sua distribuição espacial não coincide com as maiores aglomerações populacionais, o que conseqüentemente, exige dos gestores mais esforços para superar a escassez hídrica. Este estudo tem por objetivo avaliar a qualidade da água e a produção de sedimentos em três represas de abastecimento público no município de Sorocaba, e associar sua variação com o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. Foram realizadas análises de parâmetros físico-químicos e biológicos para análise do Índice de Qualidade da Água IQA entre 2016 a 2019, bem como a avaliação da produção de sedimento no período seco/chuvoso. A precipitação da área foi avaliada com base em dados do sensor GPM, e o uso e ocupação do solo foi realizada por meio de classificação supervisionada a partir de imagens do sensor Sentinel-2, sem seguida, foi realizado uma análise estatística multivariada. Os resultados obtidos mostraram que a precipitação apresentou maior variabilidade temporal, pois sua distribuição espacial em ambas as sub-bacias foram semelhantes. O mapeamento de uso e ocupação do solo mostrou alto grau de antropização em ambas as sub-bacias, com destaque para o rio Ipaneminha onde predomina o desenvolvimento do sistema misto agricultura/pastagem. No que se refere ao arraste de sedimentos, observou-se que no período chuvoso a sub-bacia do Pirajibu- Mirim apresentou maior potencial de arraste que a do rio Ipanema, sendo que o sistema stop-log retém cerca de 40% dos sedimentos na sub-bacia. A avaliação dos parâmetros de qualidade da água entre 2016 a 2019 possibilitaram indicar uma redução na qualidade da água, e a Análise de Componentes Principais ACP indicou que mais de 70% da variância dos dados foram explicadas por apenas três componentes que são representados principalmente pelos Coliformes Termotolerantes, fósforo, DBO e NTK, Turbidez e Resíduos Totais, fatores relacionados a poluentes de origem doméstica e industriais, bem como relacionados a dinâmica de uso e ocupação do solo nas sub-bacias.

Palavras Chaves: Bacia hidrográfica, Represas, Qualidade da água, Uso do solo, Análise de Componentes Principais.

ABSTRACT: Water is one of the essential resources for the existence of life on Earth, Brazil has a vast water potential, however its spatial distribution does not coincide with the largest population agglomerations, which consequently requires managers more efforts to overcome water scarcity. This study aims to evaluate water quality and sediment production in three public supply dams in the municipality of Sorocaba, and to associate its variation with land use and occupation in the watershed. Analyses of physiochemical and biological parameters were performed to analyze the Water Quality Index-WQI between 2016 and 2019, as well as the evaluation of sediment production in the dry/rainy season. The precipitation of the area was evaluated based on data from the GPM sensor, and the use and occupation of the soil was performed by means of supervised classification from Sentinel-2 sensor images, without further a multivariate statistical analysis. The results showed that precipitation showed greater temporal variability, because its spatial distribution in both sub-basins were similar. The mapping of land use and occupation showed a high degree of anthropization in both sub-basins, especially the Ipaneminha river, where the development of the mixed agriculture/pasture system predominates. Regarding sediment drag, it was observed that in the rainy season the Pirajibu-Mirim watershed presented higher drag potential than the Ipanema river, and the stop-log system retains about 40% of the sediments in the watershed. The evaluation of water quality parameters between 2016 and 2019 made it possible to indicate a reduction in water quality, and the Principal Component Analysis-PCA indicated that more than 70% of the variance of the data were explained by only three components that are mainly represented by Thermotolerant Coliforms, phosphorus, BOD and NTK, Turbidity and Total Waste, factors related to polluters of domestic and industrial origin , as well as related to the dynamics of land use and occupation in the watershed.

Keywords: Watershed, Reservoirs, Water Quality, Land Use, Principal Component Analysis.

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes do planeta, pois é essencial para a vida humana e para manutenção da biodiversidade terrestre e aquática. A utilização da água pela sociedade visa atender suas necessidades básicas e atividades econômicas, entretanto, o uso desordenado desse recurso pode comprometer sua qualidade e quantidade de forma quase que irreversível (TUNDISI, 2013).

A expansão das cidades em conjunto com o aumento das atividades industriais e agropecuárias de forma desordenada tem ocasionado uma pressão negativa na disponibilidade dos recursos hídricos de forma quantitativa e qualitativa, intensificando a poluição, como exemplo o transporte e deposição de sedimentos em rios e reservatórios (CARVALHO, 2008; GLORIA et al 2017).

A qualidade e quantidade da água, bem como o aporte de sedimentos em um corpo hídrico é naturalmente influenciada por diversos fatores, dentre os quais se destacam a geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal, uso e ocupação do solo e fatores climáticos. (FERRAZ, 2002; MEDEIROS et al., 2011).

A atuação de tais fatores podem ser alterada em função da atuação antrópica desenvolvida nos domínios de bacias hidrográficas, uma vez que a utilização do solo de forma desordenada, tais como a ocupação de áreas com mata ciliares, o desenvolvimento de atividades agropecuárias e industriais de forma inadequada, podem favorecer a entrada acelerada de sedimentos e contaminantes nos corpos hídricos (BERNARDI et al., 2012).

Distintamente ao comportamento de um rio que possui dinâmica de fluxo favorecendo a dissolução e dispersão de poluentes, os reservatórios tendem a acumular os sedimentos e contaminantes que são carregados pelos rios, logo, a dinâmica de uso do solo desenvolvido na bacia hidrográfica pode comprometer a vida útil dos reservatórios, bem como a qualidade das águas armazenadas pelo mesmo (CIESLA et al., 2019).

Os sedimentos do sistema fluvial são previamente depositados em virtude da redução da velocidade da água no reservatório. Dessa forma, a medida em que os sedimentos em suspensão se decantam no reservatório, a capacidade de armazenamento de água vai sendo reduzida gradativamente, e inviabilizando o aproveitamento do mesmo para abastecimento (CARVALHO, 2008; VANZELA et al., 2014).

Além do mais, com a alteração na concentração de sedimentos ao longo da coluna de água, ocorre a redução de penetração de radiação solar, reduzindo de forma significativa a atividade fotossintética necessária para o equilíbrio aquático, influenciando decisivamente nas características do ecossistema presente (NOGUEIRA et al., 2012).

Dentre as principais causas do decaimento da qualidade da água em reservatórios, destaca-se o processo de eutrofização que é um dos principais problemas que afetam a qualidade de água em reservatórios em todo o mundo. Esse fenômeno é causado pela entrada excessiva de sedimentos ricos em nutrientes, principalmente fósforo (P) e nitrogênio (N) provenientes de fertilizantes agrícolas e esgotos domésticos (TANG et al., 2014).

Além da variabilidade hídrica que ocorre no estado de São Paulo, este por sua vez sofre com a poluição dos mananciais em virtude do uso inadequado do solo e lançamento de efluentes sem tratamento adequado. A Macrometrópole Paulista é a região que mais sofre com esses problemas. Essa região é altamente industrializada e urbanizada, sendo fortemente impactada pelo lançamento de efluentes industriais e domésticos, erosão do solo e assoreamento de rios e reservatórios (SILVA et al., 2018).

O assoreamento dos mananciais de abastecimento público no estado de São Paulo tem sido um dos principais problemas (SILVA et al., 2011). Com os sedimentos decantados nos reservatórios, além de reduzir o volume útil dos mesmos, é comum observar um aporte de contaminantes, tais como metais pesados, agrotóxicos dentre outros (BRAGA et al., 2012).

Deste modo, os problemas relacionados ao aumento na concentração de sedimentos em reservatórios não afetam apenas o volume útil do mesmo, mas também afetam o acúmulo de nutrientes e poluente, uma vez que ficam retidos e se decantam junto com os sedimentos (CABRAL, 2009; TANG et al., 2014).

Outro fator importante diz respeito ao uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas, pois a qualidade da água desses mananciais está estritamente relacionada com o mesmo, conforme observado em estudos realizados por Smith e Petrere (2008); Bernardi (2011); Pedrazzi et al., (2013); Pedrazzi et al. (2014); Frascareli et al. (2015); Rosa et al. (2015) e Simonetti et al., (2019).

Desse modo, os estudos voltados à análise de uso e ocupação do solo no contexto da bacia hidrográfica podem fornecer informações relevantes no que se refere a qualidade da água, produção e carreamento de sedimentos nos mananciais, bem como o desenvolvimento de práticas conservacionistas adequadas, e ações voltadas a proteção dos recursos hídricos.

2. Justificativa

O crescimento da população mundial associado às pressões setoriais produziram uma série de demandas sem precedentes por abastecimento de água, tanto para consumo humano quanto para o desenvolvimento de atividades industriais, geração de energia e irrigação. Essas tensões causaram uma redução no uso per capita dos recursos hídricos, além de aumentar a pressão ambiental sobre esses recursos.

No Brasil, apesar de existir um grande potencial hídrico (50% dos recursos de toda a América do Sul e 11% em escala mundial), as dimensões continentais e a variabilidade climática faz com que existam regiões com baixa disponibilidade hídrica, além de regiões com déficit hídrico em função da alta demanda ocasionada pela super aglomeração populacional e contaminação de mananciais em decorrência do lançamento de esgoto doméstico e atividades agroindustriais, como é o caso do estado de São Paulo.

Em regiões com déficit hídrico como a região metropolitana de São Paulo, Campinas e Sorocaba, os desafios são imensuráveis, pois a crescente demanda por água pelos diversos setores causam conflitos, aumentando a pressão ambiental sobre esses recursos. Nesse caso, é de suma importância o desenvolvimento de estudos com vista ao gerenciamento adequado desses recursos, e em especial, no contexto de bacias hidrográficas, pois é nesse domínio que se concentram as demandas e os impactos responsáveis pela perda da qualidade.

Assim, há uma necessidade urgente de compreender os padrões espaciais e temporais que variam particularmente sob o regime de represas utilizadas para abastecimento público, tais como a atuação antrópica desenvolvidas no contexto de bacias hidrográficas que exercem pressão sobre os recursos naturais, a produção de sedimentos que podem representar no assoreamento e a consequente redução na capacidade de armazenamento de água, bem como os eventos naturais que controlam a qualidade da água nesses ambientes.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar a relação entre os fatores que afetam a qualidade da água, bem como o aporte de sedimentos em bacias hidrográficas nos reservatórios Castelinho, Éden Ferraz e Ipaneminha, no município de Sorocaba, estado de São Paulo.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os parâmetros físico-químicos e biológicos, tais como: pH, Nitrogênio, Fósforo, Turbidez, Oxigênio dissolvido, Temperatura, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Coliformes Termotolerantes, Resíduos totais entre janeiro de 2016 a dezembro de 2019, e determinar o Índice de Qualidade da Água (IQA).
- Coletar e analisar a concentração de Sólidos Totais (fixos e voláteis) e Sólidos Totais em Suspensão;
- Mapear o uso e ocupação do solo entre 2016 a 2019 nas sub-bacias hidrográficas no qual os reservatórios estão inseridos;
- Avaliar a distribuição espacial e temporal da precipitação por meio de sensores orbitais nas sub-bacias hidrográficas;
- Realizar a associação entre o uso e ocupação do solo e índices de precipitação com os parâmetros de qualidade da água, bem como com os valores de IQA e concentrações de sedimentos nos reservatórios.

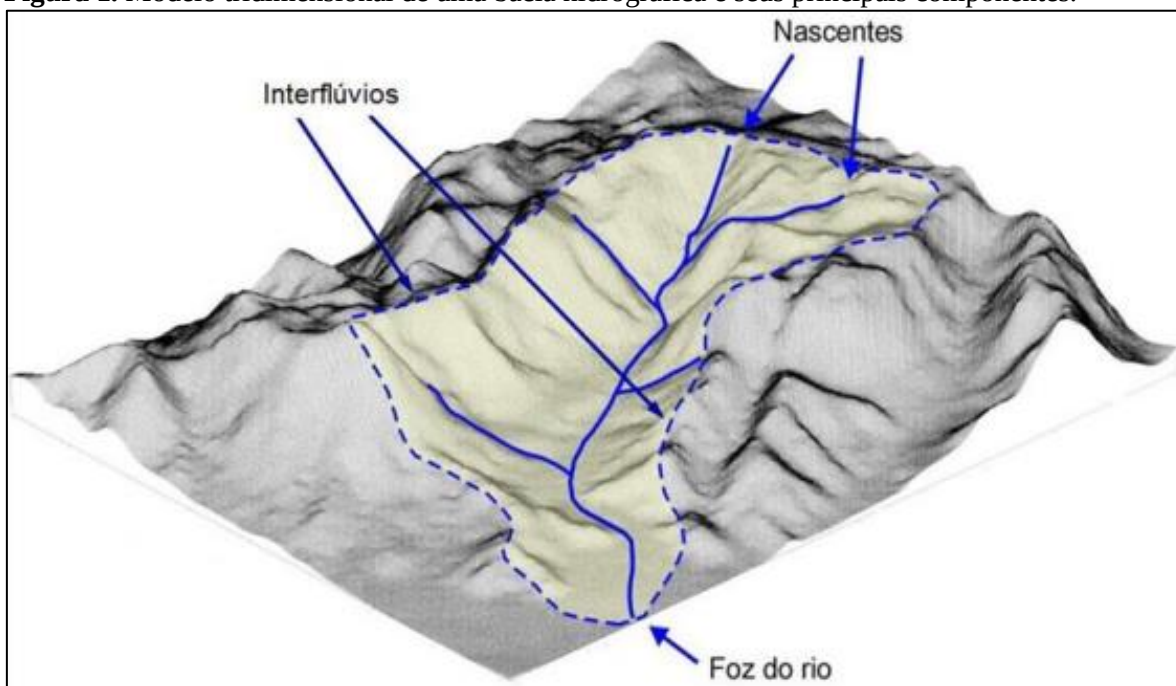
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento

Na literatura é possível encontrar varias definições sobre a bacia hidrográfica, entretanto, os pontos comuns dessas definições são descritas por Tucci (2006), que descreve a bacia hidrográfica como um sistema físico, delimitado pelos pontos mais altos do relevo, na qual o seu volume de água é drenada de forma superficial através de um curso d'água principal até a saída da bacia onde, o relevo é mais baixo, seus limites são conhecidos como divisores topográficos ou divisores de água.

Já Chistofolletti (1980) cita que a bacia hidrográfica é definida como uma área drenada por um corpo hídrico principal ou então por um sistema fluvial, e esse sistema funciona de forma aberta, onde os elementos pertencentes a esse conjunto, como matéria e energia modelam esse sistema. A Figura 1 apresenta uma representação gráfica de uma bacia hidrográfica com seus principais componentes.

Figura 1. Modelo tridimensional de uma bacia hidrográfica e seus principais componentes.



Fonte: Adaptado de Souza et al. (2012).

Nesse sistema, o comportamento hidrológico está diretamente relacionado com o clima, geomorfologia, solos, cobertura vegetal, uso e ocupação do solo (CHISTOFOLETTI, 1980; TUCCI, 1993). Esses fatores interferem de forma direta no ciclo hidrológico na bacia hidrográfica, bem como nas taxas de infiltração, evapotranspiração, quantidade de água produzida, escoamento superficial, formação e transporte de sólidos dissolvidos e suspensos (BRAGA et al., 2012; ALÉSIO et al., 2012).

Tendo em vista o relacionamento intrínseco entre os componentes que pertencem a uma bacia hidrográfica, e o desenvolvimento de ações antrópicas sobre os seus domínios, a legislação brasileira propõe a utilização da bacia hidrográfica como um domínio espacial de grande relevância para a instalação de sistemas de gerenciamento de recursos hídricos (BERNARDI et al., 2012).

A importância que os recursos hídricos têm para o desenvolvimento econômico e estabilidade ambiental é inegável, entretanto, a quantidade e qualidade desses recursos estão sendo afetadas cada vez mais pela atuação antrópica desordenada em bacias hidrográficas (SMITH & PETRERE, 2008; BRIGHENTI et al., 2016)

Levando em consideração a importância da bacia hidrográfica como um sistema interligado e dinâmico, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) estabelecida pela Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 institui a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

No inciso V da PNRH é instituída a bacia hidrográfica como uma unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, além de desempenhar um papel importante no Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Com a instituição da PNRH em 1997, as iniciativas de gestão de água é inspirada no modelo francês, que pressupõe a gestão descentralizada, participativa e integrada, devendo ocorrer respeitando os limites da bacia hidrográfica (BRASIL, 1997, SANTOS et al., 2013).

No Brasil, existem aproximadamente cerca de 217 comitês de bacias hidrográficas, sendo no estado de São Paulo 21 comitês que avaliam os interesses dos usuários referentes aos diferentes usos da água nas bacias hidrográficas, sobre eventos de escassez hídrica, inundações ou na qualidade da água que possam colocar em risco os usos múltiplos conforme assegura a legislação (ANA, 2020).

No estado de São Paulo os recursos hídricos são gerenciados de forma descentralizada de acordo com as suas bacias hidrográficas que estão divididas em 22 Unidades de Gerenciamento de recursos Hídricos (UGRHI) que foram definidas a partir do Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) (PERH, 2013).

De acordo com o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SigRH), o Comitê de Bacias Hidrográficas Sorocaba e Médio Tietê (CBH-SMT) foi criado em 2 de agosto de 1995. Os segmentos que nortearam a criação desse comitê foi a poluição das águas do rio Tietê e reservatórios (SIGRH, 2020).

O CBH-SMT elaborou diretrizes para auxiliar na conservação dos recursos hídricos como a legislação estadual nº7.663 de 30 de dezembro de 1991 que estabelece normas de orientação a Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH, 2020).

4.2 Uso do solo na produção de sedimentos

O uso e ocupação do solo é um dos fatores que está interligado aos recursos hídricos de forma direta. A vegetação desempenha um papel importante no ciclo hidrológico, uma vez que influencia o processo de evapotranspiração, além de melhorar as taxas de infiltração de água no solo, pelo processo de amortecimento da chuva pelo dossel das árvores, e o favorecimento da infiltração de água pelas raízes (VALTIN et al.; 2008, BERNARDI et al., 2012).

Dessa forma, a remoção da cobertura vegetal do solo influencia de forma direta o ciclo hidrológico local, pois as taxas de evapotranspiração são alteradas, bem como as taxas de infiltração de água no solo. Esses processos, provocam a diminuição da evapotranspiração e infiltração de água no solo, é as taxas de escoamento superficial são aumentadas, acelerando o processo de erosão superficial do solo (MENESES et al., 2015, PENG SHIN, 20017).

Deste modo, a ação antrópica nas bacias hidrográficas também afeta as propriedades físicas e bioquímicas dos rios. Por exemplo, as temperaturas dos corpos d'água tendem a ficar mais altas nas bacias hidrográficas onde predominam atividades agrícolas e industriais do que em bacias hidrográficas a onde a vegetação natural é preservada (NEILL et al., 2013), da mesma forma, o aporte de sedimentos que é fortemente alterado após o desmatamento, e desenvolvimento de práticas agrícolas (JORDAN, 2005; NEILL et al., 2013).

A erosão do solo está entre uma das principais causa de redução da qualidade da água devido à quantidade de sedimentos que chega aos corpos hídricos e aos reservatórios. Em regiões em que o uso e ocupação da terra não estão alinhadas com a capacidade de uso do solo esses impactos são potencializados (SZILASSI et al., 2006).

Para Santos e Morais (2012), a origem dos sedimentos que é transportado em um corpo hídrico, deve-se a ocorrência de processos erosivos nas vertentes e/ou em suas margens, e esses processos podem ser fortemente intensificados, dependendo da extensão da ocupação antrópica na bacia hidrográfica.

Estudos indicam que em bacias hidrográficas antropizadas a produção de sedimentos podem aumentar em até 50% quando comparados com áreas preservadas (NELSON; BOOTH, 2002; SCHARRÓM; MACDONALD, 2007), esse aumento pode resultar em diferentes tipos de problemas ambientais, que incluem a perda da qualidade da água pelo aumento de turbidez, assoreamento dos corpos hídricos e desequilíbrio da biota aquática (LIÉBAULT et al., 2005; SCHARRÓM; MACDONALD, 2007).

Conforme a quantidade de sedimentos carreados aumentam nos reservatórios, esses estão sujeitos a ter sua capacidade de armazenamento reduzida parcialmente ou totalmente, independente da sua capacidade de armazenamento, tamanho ou características de operação. Isso ocorre em virtude da entrada de sedimentos desordenada ocasionada pelos processos erosivos (CARVALHO et al., 2008).

A produção de sedimentos é resultado dos processos erosivos, transporte e deposição de material particulado do solo, nesse caso, ela depende de variáveis que controlam a erosão do solo, tais como a topografia, clima, uso e ocupação do solo e o desenvolvimento de práticas agrícolas adequadas (BERTONI et al., 2008; WOLMAN, 2017).

Em virtude dos problemas relacionados a produção de sedimentos estarem ligados ao desenvolvimento de atividades antrópicas na bacia hidrográfica, o planejamento dessas unidades devem acompanhar a dinâmica de hidrossedimentologia da bacia (SURIYA, 2012).

Dessa forma, a produção e transporte de sedimentos em rios, e a deposição em reservatórios, podem ser de certa forma controlados com o desenvolvimento de práticas agrícolas adequadas de uso do solo e proteção e recomposição da vegetação ciliar.

4.3 Reservatório e abastecimento público

Atualmente a escassez hídrica é um dos assuntos de maior relevância no contexto ambiental, pois os recursos hídricos são essenciais para manutenção da vida na terra (PINTO, 2016; TUNSID, 2013). Apesar da superfície da terra ser composta por 71% de água, 97% desse total é constituído por água salgada. Do percentual restante que constitui água doce, apenas 0,3% pode ser utilizado para suprir as necessidades humanas (disponíveis em rios, lagos, atmosfera e solo), pois o restante encontra-se disponível nas geleiras e aquíferos subterrâneos (TUCCI, 2006; PINTO, 2017).

O Brasil possui um grande potencial hídrico, pois este detém cerca de 50% deste recurso de toda a América do Sul, e 11% referente a escala mundial (TUNDISI, 2013).

Entretanto, o Brasil é um país com dimensões continentais e possui uma variabilidade climática diversa. Em função disto, existem regiões com grande potencial hídrico (região norte que detém 73% da disponibilidade hídrica do país) e com escassez hídrica (3,3% região nordeste do país), além de regiões com déficit hídrico em função da super aglomeração populacional, como a região metropolitana de São Paulo, na região sudeste do Brasil (TUCCI, 2001; PINTO, 2016).

Dentre os diversos usos da água o abastecimento público é considerado prioritário, pois este desempenha o papel de assegurar as demandas de uso da água para a comunidade, deste modo, pela sua importância para a população a água deve ser tratada e armazenada de forma correta (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2017).

Tendo em vista a desigualdade da distribuição dos recursos hídricos no país, para auxiliar no abastecimento de água em regiões com déficit hídrico, faz-se necessário a construção de reservatórios para armazenamento de água (SIMONETTI et al., 2019). Esses reservatórios têm como função armazenar a água disponível na região para serem utilizados no consumo humano, suprimento do setor industrial, irrigação e geração de energia (LIMA; ALVES, 2017).

Segundo CETESB (2018), o estado de São Paulo possui 55 reservatórios, dentre os mais importantes para o abastecimento público estão Rio Grande (Billings), Rio Claro, Guarapiranga, São Lourenço e o Sistema Cantareira que abastece a região metropolitana de São Paulo. A região de Sorocaba é abastecida principalmente pelo reservatório Itupararanga, que também é complementado pelos reservatórios: Castelinho, Éden Ferraz e Ipaneminha.

Embora, os reservatórios sejam considerados uma fonte de abastecimento de água confiável para atender às demandas de consumo, esses empreendimentos acarretam efeitos transformadores nos corpos hídricos, incluindo a fragmentação, mudança do regime fluvial, aumento da perda por evaporação é maior tempo de permanência (residência) da água, essas modificações ocasionam impactos ambientais, tanto à montante quanto á jusante do barramento, causando alterações significativas nas características físicas, químicas e biológicas da água (LIMA; ALVES 2017).

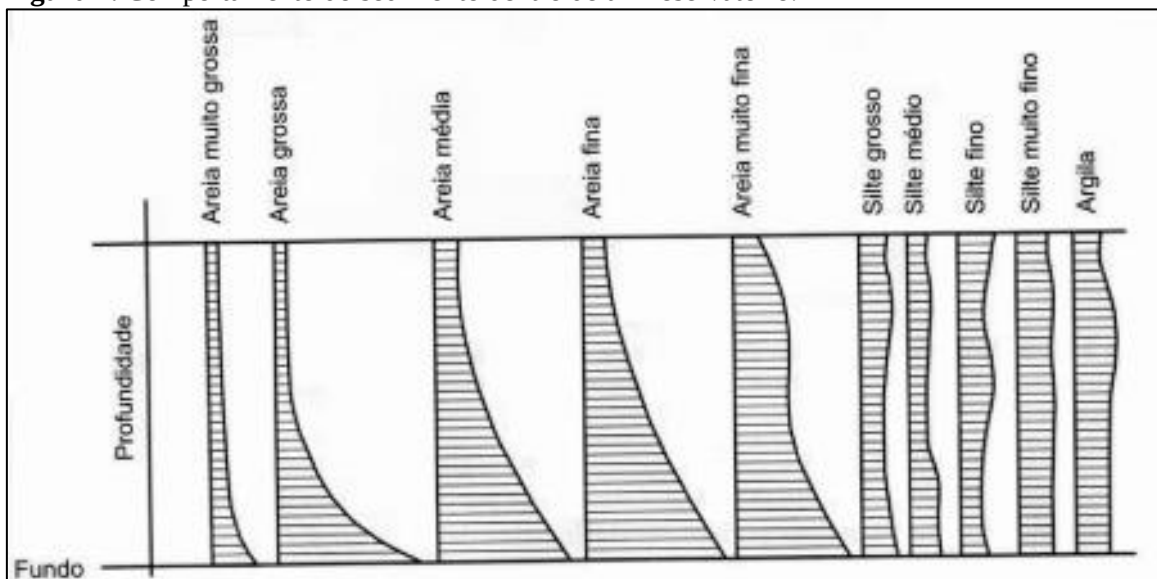
4.4 Dinâmica de sedimentos em reservatórios

Antes de chegar aos reservatórios, os sedimentos passam por diversos processos dentre os quais incluem o desprendimento de partículas do solo, arraste de partículas pela

enxurrada até os corpos hídricos, seguido pelo transporte e deposição nos reservatórios (SZILASSI et al., 2006).

Nos reservatórios os materiais particulados se comportam de forma diferenciada em função de suas propriedades físicas e químicas. Em relação às propriedades físicas, a velocidade de decantação do mesmo varia em função de sua granulometria, por exemplo, sedimentos constituídos por areia média, grossa e muito grossa tendem a se decantar mais facilmente quando comparado as frações de silte e argila (Figura 2).

Figura 2. Comportamento do sedimento dentro de um reservatório.



Fonte: Carvalho (2008).

A carga de sólidos em suspensão consiste em partículas que estão sendo asseguradas pelas componentes verticais das velocidades do fluxo turbulento, enquanto estão sendo transportadas pelas componentes horizontais dessas velocidades, por serem pequenas suficientes para permanecerem em movimento (CARVALHO, 2008; MEDEIROS et al., 2011).

Em relação a sua variação espacial, Braga e Cabral (2012) citam que em reservatórios, as concentrações mínimas ocorrem na superfície, enquanto que as concentrações máximas ocorrem próximo ao leito, e possuem granulometria variada. As partículas maiores que ficam em suspensão consiste em areias finas, por sua vez as areias grossas são encontradas próximas ao leito, enquanto que as partículas finas como silte e argila, possui distribuição uniforme na vertical.

Levando em consideração que a velocidade de fluxo em um reservatório varia em relação entre uma margem e outra, da mesma forma, a concentração de sedimentos varia em função das mesmas. Em situações normais, a velocidade da corrente é menor nas

margens do que no centro dos reservatórios, deste modo, as concentrações de sedimentos tendem a serem menores nas proximidades da margens (CABRAL et al., 2005; FERRAZ, 2002).

Outro fator que influencia nos sólidos em suspensão, é a temperatura, que ocasiona variações nos sedimentos finos em suspensão, pois em águas de temperatura fria, a concentração de sedimentos finos aumenta devido à viscosidade que é diminuída (CARVALHO, 2008).

Dessa forma, conhecer a quantidade e composição de sedimentos, que é transportada e depositada em reservatórios ao longo do tempo, é de suma importância, pois fornece informações essenciais que podem servir como auxílio na gestão e gerenciamento de reservatórios, além de nortear políticas públicas para uma melhor gestão de bacias hidrográfica (CABRAL, 2005, LIÉBAULT et al., 2005).

4.5 Índice de Qualidade de Água - IQA

A qualidade d'água de um corpo hídrico está relacionado com suas características físicas, químicas e biológicas. A partir dessas são definidos os seus respectivos usos, conforme estabelece a CONAMA 357 de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005), deste modo a qualidade d'água de um determinado corpo hídrico é avaliada conforme as substâncias nela presente, sendo estes denominados de parâmetros de qualidade de água (VON SPERLING, 2005; GLORIA et al., 2017).

Em 1970, a National Sanitation Foundation (NSF) desenvolveu um índice composto por nove parâmetros a serem utilizados para determinar o Índice de Qualidade da Água IQA, sendo que estes foram considerados os mais significativos para a classificação da qualidade da água de um corpo hídrico (FERREIRA et al., 2015; ANDRIETTI, 2016).

As variáveis consideradas pela NSF são: Coliformes Termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total, Nitrogênio, Oxigênio Dissolvido, Potencial hidrogeniônico (pH), Sólidos Totais Dissolvidos, Temperatura, Turbidez. Para estes parâmetros foram definidos faixas relativas variando de 0 a 100, onde 0 é considerado a pior condição, enquanto que 100 é a melhor condição qualitativa (MORETTO et al., 2012; NSF, 2020).

Posteriormente, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) adaptou o IQA para águas brasileiras. O método adaptado é utilizado desde 1975 (GLORIA et al., 2017; CETESB, 2017; ANA, 2020). Agência Nacional de águas (ANA)

sugere a utilização do IQA adaptado pela CETESB que utiliza os parâmetros aqui citados, conforme a Equação 1.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: IQA corresponde o Índice de Qualidade da Água, q_i a qualidade do respectivo parâmetro, e w_i seu respectivo peso determinados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Pesos atribuídos para os parâmetros do IQA.

Parâmetro	Peso (w_i)
OD	0,17
CF	0,15
pH	0,12
DBO ₅	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fosfato total	0,10
Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08

Fonte: Agência Nacional de Águas (2020).

Após a ponderação dos valores observados em cada parâmetro que compõe o IQA, os resultados são categorizados em cinco classes, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação do IQA segundo CETESB (2018).

Categoria	Classes
Ótima	80-100
Boa	52-79
Regular	37-51
Ruim	20-36
Péssima	0-19

Fonte: Agência Nacional de Águas (2020).

4.5.1 Indicadores físicos-químicos e biológicos de qualidade da água

Potencial Hidrogeniônico-pH

O pH consiste na representação de íons hidrogênicos (H^+) na água indicando assim o seu grau de acidez (pH entre 0 e 7), neutralidade (pH=7) e alcalinidade (pH entre 7 e 14). O pH pode ser influenciado por fatores naturais como decomposição de rochas, absorção de gases atmosféricos, oxidação da matéria orgânica e a fotossíntese, bem como por fatores antrópicos em decorrência dos despejos domésticos e indústrias nos corpos hídricos de forma inadequada (ESTEVES, 2011; VON SPERLING 2014).

A Resolução CONAMA 357 estabelece que os valores de pH devem estar entre 6 e 9 em ambientes aquáticos, sendo que valores superiores ou inferiores aos estabelecidos podem influenciar no aumento de substâncias tóxicas para o meio aquático (OLIVEIRA et al., 2010; SANTOS et al., 2018).

Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido é um elemento importante para a vida aquática, ele é encontrado dissolvido em ambientes aquáticos em forma gasosa, normalmente proveniente da atmosfera ou pela ação de algas fotossintéticas (ESTEVES, 2011).

Segundo Von Sperling (2014), a solubilidade do oxigênio na água depende de dois fatores principais, tais como a temperatura e pressão, de forma que, com a elevação da temperatura e diminuição da pressão, ocorre redução e solubilidade do oxigênio na água. De modo geral, as perdas de oxigênio dissolvido ocorrem pela respiração dos organismos aquáticos, perdas para a atmosfera, e em especial, pelo consumo decorrente da decomposição de matéria orgânica por meio da oxidação (AMORIM, 2017).

Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) consiste na representação da quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água, por meio do processo de decomposição microbiana aeróbica. O teste de DBO padrão é realizado no escuro a temperatura de 20°C por cinco dias, então denominado DBO_{5, 20} (VON SPERLING, 2005).

É importante destacar que o DBO não representa uma medida de algum poluente específico, mas representa a quantidade de oxigênio necessário para que as bactérias e outros microrganismos estabilizem a matéria orgânica. Nesse caso, uma taxa muito baixa de oxigênio poderia indicar a ausência de contaminação, ou que os microrganismos não estão consumindo a matéria orgânica disponível, ou esses microrganismos estão morrendo (VESILIND, 2011).

Coliformes termotolerantes

Os Coliformes Termotolerantes consistem um grupo de bactérias na forma de bastonetes gram-negativos, não esporuladas, aeróbios ou anaeróbios facultativos com capacidade de fermentar a lactose produzindo gás, em 24 a 44,5-45,5°C (VON SPERLING 1996; SALES et al., 2015).

Essas bactérias são provenientes de fezes de animais e seres humanos, podendo ser utilizado como indicador de contaminação da água por esgotamento sanitário ou dejetos de animais provenientes de atividade agropecuária (VESILIND, 2011).

Temperatura

A temperatura da água em um corpo hídrico é expressa através da energia cinética das moléculas, sendo esse um fenômeno responsável pela transferência de calor em um meio. Em ambientes aquáticos a temperatura geralmente está entre 20°C a 30°C, e em regiões mais frias como no sul do país a temperatura varia entre 5°C e 15°C em períodos de invernos (ESTEVES, 2011; AMORIN, 2017).

A alteração da temperatura em corpos hídricos pode ser ocasionada por fatores naturais como a energia do sol ou antrópicas como a remoção de matas ciliares ou o despejo de efluentes industriais utilizadas para o resfriamento de máquinas (SANTOS et al., 2018).

Nitrogênio

O nitrogênio consiste em um elemento importante para o metabolismo de ecossistemas aquáticos. O nitrogênio está presentes em ambientes aquáticos de diversas formas, tais como o nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia (NH_3), íon amônio (NH_4^+), óxido nitroso (N_2O), nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas, aminoácidos, etc), nitrogênio orgânico particulado (bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e detritos). As principais fontes de nitrogênio são: material orgânico e inorgânico, fixação de nitrogênio molecular no ambiente aquático, e via precipitação (ESTEVES, 2011; AMORIN, 2017).

Quando o nitrogênio está presente no meio em baixas concentrações ele pode atuar como um fator limitante na produção primária de ecossistemas aquáticos, porém o nitrogênio em excesso associado a outros elementos como o fósforo podem ocasionar o crescimento excessivo de algas ocasionado assim o processo de eutrofização (VESILIND, 2011).

Fósforo Total

O fósforo é um elemento essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica. Este elemento está presente nos corpos hídricos nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico, que pode ser introduzido no meio aquático de duas formas, sendo de forma natural e antrópica (VON SPERLING, 1996).

A forma natural ocorre através da dissolução de compostos do solo, intemperismos de rochas fosfáticas e decomposição de matéria orgânica. Enquanto que as fontes antrópicas do fósforo normalmente estão associados ao despejo de efluentes doméstico e industriais, fertilizantes do solo lixiviados através do escoamento superficial. O aumento nas concentrações fósforo e nitrogênio em rios e lagos causam o processo de eutrofização (ESTEVEES, 2011).

Turbidez

A turbidez da água consiste no grau de intensidade que o feixe de luz sofre ao atravessar a coluna de água, dado a existência de partículas em suspensão. Os materiais suspensos que atribuem a turbidez na água pode ser provenientes de origem orgânica, tais como material orgânico particulado e bactérias, bem como material inorgânicas como areias e argilas provenientes do processo de intemperismo do solo (ESTEVEES, 2011).

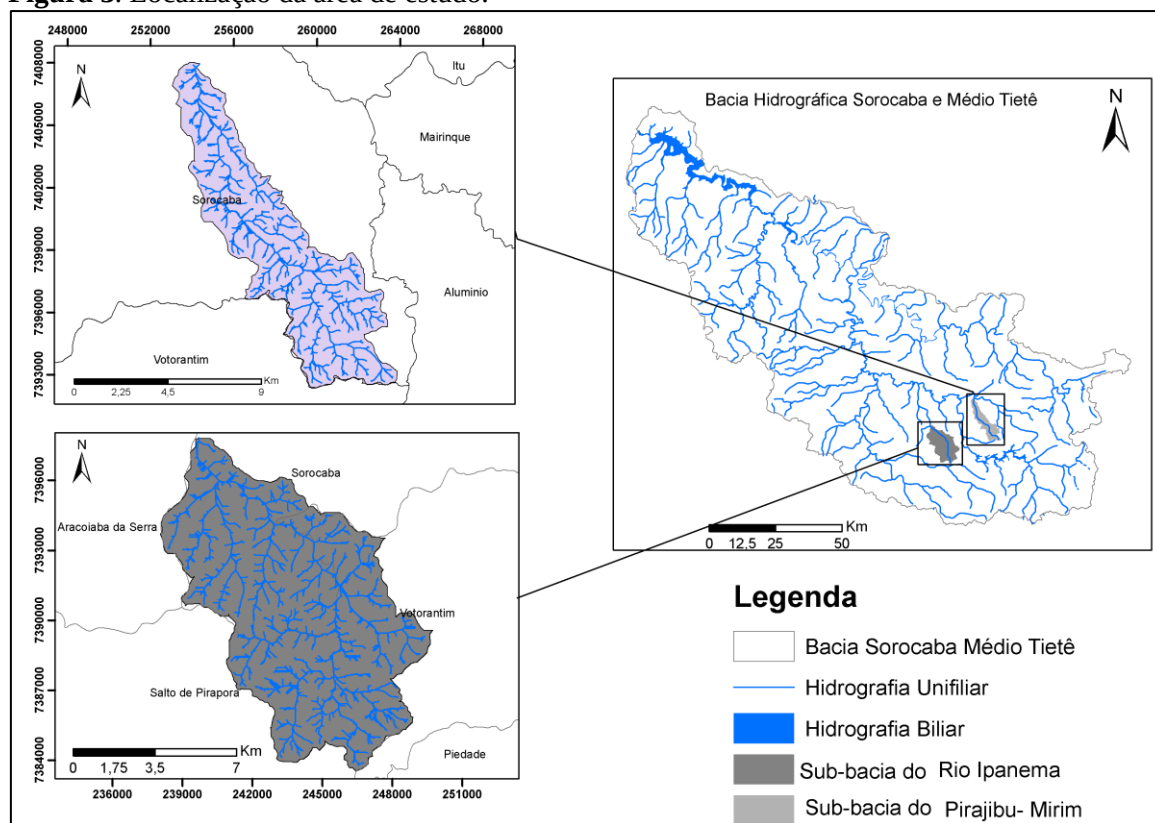
A turbidez da água pode ser influenciada em função das atividades antrópicas desenvolvidas, tais como o uso e ocupação do solo, que por sua vez influenciam nas taxas de carreamento de sedimentos, bem como no lançamento de efluentes, aumentando a concentração de sólidos no corpo hídrico (VANZELA et al., 2010).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização da área de estudo

A área de estudo está inserida na bacia hidrográfica do Sorocaba Médio Tietê (UGRHI 10), compreendendo as sub-bacias do rio Ipanema e Pirajibu-Mirim (Figura 3). A Sub-bacia do Pirajibu-Mirim fica localizada no município de Sorocaba, entre as coordenadas métricas UTM (252000 a 264000 E e 7393000 a 7408000 S), possui área aproximada de 56,07 Km². Já a Sub-bacia do Rio Ipanema esta localizada entre os municípios de Sorocaba, Araçoiaba da Serra, Salto de Pirapora e Votorantim, entre as coordenadas métricas 236000 a 251000 E e 7384000 a 7396000 S, com área aproximada de 88,70 Km².

Figura 3. Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo existe coleta e tratamento de esgoto nos municípios onde estão inseridas as duas sub-bacias é realizada nas seguintes proporções: em Sorocaba existe a coleta de 97% do efluente, com tratamento de 99%, Araçoiaba da Serra coleta 40% e trata 100% , Salto de Pirapora coleta 93% e trata 100%, Votorantim Coleta 99% com capacidade de tratar 99% (CETESB, 2019). É válido salientar ainda que apesar dos municípios que fazem parte da sub-bacias possuírem coleta

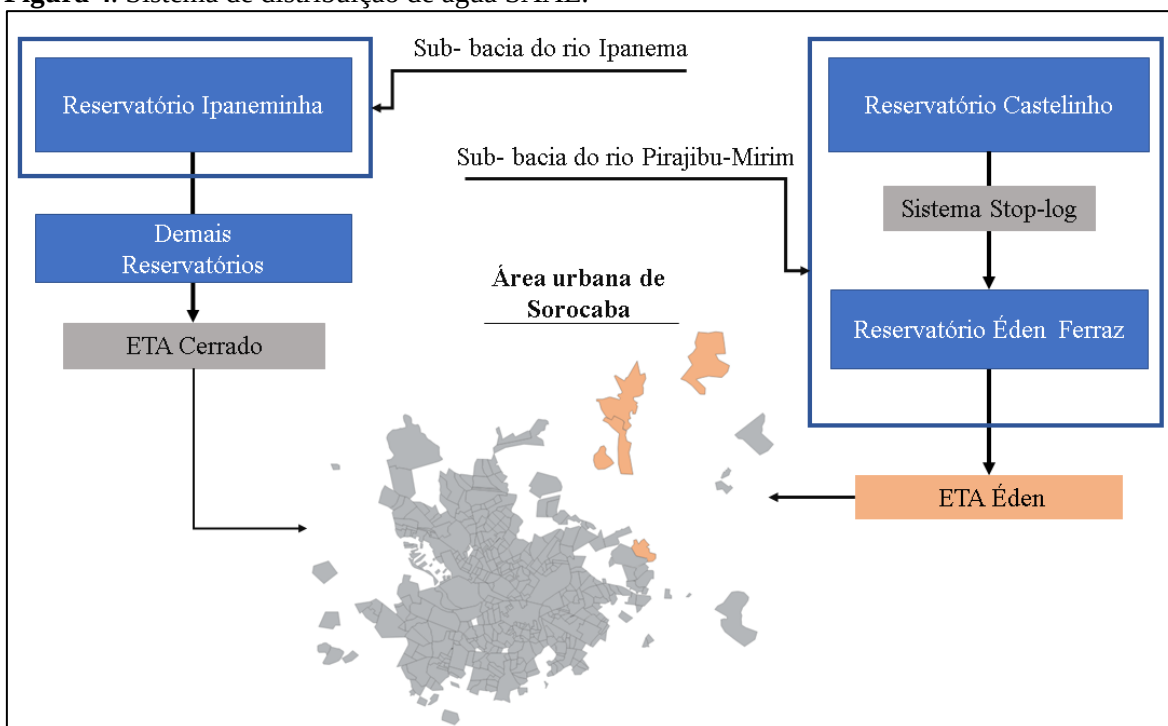
e tratamento de esgoto, essa coleta e tratamento são realizadas apenas na área urbana dos municípios, enquanto que no perímetro rural não possuem coleta e tratamento de efluentes.

A sub-bacia hidrográfica do Rio Pirajibu- Mirim possui duas represas que são administradas pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Sorocaba – SAAE, a represa Castelinho e Éden Ferraz. As duas represas constituem um sistema denominado stop-log, sendo que a represa Castelinho à montante serve como um reservatório para controle de nível da água do reservatório Éden Ferraz.

A água captada do Éden Ferraz corresponde a aproximadamente $900 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ em seguida a água captada na represa segue para a ETA Éden, em seguida, é distribuída para abastecimento públicos nos bairros do município de Sorocaba Éden, Cajuru, Aparecidinha, Iporanga. A população atendida pela represa Éden consiste em 55.420 habitantes (SAAE, 2020). Vale ressaltar que na represa Castelinho não ocorre captação e distribuição de forma direta, pois a mesma serve apenas para controle da vazão e reserva para a represa Éden.

A captação de água no reservatório Ipaneminha é realizado apenas no período de seca, com volume médio de $306,5 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$. Essa represa é utilizada apenas em períodos de emergência, quando o volume de água captado nos demais reservatórios não suprem a demanda necessárias para o abastecimento no município (SAAE, 2020). A Figura 4 apresenta um fluxograma simplificado do sistema de captação, tratamento e distribuição de água administrado pela SAAE nos reservatórios avaliados.

Figura 4. Sistema de distribuição de água SAAE.



Fonte: Adaptado da SAAE, 2020, ETA Éden abastece somente os bairros representados na cor bege, ETA Cerrado abastece os bairros na cor cinza.

5.2 Caracterização climática, da vegetação e pedologia

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo subtropical (Cwa), caracterizado por ser chuvoso no período de verão e seco durante o período de inverno, com temperatura média anual de 21,4°C, sendo a máxima de 30°C no mês de janeiro a março, e a mínima de 12 °C no mês de maio a julho, com precipitação média anual de 1.311 mm, com máxima no mês de janeiro com 215,55 mm e mínima no mês de agosto como uma precipitação de 32,97 mm (CORRÊA et al., 2016).

A vegetação predominante da região é do tipo da Floresta Ombrófila Densa, Savana e Campo Antrópico. A Floresta Ombrófila Densa ocorre em estágio inicial, semidecidual, estágio médio e estágio avançado, enquanto que a Savana ocorre de forma Arborizada (Cerrado), gramíneo-lenhosa (Campo Cerrado), Campos úmidos (Áreas brejosas e várzeas), e o Campo Antrópico constituído por vegetação mista (SEMA, 2011).

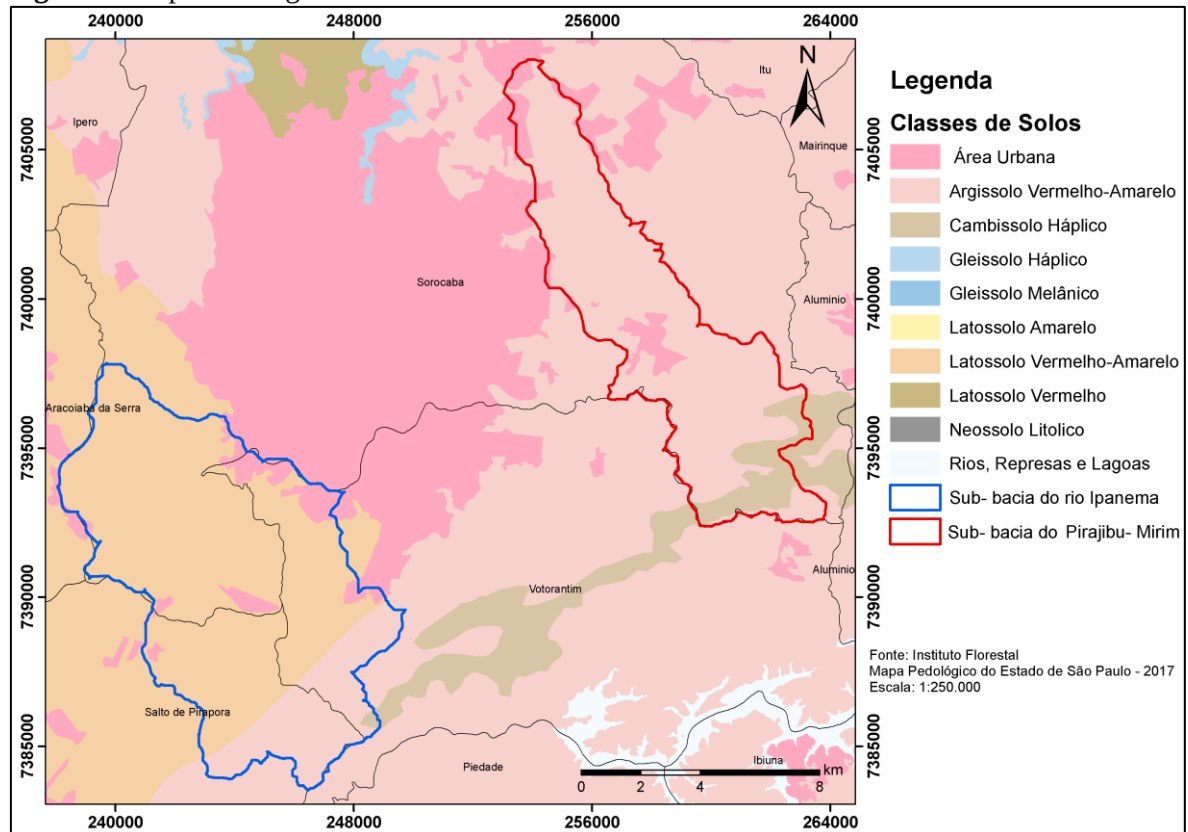
Em relação a pedologia, as classes de solos predominantes na região diz respeito aos Argissolos Vermelho-Amarelo, Cambissolo Háplico, Gleissolo Háplico, Gleissolo Melânico, Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho- Amarelo, Latossolo Vermelho e Neossolo Litólico (IAC,2020) . No domínio das bacias hidrográficas existem três classes de solos, sendo elas: Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Litólico e Argissolo Vermelho-Amarelo (Figura 5).

O Latossolo vermelho-Amarelo, ocorre mais comumente em Depressões Periféricas e o Planalto Atlântico, na depressão periférica são formadas a partir da decomposição de rochas sedimentares e de granulometria fina, no planalto Atlântico são formados a partir de rochas sedimentares e de rochas de origem ígneas e metamórficas. (IBGE, 2007; IAC, 2020).

Já os Neossolo Litólico são predominantes em regiões de relevo íngreme, estão geralmente associados às montanhas e escarpas em regiões de serras, esse solo possui profundidade considerada pequena, porém com grande pedregosidade que dificultam a exploração de água e nutrientes pelas plantas (IBGE, 2007; IAC, 2020).

Por outro lado, os Argissolo Vermelho-Amarelo são provenientes de rochas cristalinas, possui um horizonte de acumulação de argila, B textural (Bt), as cores vermelho-amareladas é em decorrência da mistura de óxido de ferro hematita e goethita, esse solo apresenta ainda uma baixa ou média fertilidade natural, com relevo suavizado a mais ondulado, com susceptibilidade elevada á erosão (IBGE, 2007; IAC, 2020).

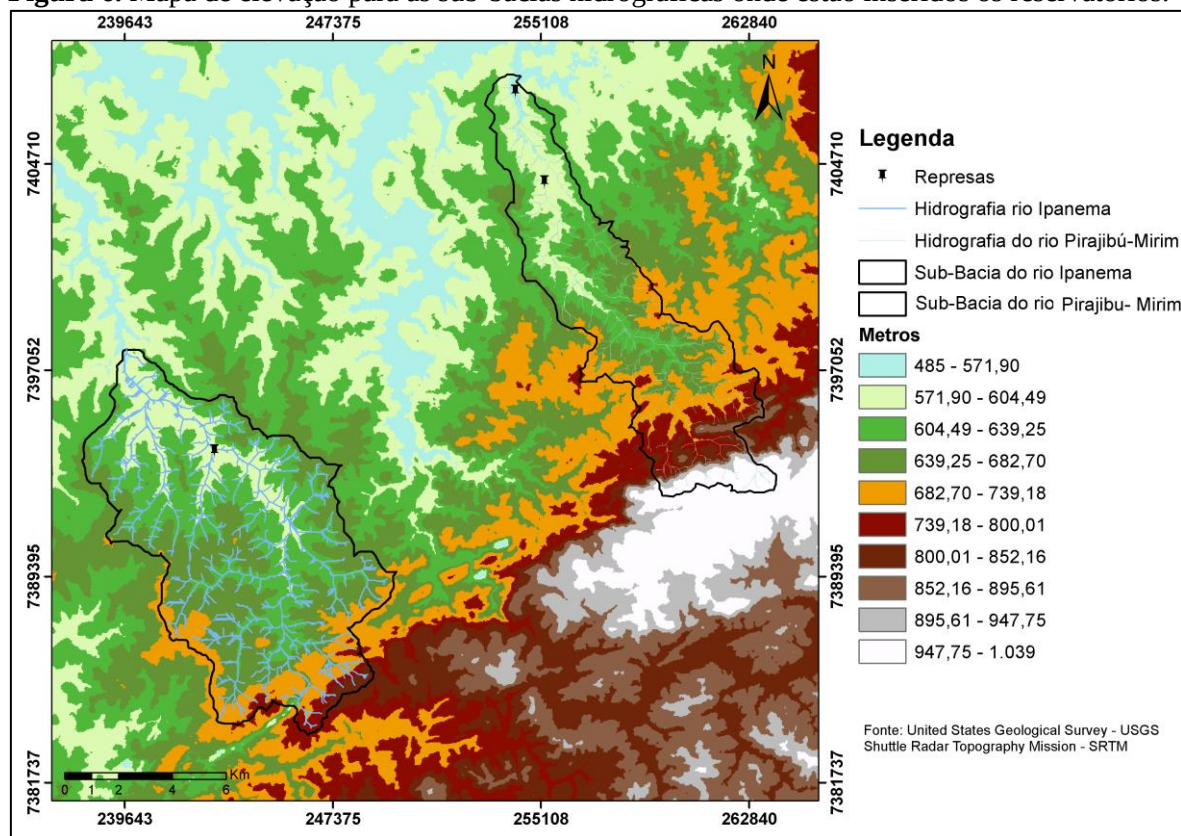
Figura 5. Mapa Pedológico área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 6 apresenta um mapa topográfico com a elevação do terreno para as sub-bacia do rio Ipanema e Pirajibu- Mirim, onde é possível observar que a elevação local varia entre 485 a 1.000 metros na sub-bacia do rio Pirajibu- Mirim, com relevo predominantemente ondulado (51,99%), seguido de fortemente ondulado (21,47%) e suavemente ondulado (20,30%), enquanto que para a sub-bacia do rio Ipaneminha a elevação varia entre 485 a 852 metros, com relevo predominantemente ondulado (46,850), a suavemente ondulado (40,28%) e plano (8,36%).

Figura 6. Mapa de elevação para as sub-bacias hidrográficas onde estão inseridos os reservatórios.



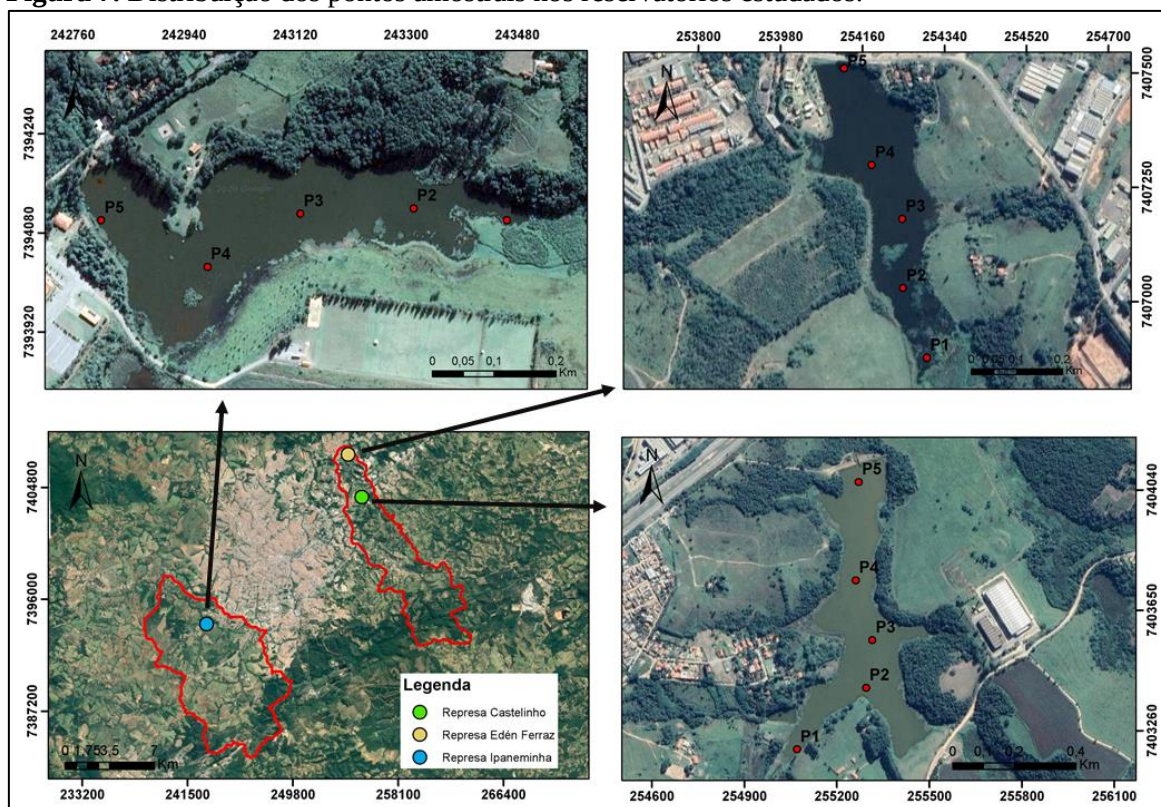
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 Coleta de amostras em campo

A amostragem de água para análise de parâmetros físico-químicos e biológicos foi realizada uma vez ao mês entre janeiro de 2016 a dezembro de 2019 para a represa Éden Ferraz e Ipanemaninha, já na represa Castelinho foi realizado a amostragem somente para o período de dezembro de 2019, pois foi quando iniciou o monitoramento deste manancial pela empresa responsável. Vale ressaltar que a amostragem de água e a análise em laboratório foi realizada pela empresa responsável pelos reservatórios.

A amostragem de água para análise de sólidos totais e em suspensão foi realizado em dois períodos. A primeira amostragem foi realizada em novembro de 2019 (período seco), e a segunda em março de 2020 (período chuvoso). Em cada reservatório foram distribuídos cinco pontos amostrais ao longo dos mananciais, conforme mostra a Figura 7. A distribuição das amostras foi realizada da seguinte forma: uma amostra na entrada do reservatório, três amostras ao longo do reservatório e uma amostra próximo ao vertedouro.

Figura 7. Distribuição dos pontos amostrais nos reservatórios estudados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As amostras de água foram coletadas utilizando-se uma amostrador modelo DH-48 Hidromec (Figura 8a), equipamento próprio para coleta de sólidos em suspensão em corpos hídricos. Esse equipamento é feito de alumínio com uma forma hidrodinâmica, e possui uma garrafa de vidro, com 3 hastes de metal que servem para graduar a profundidade do equipamento (CARVALHO, 2008).

As amostras foram condicionadas em frascos plásticos 200 mL previamente higienizado com água ultra pura (Figura 8b), e condicionada em caixa térmica em temperatura ambiente (Figura 8c), conforme orientações descritas no Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras da ANA (ANA, 2020).

Figura 8. Coleta de água com DH-48 Hidromec (a), armazenamento das amostras (b) e transporte (c).



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3.1 Procedimentos Laboratoriais

Análise dos parâmetros de qualidade da água

Foram realizadas análises de parâmetros físico-químico e biológicos, sendo os parâmetros físicos: Temperatura, Turbidez, Resíduos Totais e os parâmetros químicos: pH, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Fósforo Total (PT) e o parâmetro biológico: Coliformes Termotolerantes. A análise dos parâmetros para determinação do Índice de Qualidade de Água foram realizadas no laboratório da SAAE seguindo a metodologia descrita na Tabela 3.

Tabela 3. Métodos utilizados para avaliar os parâmetros do IQA.

Parâmetros	Umidade	Método utilizado
pH	NA	SMWW 4500 HB
Oxigênio Dissolvido	mg.L ⁻¹	Iodométrico de Winkler modificado pela azida
DBO ₅	mg.L ⁻¹	SMWW 5210B
Resíduos Totais (RT)	mg.L ⁻¹	Filtração e secagem em estufa
Nitrogênio (NTK)	mg.L ⁻¹	NT CETESB L5. 139
Fósforo	mg.L ⁻¹	NT CETESB L5. 128
Cor	uPtCo	NT CETESB L5. 117
Turbidez	UNT	NT CETESB L5. 156
Coliformes Term.	Nmp/100ml	NT CETESB L5. 406

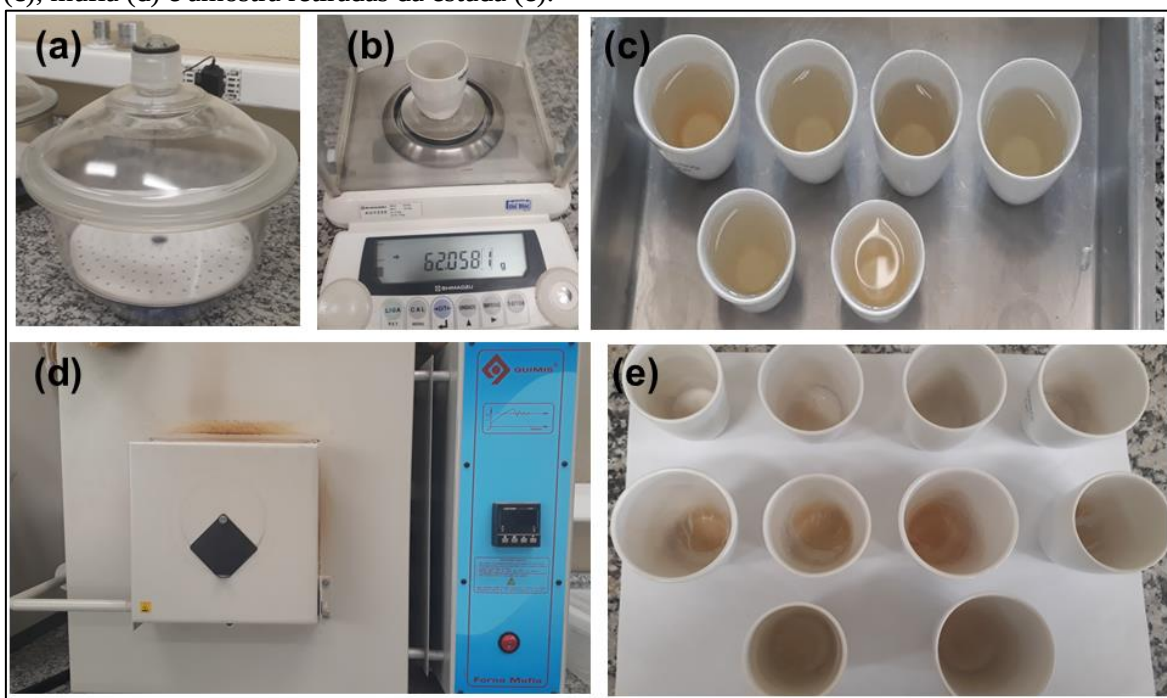
Fonte: Elaborado pelo autor.

Análise de Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

A análise dos parâmetros físicos (Sólidos Totais, Fixos e Voláteis) foram realizados no laboratório de Água e Solos do Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba da Universidade Estadual Paulista - UNESP, seguindo a Norma Técnica Interna da SABESP NTS013 (SABESP, 1999). A seguir, segue uma descrição sucinta das etapas executadas em laboratório para a determinação dos Sólidos Totais.

Inicialmente foram esterilizadas cápsulas (cadinho) com água destilada, em seguida, foram expostas a uma temperatura de 100 °C por aproximadamente 3 hora a fim de remover resíduos orgânicos que podem influenciar no resultado. Posteriormente, as cápsulas foram transferidas para o dissecador, onde permaneceram até temperatura ambiente, posteriormente foram pesadas em uma balança analítica (Figura 9).

Figura 9. Etapas seguidas na análise de sólidos Totais, sendo dissecador (a), balança (b), amostra (c), mufla (d) e amostra retiradas da estufa (e).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para determinar a concentração de Sólidos Totais obteve-se 30 mL de água homogeneizada com uso de uma proveta. Em seguida, a amostra foi transferida para o cadinho calcinado, seguindo para estufa a 100 °C por 2 dias (Figura 9d). Posteriormente, as cápsulas foram dissecadas até temperatura ambiente e pesada em uma balança analítica, e por fim, a concentração de Sólidos Totais foi determinada pela Equação 2.

$$ST = \frac{P2-P1}{VOLam} * 1.000.000 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: ST corresponde aos Sólidos Totais (em mg.L⁻¹), P1 corresponde o peso da cápsula calcinada (em g), P2 o peso da cápsula com amostra após secagem (em g) e VOLam o volume da amostra inicial.

A concentração de Sólidos Fixos foi determinada conforme Equação 3.

$$SF = \frac{P3-P1}{VOL am} * 1.000.000 \quad (\text{Equação 3})$$

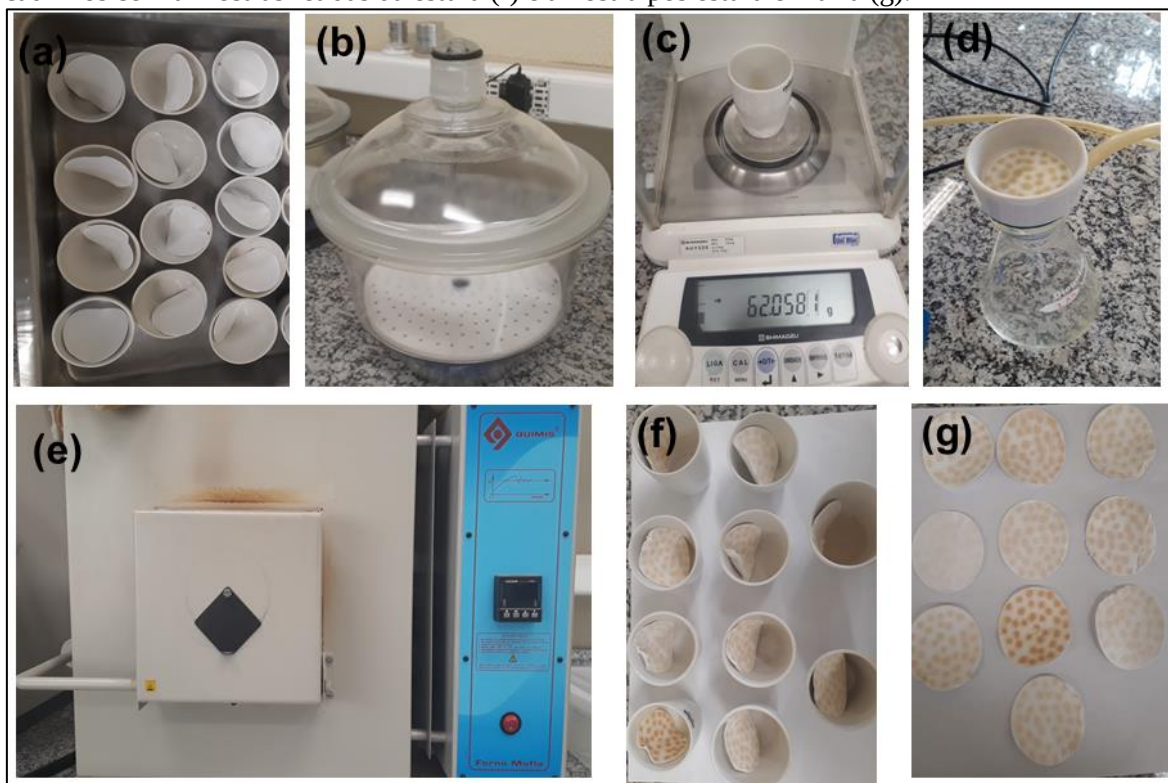
Onde: SF corresponde aos Sólidos Fixos (em mg.L⁻¹), P1 corresponde o peso da cápsula calcinada (em g), P3 corresponde o peso da cápsula com o resíduo seco da amostra na mufla a 500 °C por 2 horas, e VOLam o volume da amostra inicial. E por fim, foi determinado a concentração de Sólidos Voláteis (em mg.L⁻¹) por meio da subtração entre ST e SF, conforme descrito pela SABESP (1999).

5.3.2 Análise de Sólidos Totais em Suspensão

Para a análise dos Sólidos Totais em Suspensão também foi utilizado a Norma Técnica Interna da SABESP NTS013. A seguir, segue uma descrição sucinta dos procedimentos realizados em laboratório.

Inicialmente, as cápsulas com a membrana de vidro de 0,002 mm foram expostos a uma temperatura de 100 °C por 3 horas para remoção de quais quer resíduos das cápsulas que pudessem influenciar nas análises, em seguida, as cápsulas foram transferidas para o disseccador, onde permaneceram até temperatura ambiente, posteriormente foram pesados em uma balança analítica (Figura 10).

Figura 10. Etapas seguidas na análise de Sólidos Totais em Suspensão, sendo cadinhos calcinados e com os filtros (a), dissecador (b), balança analítica (c), filtragem por sucção(d), estufa (e), cadinhos com a mostras retidas da estufa (f) e amostra pós estufa e mufla (g).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Posteriormente, obteve-se 100 mL de água homogeneizada com uso de uma proveta. A amostra foi filtrada á vácuo pela membrana. Em seguida, a membrana com o resíduo retido foi a estufa á 100 °C por 2 dias, ao final, foram transferidas para o dissecador, onde permaneceram até temperatura ambiente, posteriormente, e por fim, as amostras foram pesadas em uma balança analítica (Figura 10, c). A concentração de Sólidos Totais em Suspensão foi determinada pela Equação 4.

$$STS = \frac{P2-P1}{Volam} * 1.000.000 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde: STS corresponde aos Sólidos Totais em Suspensão (em mg.L⁻¹), *P1* corresponde o peso da cápsula com a membrana calcinada (em g), *P2* o peso da cápsula com a membrana após secagem (em g), e *Volam* o volume da amostra inicial.

A concentração de Sólidos em Suspensão Fixos foi determinada conforme Equação 5.

$$SSF = \frac{P3-P1}{Vol am} * 1.000.000 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde: *SSF* corresponde aos Sólidos em Suspensão Fixos (em mg.L⁻¹), *P1* corresponde o peso da cápsula calcinada (em g), *P3* corresponde o peso da cápsula com membrana seca na mufla a 500 °C por 2 horas, e *Volam* o volume da amostra inicial.

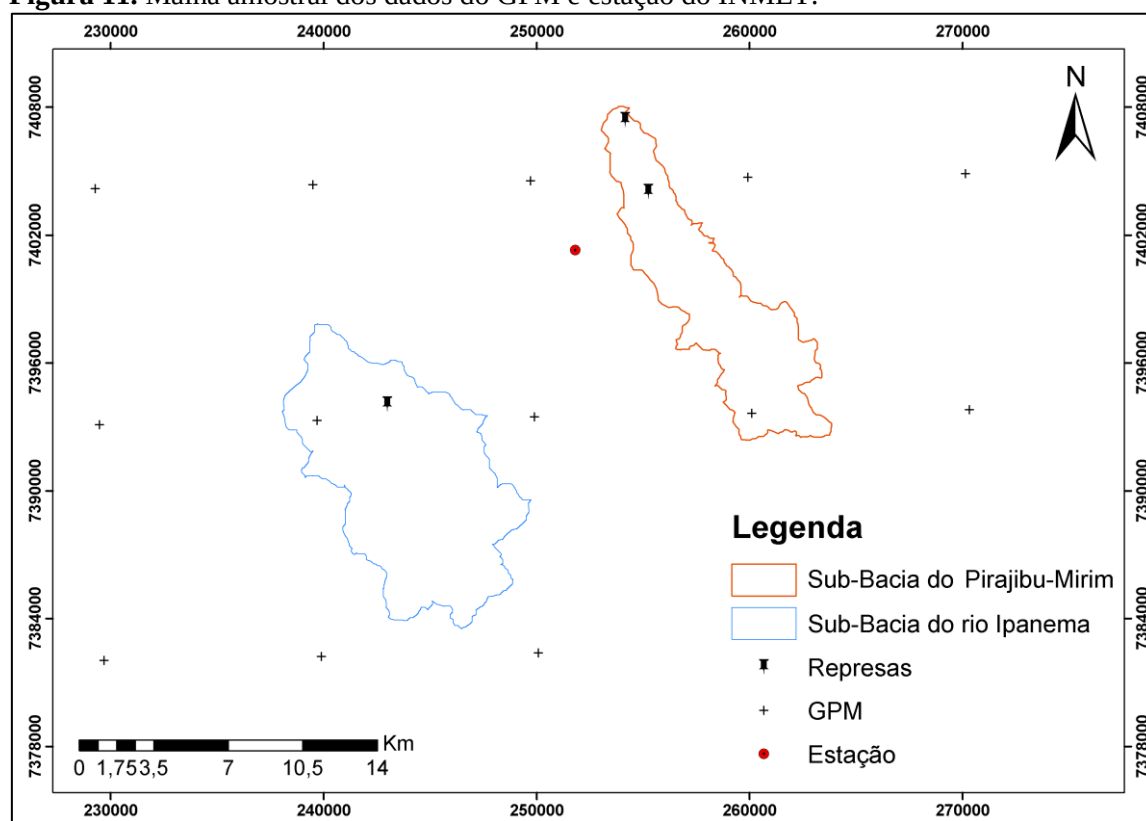
E por fim, foi determinado a concentração de Sólidos Totais em Suspensão Voláteis (em mg.L^{-1}) por meio da subtração entre STS e SSF, conforme descrito pela SABESP (1999).

5.4 Análise da precipitação

Para avaliação da precipitação local, foram obtidos dados no website do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET para o período de janeiro de 2016 a dezembro de 2019. Os dados do INMET refere-se á estação sob código nº 83851, localizada nas coordenadas (UTM) Latitude 7401279 m S e Longitude 251817 m E.

Em função dos dados disponibilizados pelo INMET serem referente a uma estação localizada entre as bacias hidrográfica onde estão inseridas os reservatório, optou-se por utilizar dados de precipitação obtidos a partir do *Global Precipitation Measurement*-GPM, uma vez que possibilita uma análise da distribuição espacial da precipitação na área. Dessa forma, foram obtidos dados de precipitação com média mensal para os meses de janeiro de 2016 a dezembro de 2019 na base de dados do Giovanni (NASA, 2020). Nesse caso, os dados da estação de superfície foram utilizados para verificação da qualidade dos dados observados pelo satélite. A Figura 11 apresenta a distribuição espacial dos pontos amostrais obtidos a partir dos dados do GPM e do INMET.

Figura 11. Malha amostral dos dados do GPM e estação do INMET.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados do sensor GPM foram avaliados com base nos dados da estação de superfície do INMET. Para realizar essa comparação foram utilizadas as seguintes análises estatísticas: Raiz do Erro Médio (Equação 6), Erro Médio Absoluto (Equação 7) e Percent Bias ou Porcentagem do viés (Equação 8), conforme descrito por Almeida et al. (2015) e Aires et al. (2016). Foi utilizado ainda o índice de concordância (d, Equação 9) proposto por willmott et al. (1885).

$$REM Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (oi - Pi)^2}{n}} \text{ (Equação 6)}$$

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Pi - Oi| \text{ (Equação 7)}$$

$$Pbias = \frac{1}{in} \sum_{i=1}^n \frac{(Oi - Pi)^2}{\sum_{i=1}^n oi} \text{ (Equação 8)}$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Pi - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n (|Pi - Oi| + |Oi - Mo|)} \text{ (Equação 9)}$$

Onde Pi refere-se à precipitação estimada em mm pelo satélite GPM no intervalo de tempo i , e Oi refere-se aos dados de precipitação observada na superfície pelo INMET.

O REMQ corresponde um índice adimensional que varia de 0 a ∞ , sendo que valores iguais a 0 indica um ajuste perfeito do modelo. Enquanto que o EMA representa o desvio médio entre os valores observados e predito. Já o Pbias corresponde à análise de tendência que a média dos valores simulados tem em relação aos valores observados, onde o valor ideal corresponde a zero, enquanto que valores positivos indicam uma subestimação, e valores negativos indicam uma superestimação do modelo. Já a análise de concordância (d) corresponde o desempenho, onde quanto maior seu valor, melhor é o desempenho do modelo (HALLAK; FILHO 2011).

Observada a adequação dos dados obtidos pelo GPM, foi realizada uma interpolação cartográfica pelo método *Topo-to-Raster*, conforme descrito por (MARCUIZZO et al., 2011), o que possibilitou observar a distribuição espacial dos índices de precipitação na área.

5.5 Análise do uso e ocupação do solo

Para análise do uso e ocupação do solo foram obtidos dados do sensor Sentinel-2 no website Earth Explorer da United States Geological Survey (USGS, 2020). Os dados que contemplam a área de estudo refere-se a duas cenas sob órbita T22KHU e T23KKQ, nesse caso, obteve-se dados para os anos entre 2016 a 2019. A Tabela 4 apresenta as características das cenas obtidas.

Tabela 4. Datas de aquisição das cenas do Sentinel-2 para a classificação do uso do solo.

Número da Cena		Data de passagem do satélite		
T22KHU	06/12/2016	12/09/2017	06/12/2018	02/09/2019
T23KKQ	06/12/2016	12/09/2017	06/12/2018	02/09/2019

Fonte: Elaborado pelo autor.

A classificação do uso e ocupação do solo foi realizada no software ArcGIS (10.6.2). O método de classificação adotado consistiu no máxima verossimilhança (MaxVer), que corresponde um método de classificação supervisionada, considerando a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, com base em parâmetros estatísticos (MENESES; ALMEIDA, 2012). Onde foi realizado uma análise preliminar para identificação das classes de uso do solo existentes na área, em seguida foi realizada a coleta de amostras para treinamento do classificador.

5.6 Análise estatística

Foi realizado uma análise de correlação pareada entre os parâmetros que compõe o IQA por meio do método de Spearman levando em consideração o nível de significância de 0,05%. Em seguida, foi realizado uma análise multivariada por meio da Análise de Componentes Principais (ACP) levando em consideração os dados sobre pH, Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio (NTK), Fósforo, Resíduos Totais, Temperatura, Turbidez, Oxigênio Dissolvido, DBO e Precipitação local.

Segundo Sousa (2019), a correlação de Spearman avalia a intensidade e o sentido da relação entre duas variáveis que estejam no mínimo numa escala ordinal, levando em consideração as ordens atribuídas às observações, em vez dos valores originais. Essa análise pode ser aplicado tanto para dados lineares como não lineares. Os valores de correlação variam entre -1 a +1, sendo que valores próximos de +1 correspondem uma correlação positiva forte (inclinação da reta da esquerda para direita), e valores próximos de -1 corresponde correlações negativas forte (inclinação da reta da direita para esquerda), enquanto que valores próximos de 0 possuem correlação nula (ASUERO et al., 2006; SOUSA, 2019).

A ACP é uma técnica de análise multivariada que transforma linearmente um conjunto original de dados que são correlacionados entre si, em um conjunto de dados substancialmente menor com variáveis não correlacionadas, contemplando a maior parte da informação dos dados originais (HONGYU et al., 2015).

Para a análise de ACP, foi verificado a adequabilidade do conjunto de dados por meio do teste de Kaiser- Meyer-Olkin (KMO) e Barlett. O teste de KMO visa verificar a correlação entre as variáveis independentes por meio da comparação entre a magnitude do coeficiente de correlação observado com a magnitude do coeficiente de correlação parcial. Os valores KMO variam entre 0 e 1, sendo considerado não adequados para aplicação da ACP valores de KMO abaixo de 0,5 (Hair et al. 1998; FINKLER et al., 2015). Já o teste Bartlett é utilizado para avaliar a hipótese de que as variáveis não sejam correlacionadas na população, nesse caso, o p -valor deve ser menor que 0,05 (NETO et al., 2018).

Para a obtenção da ACP, Rencher (2002) recomenda a levar em consideração o menor número de fatores, desde que a somatória das componentes ultrapasse 70% da variância total dos dados. Como os dados relacionados a qualidade de água possuem alta variabilidade, nesse estudo consideraram-se na composição de cada CP, variáveis cujas cargas fatoriais sejam superiores a 0,50, conforme descrito por Finkler et al. (2015).

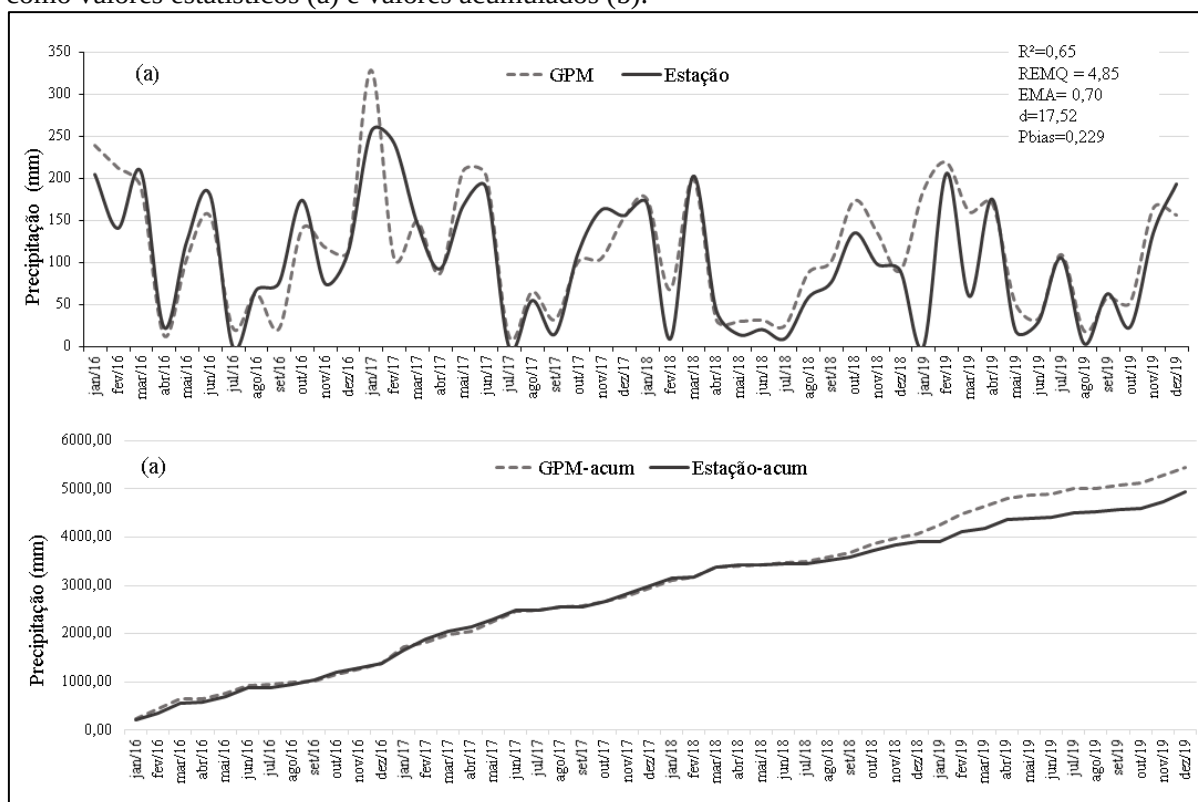
As análises citadas acima foram realizadas no software *RStudio*, no qual foi realizado a análise de correlação de Spearman, em seguida, para o desenvolvimento da ACP, foi realizado uma normalização por desvio padrão. Essas rotinas foram desenvolvidas com uso do pacotes *readxl* para leitura de dados, *psych* e *lattice* para análise multivariada e avaliação da contribuição das variáveis, e *ggplot2* para construção dos gráficos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Análise da precipitação local

OS dados de precipitação obtido junto a estação do INMET e os dados do satélite GPM apresentaram uma similaridade significativa, conforme pode ser observado na Figura 12 (a) que representa uma comparação entre os valores observados ao longo do período, bem como a precipitação acumulada (b).

Figura 12. Relação entre dados observados em superfície (INMET) e por satélite (GPM), bem como valores estatísticos (a) e valores acumulados (b).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após análise estatística dos dados, foi possível observar que existe boa concordância entre a precipitação observada na superfície e a estimada pelo GPM, pois apresentou um R^2 de 0,65, REMQ de 4,85 EMA de 0,70, índice de concordância (d) de 17,52 e Pbias de 0,229. Tais resultados concordam com os observados por Nicolete et al. (2017) na bacia hidrográfica do rio Tiete-SP, apresentando um R^2 de 0,68 entre os dados de precipitação do GPM e dados de superfície. Desse modo, os dados de precipitação obtidos pelo GPM foram interpolados possibilitando a geração de mapas de distribuição espacial da precipitação de janeiro de 2016 a dezembro de 2019.

Com a precipitação média acumulada anual foi possível observar os anos que apresentaram as máximas e mínimas precipitações locais. Nesse estudo, observou-se que o ano com maior precipitação média acumulada foi em 2017, com um total de 1.500 mm, seguido pelos anos de 2016 e 2019 com média acumulada de 1.300 mm, e com menor média o ano de 2018 com cerca de 1.030 mm.

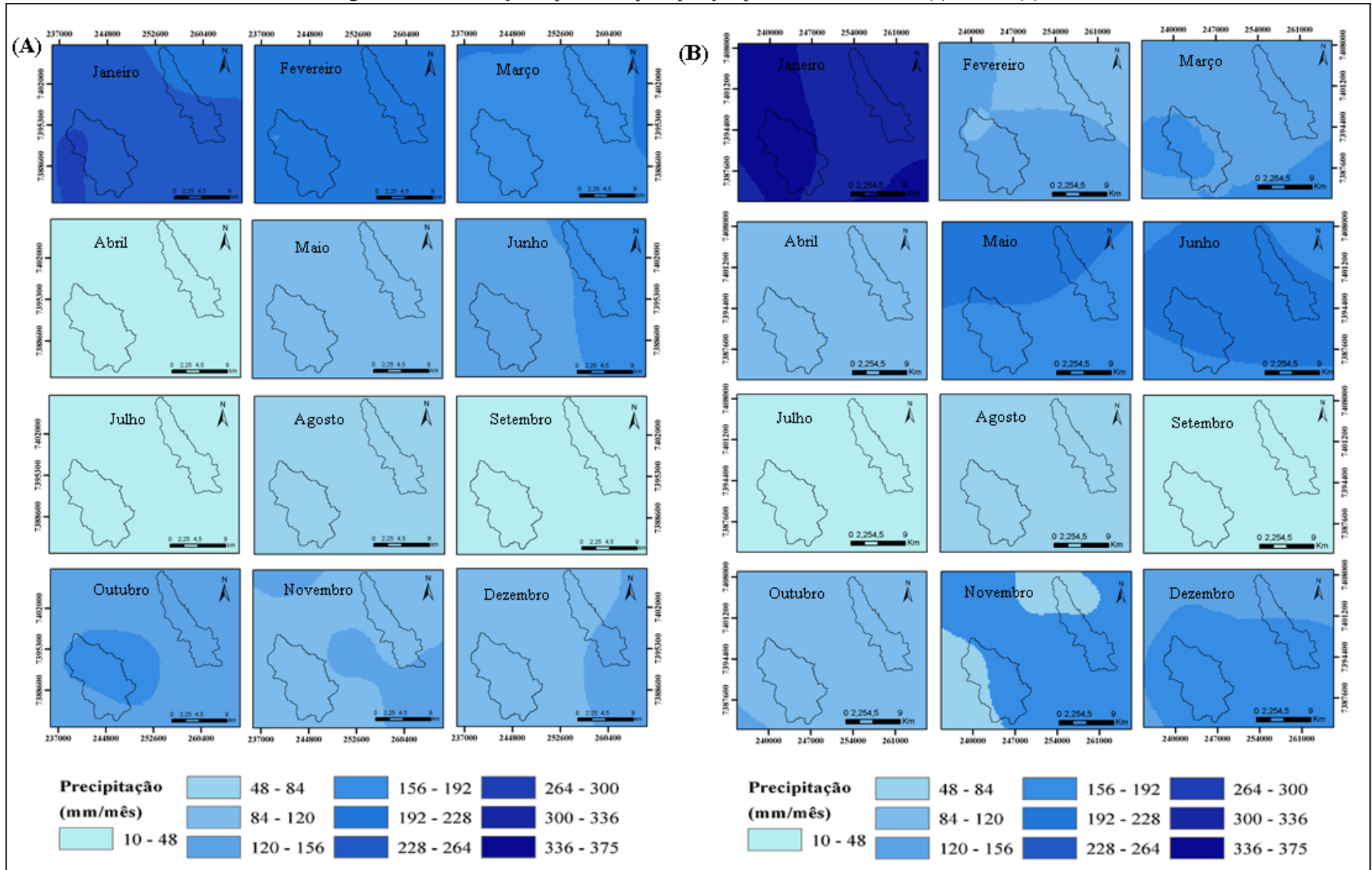
A Figura 13 apresenta a distribuição espacial da precipitação entre janeiro a dezembro de 2016 (a) e 2017 (b) e a Figura 14 representa a distribuição espacial para janeiro a dezembro de 2018 (a) a 2019 (b). No período avaliado, os valores máximos e mínimos de precipitação foram observados no mês de janeiro (336 mm) e junho (12 mm) de 2017, sendo que os valores médios de precipitação anual na área de estudo foram de 1.363 mm.ano⁻¹.

De modo geral, os dados sobre precipitação apresentados na Figura 13 e Figura 14 possibilitam uma análise da distribuição de zonas com maiores índices de precipitação na área de estudo. Esses dados podem auxiliar na interpretação dos resultados sobre os parâmetros de qualidade da água, bem como na taxa de sedimentos carregados pelo corpo hídrico, uma vez estes estão intrinsecamente relacionados com as atividades antrópicas desenvolvidas o meio, e também com a característica geológica, pedológica e climáticas da bacia hidrográfica (VANZELA et al., 2010).

Na área de estudo, observou-se que a variabilidade interanual foi maior que a espacial, pois a distribuição espacial da precipitação em ambas as sub-bacias praticamente foram semelhantes quando comparado a série histórica. Entretanto, quando observado a precipitação acumulada entre os anos, os valores observados entre 2016 e 2019 estiveram dentro da série histórica para a região (1.300 mm), enquanto que em 2018 observou-se taxas de precipitação inferiores (1.030 mm) e em 2017 com valores acumulados acima da média (1.500 mm).

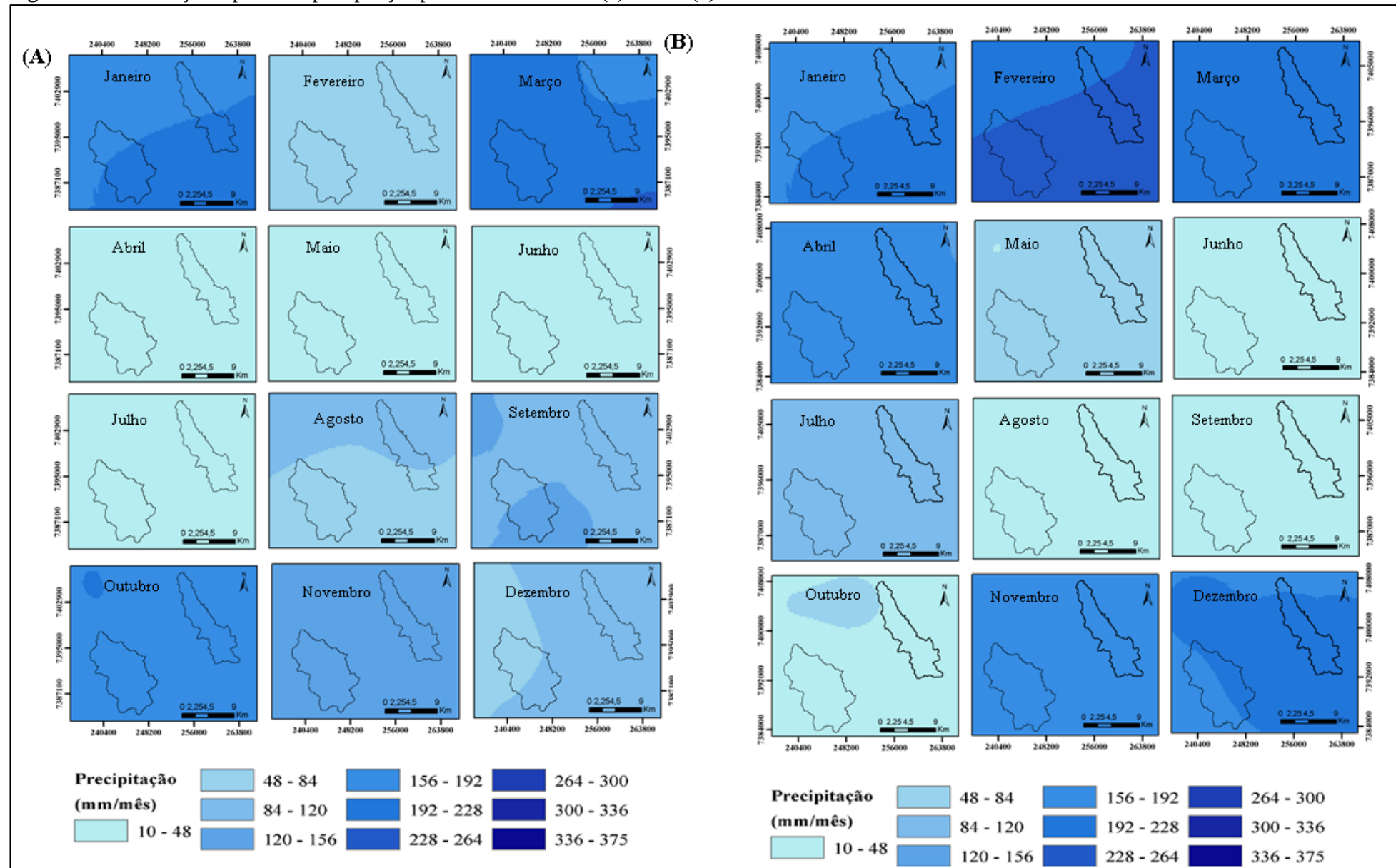
De acordo com Guandique et al. (2015), os estudos voltados a compreensão da sazonalidade da precipitação em bacias hidrográficas é de suma importância, pois permite compreender de forma integrada os fatores relacionados a demanda pelo recurso, bem como a influência de diluição dos poluentes aportados aos corpos d'água.

Figura 13. Distribuição espacial da precipitação para os anos de 2016 (a) e 2017 (b).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do GPM.

Figura 14. Distribuição espacial da precipitação para os anos de 2018 (a) e 2019 (b).



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados do GPM.

6.2 Uso e ocupação do solo

6.2.1 Uso do solo e ocupação do solo na sub- bacia do Pirajibu- Mirim

A Tabela 5 apresenta os valores de uso e ocupação do solo na sub- bacia do rio Pirajibu- Mirim para os anos de 2016 a 2019. De modo geral, a área de estudo predominam as atividades agropecuária, que perfazem 2016 (29,88%), 2017 (30,94%), 2019 (30,16%) com uma redução para o ano de 2018 que apresentou 21,52% da área de estudo.

Tabela 5. Uso e ocupação do solo para a sub-bacia do Pirajibu- Mirim entre 2016 a 2019.

Classe de Uso	2016	2017	2018	2019
------(ha)-----				
Pastagem	9,60	9,20	16,20	9,44
Agricultura	16,75	17,35	12,07	17,19
Floresta	15,21	14,70	12,83	14,24
Silvicultura	5,56	5,63	5,77	5,81
Solo exposto	0,01	0,04	0,03	0,00
Area Urbana	8,48	8,68	8,73	8,95
Rio e Lago	0,43	0,43	0,41	0,42

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a classificação de uso do solo na sub-bacia do rio Pirajibu- Mirim, é possível notar que existe uma rotação no uso do solo entre áreas ocupadas por pastagem e agricultura, pois entre 2016 a 2017 as áreas agrícolas praticamente se mantiveram estáveis (com uma redução de 4,33%), entretanto, entre 2017 a 2018 houve um aumento de 46,47%, seguido de uma redução de 82,18% no ano de 2018 para 2019. Por outro lado, observou-se que o comportamento é inverso nas áreas ocupadas por pastagem, ou seja, entre 2016 a 2017 ocorre uma redução (3,44%), seguido de aumento entre 2017 a 2018 (43,74%), e por fim, com redução entre 2018 a 2019 (29,79%). Essa dinâmica de cultivo pode ser considerado como um sistema misto, que pode ser caracterizado pelo cultivo de lavouras em rotação de culturas e/ou em plantio direto por um determinado período, e ao final de alguns anos, é novamente substituída pela pastagem, que ficará por igual período (GONÇALVES; FRANCHINI, 2007).

Em relação as áreas ocupadas por vegetação florestal, observa-se que ocorreu uma redução de 6,40% entre 2016 a 2019. Vale ressaltar que na área de estudo existem apenas pequenos fragmentos florestais ao longo dos corpos hídricos, e em especial nas áreas com maior declividade, com destaque nas áreas localizadas na região sul da sub-bacia hidrográfica.

Em relação as áreas ocupadas por silvicultura, observou-se um pequeno aumento ao longo do período avaliado, sendo que em 2016 ocupava cerca de 9,91% da área da bacia, e em 2019 esse percentual foi para 10,36%, o que representa um aumento de 4,52% na área. Em relação ao solo exposto, além da ocupação pouco significativa, foi observado poucas variações ao longo do tempo. O mesmo comportamento foi observado para as áreas ocupadas por corpos hídricos, apresentando pouca variação ao longo do período avaliado.

Em 2016 a área urbana ocupava cerca de 17,13% da bacia hidrográfica, e em 2019 esse percentual foi para 18,88%, o que representa um aumento de 5,60%. Essas áreas se distribuem principalmente no extremo norte e oeste da bacia hidrográfica, onde se localizam a zona industrial do município (principalmente no extremo norte).

Vale ressaltar que a redução da cobertura vegetal observada para o de 2018 pode ter ocorrido em função de erros de classificação decorrentes da baixa resolução espacial das imagens utilizadas para a classificação do uso e ocupação do solo.

6.2.2 Uso do solo e ocupação do solo na sub-bacia do rio Ipanema

A Tabela 6 apresenta os valores de uso e ocupação do solo para a sub-bacia do rio Ipanema. Observa-se que existe a predominância do desenvolvimento de atividades pecuárias na sub-bacia, seguido de áreas ocupadas por floresta e área urbana.

Tabela 6. uso e ocupação do solo para Sub-bacia do rio Ipanema.

Classe de Uso	2016	2017	2018	2019
------(ha)-----				
Pastagem	9,69	9,21	18,71	9,29
Agricultura	35,47	35,52	28,77	34,88
Floresta	13,61	13,36	11,41	13,47
Silvicultura	10,33	10,46	10,06	10,63
Solo exposto	0,12	0,12	0,26	0,15
Area Urbana	18,04	18,63	18,64	18,99
Rio e Lago	0,75	0,73	0,73	0,73
Mineração	0,65	0,63	0,07	0,52

Fonte: Elaborado pelo autor.

A classificação de uso do solo mostra que assim como na sub-bacia do rio Pirajibu-Mirim, a sub-bacia do rio Ipanema possui um sistema misto de cultivo, pois a medida que a área ocupada por pastagem aumenta, as áreas ocupadas por agricultura diminuem, o que caracteriza o desenvolvimento da prática na área. Em 2016 e 2017 as áreas ocupadas por pastagem se mantiveram praticamente estáveis (com redução de 4,98%), já em 2018 houve um aumento de 103,21% da classe, e em 2019, ocorreu novamente uma redução de 50,35%. De forma inversa, foi observado para a classe de uso agrícola, pois entre 2016 a

2017 observou-se um pequeno aumento (0,14%), seguido de uma redução de 19% no ano de 2018, e uma retomada no ano de 2019, ocupando cerca de 39,40% da área.

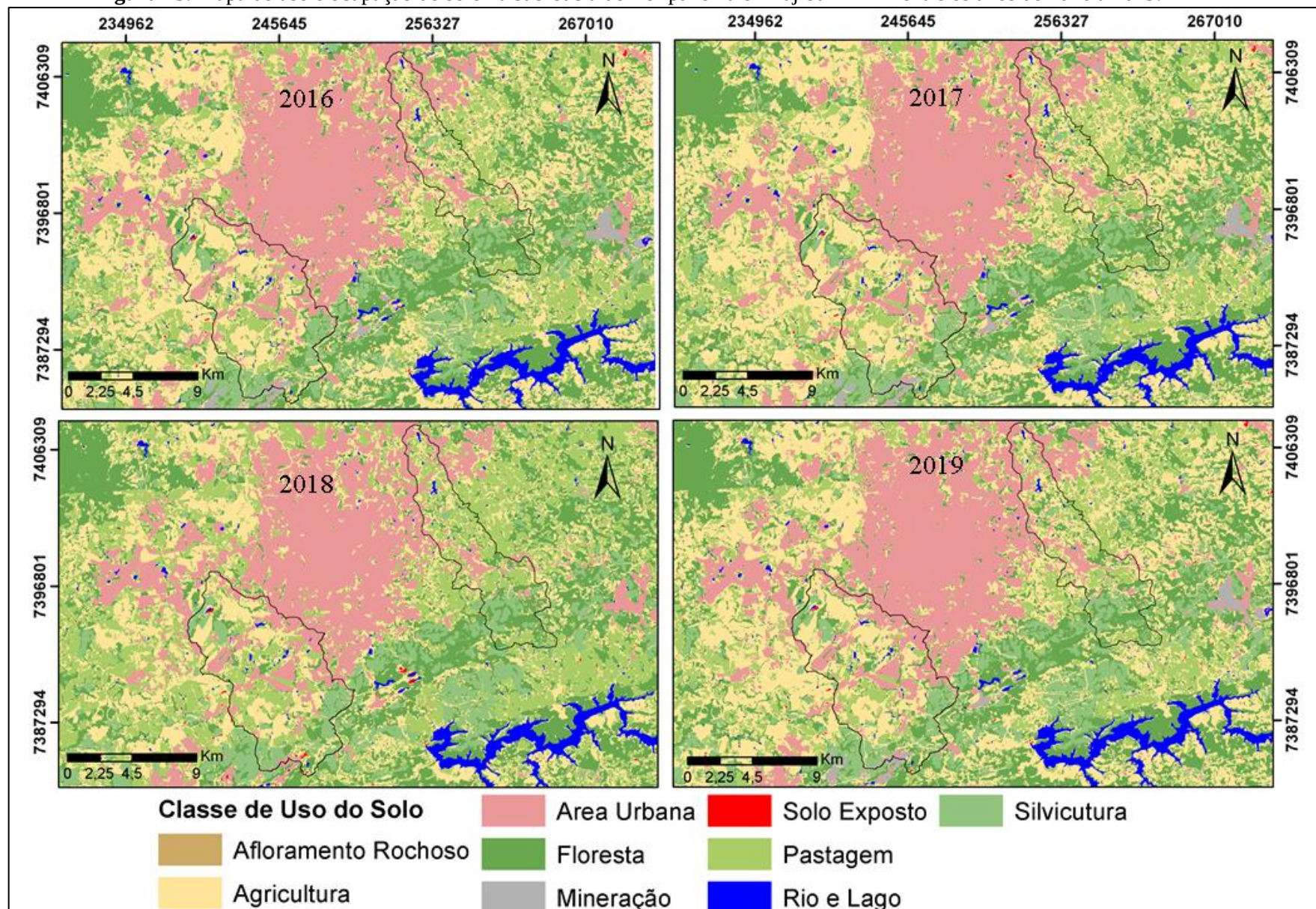
Em relação as áreas ocupadas por silvicultura, observou-se que ao longo do período avaliado essa classe se manteve praticamente constante (uma pequena redução de 3,81% em 2018), representando cerca de 11,99% da área de estudo em 2019. Essas áreas se encontram distribuídas principalmente na região sudeste e demais pequenos fragmentos ao longo da sub-bacia.

No que se refere as áreas ocupadas por solo exposto, assim como na sub-bacia do rio Pirajibu, na sub-bacia do rio Ipaneminha foi observado percentuais pouco significativos para esta classe, com os maiores percentuais observados para o ano de 2018 (0,30%). Do mesmo modo, pouca variação foi observado para as classes ocupadas por mineração, rio e lagos, pois praticamente se mantiveram constante ao longo do período avaliado.

Vale ressaltar que as classes identificadas por pequenos fragmentos tais como rios e lagos, área de solo exposto e mineração são as mais propícias aos erros pela classificação, uma vez que fragmentos muito pequenos possuem maior dificuldade de identificação pelo classificador, pois sofrem interferência da refletância dos alvos maiores em seu entorno, estando sujeitas a confusão com as demais classes de uso.

A Figura 15 apresenta a distribuição espacial e temporal do uso e ocupação do solo para as sub-bacias do rio Pirajibu- Mirim e Ipanema, no qual é possível notar a expansão da área urbana da região metropolitana de Sorocaba sobre o limite das sub-bacias hidrográficas ao longo do tempo. Esses mapas ilustram o conflito de uso vivenciada na região, mesmo existindo alta demanda por recurso hídricos, ocorre a expansão do meio urbano sobre áreas de preservação permanente e ao longo das nascentes. Souza & Arruda (2019) relatam que bacia do rio Ipanema possui grande parte da sua área composta por pastagem, silvicultura e área urbana, restando apenas poucos fragmentos florestais preservados. A redução da vegetação e o aumento da pastagem e agricultura na bacia hidrográfica relatada pelos autores ocorre principalmente em decorrência da necessidade de suprir as demandas atuais exercidas pela região metropolitana de Sorocaba.

Figura 15. Mapa de uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Ipanema e Pirajibu- Mirim entre os anos de 2016 a 2019.



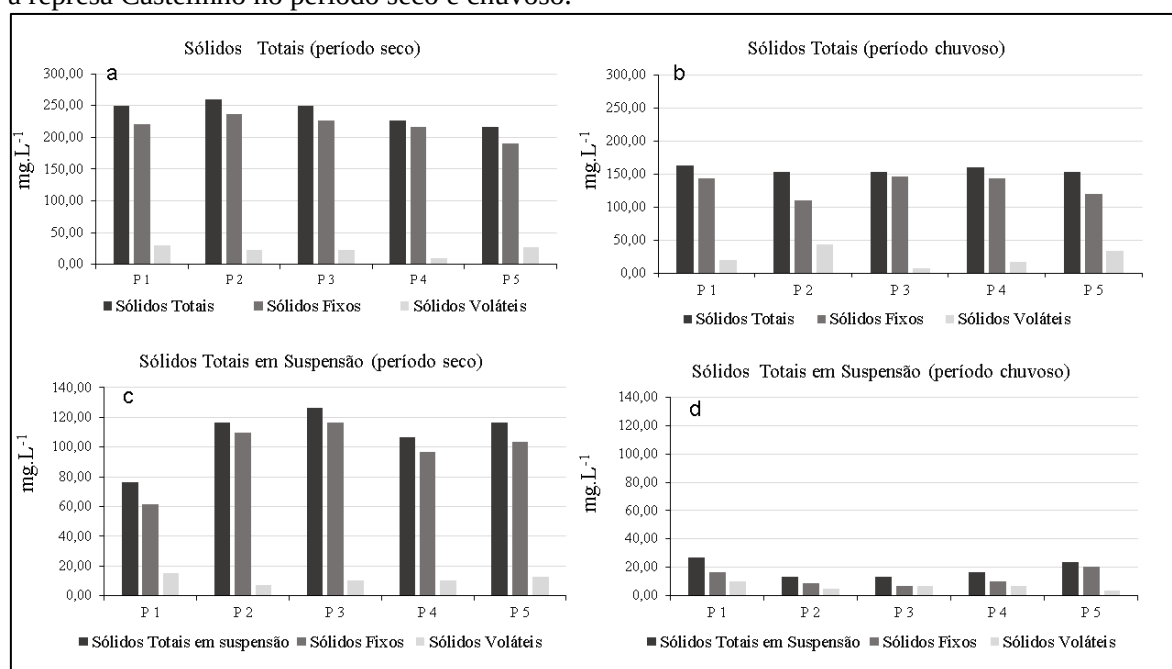
Fonte: Elaborado pelo autor.

6.3 Análise dos sedimentos

6.3.1 Análise dos sedimentos na Castelinho e Éden Ferraz

A Figura 16 apresenta os gráficos referente aos Sólidos Totais (Fixos e Voláteis) e Sólidos Totais em Suspensão (Fixos e Voláteis) para a represa Castelinho nos dois períodos avaliados (novembro de 2019 e março de 2020).

Figura 16. Sólidos Totais (Fixos e Voláteis) e Sólidos Totais em Suspensão (Fixos e Voláteis) para a represa Castelinho no período seco e chuvoso.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De modo geral, quando comparado a concentrações de Sólidos Totais, Sólidos Totais em Suspensão, Fixos e Voláteis (Figura 16, a, b, c, d), entre o período seco e chuvoso, é possível notar que as maiores concentrações ocorrem no período seco, pois nesse período, existe uma maior concentração de sólidos no manancial em virtude do menor volume de água no reservatório. Por outro lado, a menor concentração observada no período chuvoso pode ser explicada em função do maior volume de água, o que ocasiona uma maior diluição dos sólidos no reservatório.

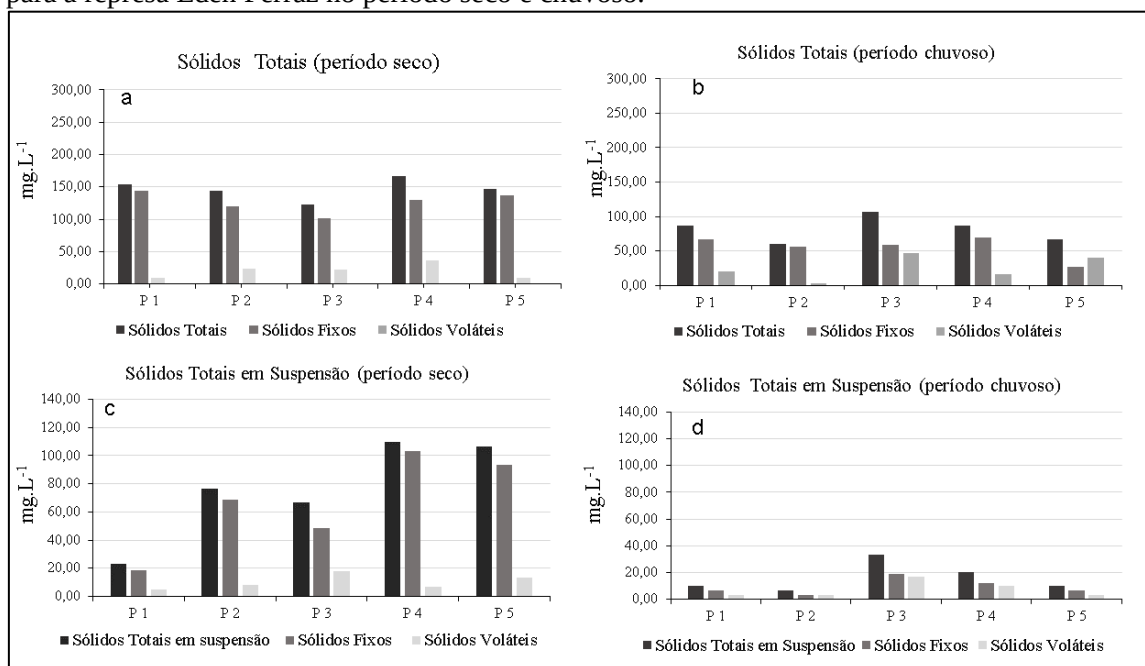
Além do mais, é possível observar que no período seco os valores de Sólidos Totais reduzem ao longo da represa a medida que se distânciam da montante (de P1 ao P5), indicando a decantação dos sólidos com a redução da velocidade de fluxo. Já no período chuvoso esse comportamento não fica evidente, e pode ser explicado em função do alto volume de água que chega ao manancial. A concentração de Sólidos Totais em um

manancial pode ser influenciado pela decomposição de matéria orgânica no rio, a deposição de efluentes, bem como origina-se do processo de intemperização e decomposição das rochas ou arraste de partículas dos solos em função dos processos erosivos (NOGUEIRA; CABRAL, 2012).

Por outro lado, o comportamento observado para os Sólidos Totais em Suspensão é inverso, ou seja, os valores aumentam da montante a jusante no período seco, e diminuem a montante para a jusante no período chuvoso. Esse comportamento pode ser explicado pelo baixo volume de água que abastece o manancial no período seco, ocasionando alta concentração nos Sólidos Totais em Suspensão na montante, esse comportamento se intensifica ao longo do manancial em função do baixo volume de água.

A Figura 17 apresenta os gráficos referente aos Sólidos Totais (Fixos e Voláteis) e Sólidos Totais em Suspensão (Fixos e Voláteis) para a represa Éden Ferraz nos dois períodos avaliados (novembro de 2019 e março de 2020).

Figura 17. Sólidos Totais (Fixos e Voláteis) e Sólidos Totais em Suspensão (Fixos e Voláteis) para a represa Éden Ferraz no período seco e chuvoso.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como observado na represa Castelinho, na represa Éden Ferraz foi observado maiores valores de Sólidos Totais, Sólidos Totais em Suspensão (Fixos e Voláteis) no período seco que no período chuvoso (Figura 17, a, b, c, d).

De forma semelhante, as maiores concentrações observadas no período seco podem ser justificada em função do menor volume de água, e consequentemente, a maior concentração de sólidos no período seco. Enquanto no período chuvoso, os maiores volumes no manancial ocasionam maior diluição dos sedimentos, reduzindo assim sua concentração.

Levando em consideração ao fator montante/jusante representado por uma distância de aproximadamente 3,40 km entre a represa Castelinho e Éden Ferraz na bacia do rio Pirajibu- Mirim, observou-se uma redução significativa na concentração de Sólidos Totais e em Suspensão (Fixos e Voláteis), pois os valores médios observados na represa Castelinho para os Sólidos Totais, Fixos e Voláteis foi de 240,67 mg.L⁻¹, 218,00 mg.L⁻¹, 22,67 mg.L⁻¹ para o período seco, e 156,67 mg.L⁻¹, 132,67 mg.L⁻¹, 24,00 mg.L⁻¹ para o período chuvoso respectivamente, enquanto que na represa Éden Ferraz os valores observados para os Sólidos Totais, Fixos e Voláteis foi 146,67 mg.L⁻¹, 126,16 mg.L⁻¹, 20,50 mg.L⁻¹ no período seco, e 81,33 mg.L⁻¹, 55,87 mg.L⁻¹, 25,47 mg.L⁻¹ no período chuvoso respectivamente.

Ou seja, entre a represa Castelinho/Éden Ferraz, observou-se uma redução de 39,05% e 48,08% para os Sólidos Totais no período seco e chuvoso, e uma redução de 42,12% e 57,88% para os Sólidos Fixos no período seco e chuvoso, o que indica que o reservatório Castelinho está retendo parte substancial dos sedimentos carregados pelo rio Pirajibu- Mirim.

A retenção dos sedimentos em reservatórios é explicada em função da redução da velocidade de fluxo do manancial ocasionada pelo barramento, causando a decantação e retenção de sedimento (CARVALHO et al., 2008).

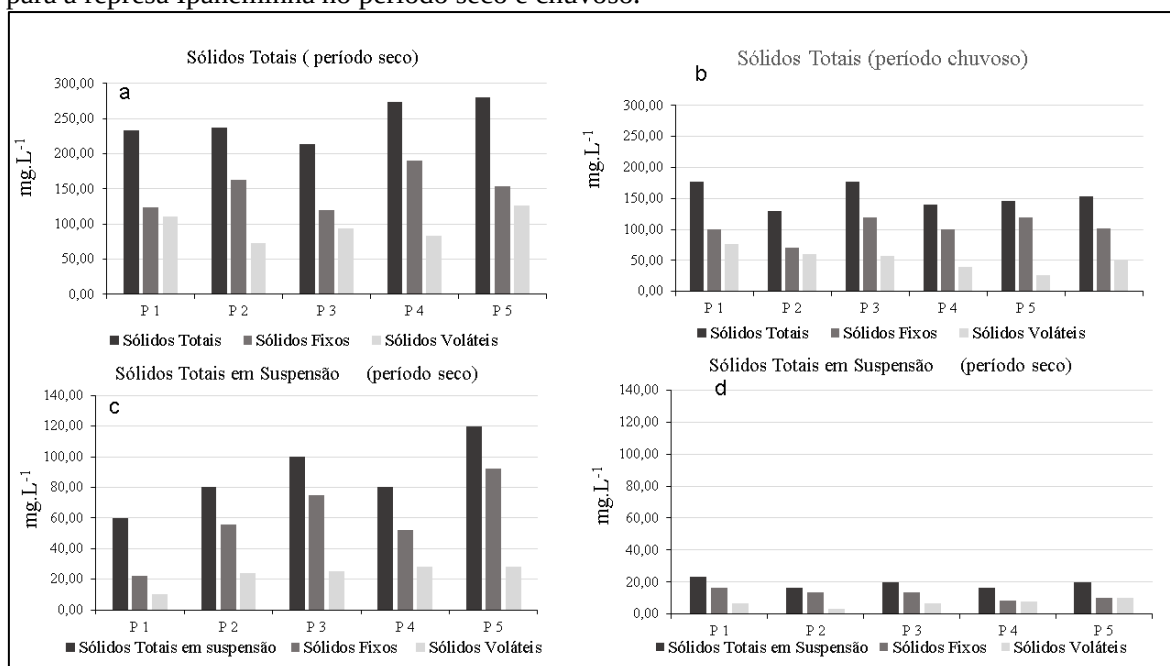
6.3.2 Análise dos sedimentos na represa Ipaneminha

Na Figura 18 apresenta os gráficos referente aos Sólidos Totais (Fixos e Voláteis) e Sólidos Totais em Suspensão (Fixos e Voláteis) para a represa Ipaneminha nos dois período avaliados (novembro de 2019 e março de 2020).

Assim como observado nas represas Castelinho e Éden Ferraz, na bacia do rio Pirajibu- Mirim, a concentração dos Sólidos Totais e Sólidos Totais em Suspensão (Fixos e Voláteis) no período seco foram maiores que no período chuvoso na represa Ipaneminha, fato que pode ser explicado em função do menor volume de água na represa, aumentando a

concentração de sedimentos, enquanto que no período chuvoso, ocorre uma maior diluição em função do maior volume de água.

Figura 18. Sólidos Totais (Fixos e Voláteis) e Sólidos Totais em Suspensão (Fixos e Voláteis) para a represa Ipaneminha no período seco e chuvoso.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além do mais, no período seco, para os Sólidos Totais e em Suspensão (Fixos e Voláteis), observou-se que na medida que se distância da montante (de P1 ao P5), os valores aumentam. Já para o período chuvoso, apesar de não ser observado de forma explícita uma tendência decrescente, os valores observados a montante foram mais expressivos que os observados ao longo do manancial para os Sólidos Totais (Fixos e Voláteis). Por outro lado, a tendência decrescente foi explícita no manancial para os Sólidos Totais em Suspensão (Sólidos Fixos).

Vale ressaltar que as frações de Sólidos Fixos corresponde a fração inorgânica de sedimentos presente, enquanto que as frações de Sólidos Voláteis representa a fração orgânica dos sedimentos (SILVA et al., 2009). Nesse estudo, os maiores valores de carga orgânica de sedimentos foi observada na represa Ipaneminha, justamente represa pertencente a sub-bacia com maior área urbanizada, bem como o desenvolvimento de atividades agrícolas, com potencial geração de carga orgânica no manancial. Por outro lado, as maiores cargas de sedimentos inorgânicos foi observado nos reservatórios localizados na bacia do rio Pirajibu- Mirim.

Vale ressaltar a importância do monitoramento dos sedimentos, pois esses constituem elementos de fixação de vários componentes dentre os quais pode-se destacar

os metais pesados, bem como os macro e micro nutrientes do solo, que são arrastados por processos erosivos e depositados em reservatórios, causando não apenas o assoreamento, mas também a eutrofização do manancial e contaminação da água (CABRAL, 2005; SZILASSI et al., 2006; NEILL et al., 2013).

6.4 Análise dos parâmetros de qualidade da água

6.4.1 Reservatório Castelinho

A represa Castelinho é utilizada como sistema Stop-log para o controle de vazão na represa Éden Ferraz, nesse caso, o monitoramento da qualidade da água para o reservatório foi iniciado a partir de dezembro de 2019, pois a água armazenada no manancial não é captada para distribuição de forma direta. Desta forma, os dados apresentados para a respectiva represa neste estudo compreende os valores observados apenas para o mês de dezembro de 2019, no qual são comparados com os limites estabelecidos pela legislação CONAMA 357/2005, com valores referentes aos estabelecidos para corpos hídricos classe II, no qual o reservatório se enquadra.

Dentre os parâmetros que compõe o IQA que foram avaliados, todos encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Os valores observados foram: 0,6mg.L⁻¹ para o Oxigênio Dissolvido, 920 NMP para Coliformes Termotolerantes, 7,4 mg.L⁻¹ para pH, 26,1°C para temperatura, 4,1 mg.L⁻¹ para DBO, 0,46 mg.L⁻¹ para NTK, 0,08 mg.L⁻¹ para o Fósforo Total, 21 UNT e Coliformes Termotolerantes e 268 mg.L⁻¹ para a turbidez.

6.4.2 Reservatório do Éden Ferraz

Na Figura 19 são apresentados os resultados da análise dos parâmetros físico-químicos e biológicos da água para o reservatório do Éden Ferraz entre janeiro de 2016 a dezembro de 2019, bem como sua conformidade com os valores estabelecidos pela legislação CONAMA 357/2005 (linha em vermelho). Ressalta-se que os valores de referência correspondem aos limites estabelecidos para corpos hídricos classe II, no qual os reservatórios se enquadram.

Comparando os valores observados com os limites estabelecidos na legislação vigente, verificou-se que para o OD (Figura 19a), os valores observados podem ser considerados dentro dos limites estabelecidos pela legislação (CONAMA 357) entre junho a dezembro (com exceção de junho/2016, julho/2019, setembro/2016 e dezembro/2018), enquanto que de janeiro a maio observaram valores abaixo do estabelecido pela legislação (com exceção para dezembro/2016, fevereiro/2018, abril/2016 e 2018, maio/2017 e 2019).

Em relação a temperatura (Figura 19b), os valores observados ao longo dos quatro anos apresentaram pequenas variações, mas de certo modo, as variações ocorreram de acordo com a sazonalidade regional, sendo observado os maiores valores entre os meses de setembro a maio (entre 23,12°C a 25,17°C), e os menores valores entre os meses de junho a agosto (19,82°C a 22,47°C).

Entretanto, vale ressaltar que os valores mensais observados no ano de 2019 foram superiores aos demais períodos (com exceção de agosto), esse comportamento pode ser ocasionado em função de diversos fatores, dentre os quais incluem a temperatura média anual do ar, a variação no volume do corpo hídrico, bem como o lançamento de efluentes (ESTEVEZ, 2011; SANTOS et al., 2018). Vale ressaltar que o aumento da temperatura em ambientes lânticos aumentam as taxas de reações químicas e biológicas, além de diminuir a solubilidade de gases como o oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2005).

No que se refere aos valores observados para a turbidez (Figura 19c), apenas o mês de março de 2016 apresentou valores acima dos permissíveis pela legislação, enquanto que para os Resíduos Totais (Figura 19f), os valores observados permaneceram dentro dos limites estabelecidos em todo o período avaliado.

Vale ressaltar que ambos os parâmetros possuem uma leve relação com a sazonalidade regional, com maiores valores observados no início e final do ano, período em que o volume precipitado é maior, enquanto no meio do ano, com baixas taxas de precipitação, ambos os parâmetros apresentaram menores valores. Os valores observados em ambos os parâmetros indicam boa capacidade de incidência de radiação solar, processo essencial para a ocorrência de fotossíntese, e manutenção das taxas de oxigênio dissolvido no corpo hídrico (ROSA et al., 2015).

Em relação aos valores observados sobre a DBO_{5,20} (Figura 19d), observa-se que apenas em fevereiro de 2016 os valores estão acima dos estabelecidos pela resolução CONAMA 357. Entretanto, ao avaliar o conjunto de dados (com exceção para fevereiro de 2016), observa-se que ocorreu um leve aumento nos valores médios anuais de DBO_{5,20} ao longo do período avaliado, ou seja, apesar dos valores observados estarem dentro dos limites estabelecidos pela legislação, a tendência anual indicou um aumento médio nos valores de DBO, o que pode significar uma redução no OD, uma vez que a DBO é um indicador de quantidade de OD a ser consumida pelos microrganismos na degradação de matéria orgânica (VON SPERLING, 2005; ROSA et al., 2015).

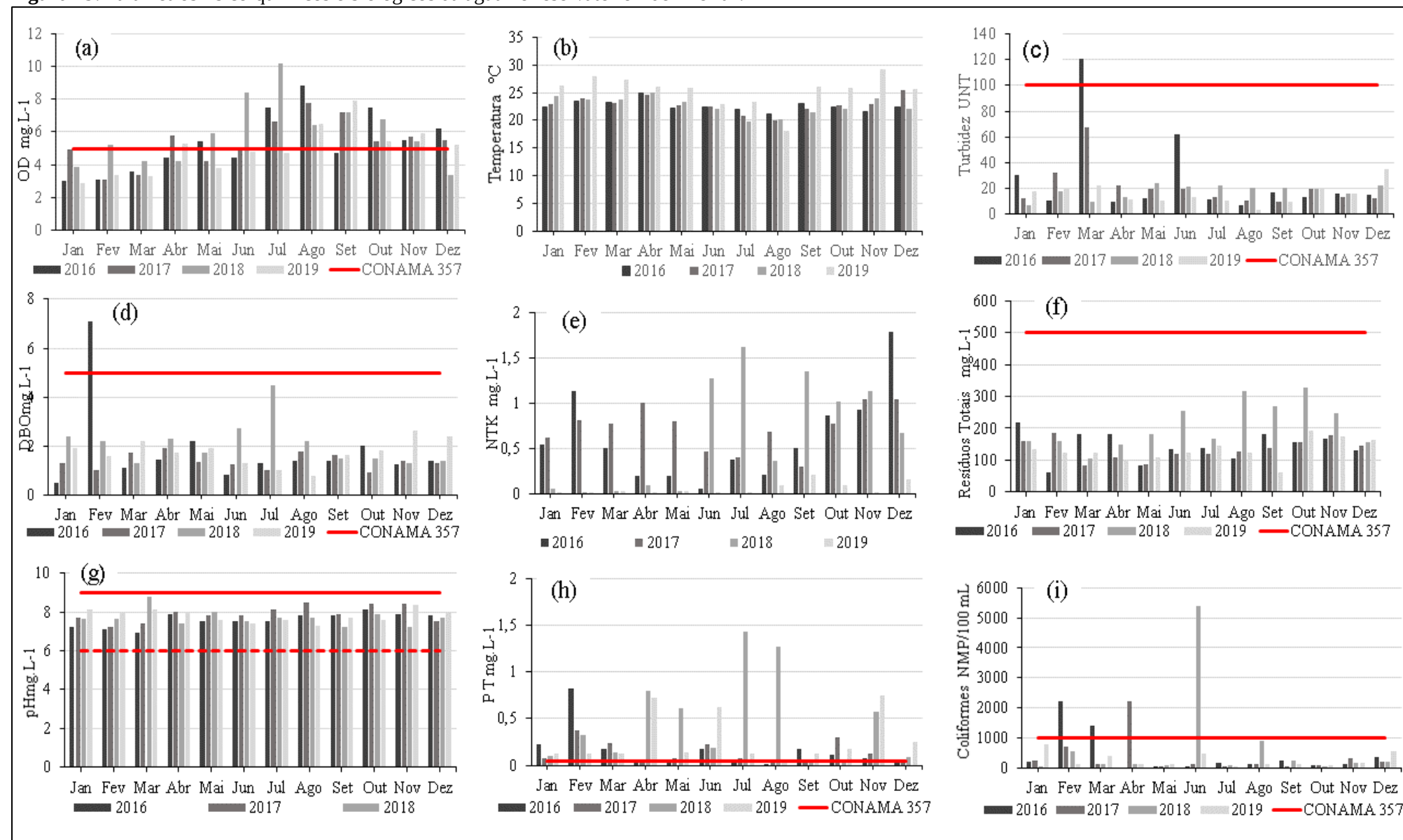
No que se refere ao pH (Figura 19g), os valores observados encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação, pois a CONAMA 357 estabelece que o pH deve

estar entre 6 a 9 para o equilíbrio do meio aquático. Além do mais, não foram observados variações abruptas do pH ao longo sazonalidade regional e interanual. Vale ressaltar que valores de pH afastados da neutralidade ($7 > \text{pH} > 7$) podem afetar a vida aquática (OLIVEIRA et al., 2010).

A concentração de nitrogênio orgânico somado ao nitrogênio amoniacal representada pelo NTK (Figura 19e) mostrou variações relacionadas á sazonalidade e interanualidade, uma vez que os maiores valores foram observados no período chuvoso (com exceção para os meses junho, julho e setembro de 2019), e menores no período seco. Apesar da legislação CONAMA 357 não estabelecer valores de referência para o NTK, esse parâmetro juntamente com o fósforo total pode contribuir com a eutrofização do corpo hídrico (BELLO; GUANDIQUE, 2011), uma vez que os valores observados para o fósforo total (Figura 19h) em todos os períodos (com exceção de abril/2017, maio/2016, agosto/2016, 2017, 2019, e setembro/2017), encontram-se em desacordo com os limites estabelecidos pela legislação.

Os valores de coliformes termotolerantes estão representados na Figura 19i. Observa-se que na maioria do período avaliado, os valores encontram-se nos limites definidos pela legislação, que estabelece um valor de 1000 NMP/100mL, com exceção para os meses de fevereiro e março de 2016, abril de 2017 e junho de 2018. A proximidade com o perímetro urbano, bem como residências rurais com ausência de coleta de esgotamento doméstico, e existência de áreas de pastagem ao entorno do manancial pode ser o responsável pela presença de valores de coliformes termotolerantes acima dos limites estabelecidos pela legislação, uma vez que os mesmos são provenientes de dejetos de origem humana e animal (SALES et al., 2015).

Figura 19. Parâmetros físico-químicos e biológicos da água no reservatório Éden-Ferraz.



Fonte. O Autor.

6.4.3 Reservatório Ipaneminha

Na Figura 20 são apresentados os resultados da análise dos parâmetros físico-químicos e biológicos da água para a represa Ipaneminha entre janeiro de 2016 a dezembro de 2019, bem como comparando os limites estabelecidos pela legislação CONAMA 357 (linha em vermelho), assim como no reservatório anterior, os valores de referência aqui indicados correspondem aos limites estabelecidos para corpos hídricos classe II, no qual os mananciais se enquadram.

Os valores observados para o OD (Figura 20a) seguem uma tendência de sazonalidade, sendo que os valores médios estão dentro do estabelecido pela legislação ($>5 \text{ mg.L}^{-1}$) no período de julho a outubro (com exceção para agosto/2017, outubro de 2017), enquanto que de novembro a junho os valores médios observados estão abaixo do estabelecido pela legislação (com exceção para os meses de novembro/2016, dezembro/2019, março/2017, abril/2016, maio/2016, 2017 e 2018 e junho/2018). Resultados semelhantes na mesma área foram observados por Bello e Guandique (2009).

Da mesma forma, foi observado comportamento semelhante para a temperatura (Figura 20b), sendo as variações fortemente influenciadas pela sazonalidade regional, com valores mais elevados entre os meses de setembro a maio (com mínimo de $23,12^{\circ}\text{C}$ e máximo de $26,12^{\circ}\text{C}$), e os menores valores observados entre os meses de junho a agosto (com mínimos de $19,7^{\circ}\text{C}$ e máximo de $21,2^{\circ}\text{C}$). Assim como observado na represa Éden Ferraz, no Ipaneminha os valores de pH (Figura 20g), encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação. Além do mais, não foram observados variações significativas com relação a variação sazonal e interanual.

Em relação aos valores observados para a turbidez no reservatório Ipaneminha (Figura 20c), em todos os períodos avaliados, os valores encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela resolução, assim como os valores observados para os Resíduos Totais (Figura 20f). Em ambos parâmetros foram observados uma pequena relação com a sazonalidade regional, pois os maiores valores foram observados no período chuvoso, enquanto os menores valores foram observados no período seco, que por sua vez, está associado ao arraste de material particulado do solo, tais como matéria orgânica, areia e silte pela ação da chuva (VANZELA et al., 2010).

No que diz respeito ao NTK (Figura 20e), as maiores concentrações foram observadas ao final do período seco em cada ano. Como mencionado anteriormente, a legislação CONAMA 357 não estabelecer valores de referência para este parâmetro,

entretanto, vale ressaltar que esses valores aumentaram consideravelmente quando comparado aos observados em análises anteriores realizadas por Bello e Guandique (2011). Além do mais, outro fator preocupante refere-se as concentrações observadas para o fósforo (Figura 20, h), uma vez que em apenas seis meses (abril/2017, maio/2017, junho/2017, julho/2016, agosto/2016 e julho/2019) os valores observados estiveram de acordo com limites estabelecidos pela legislação.

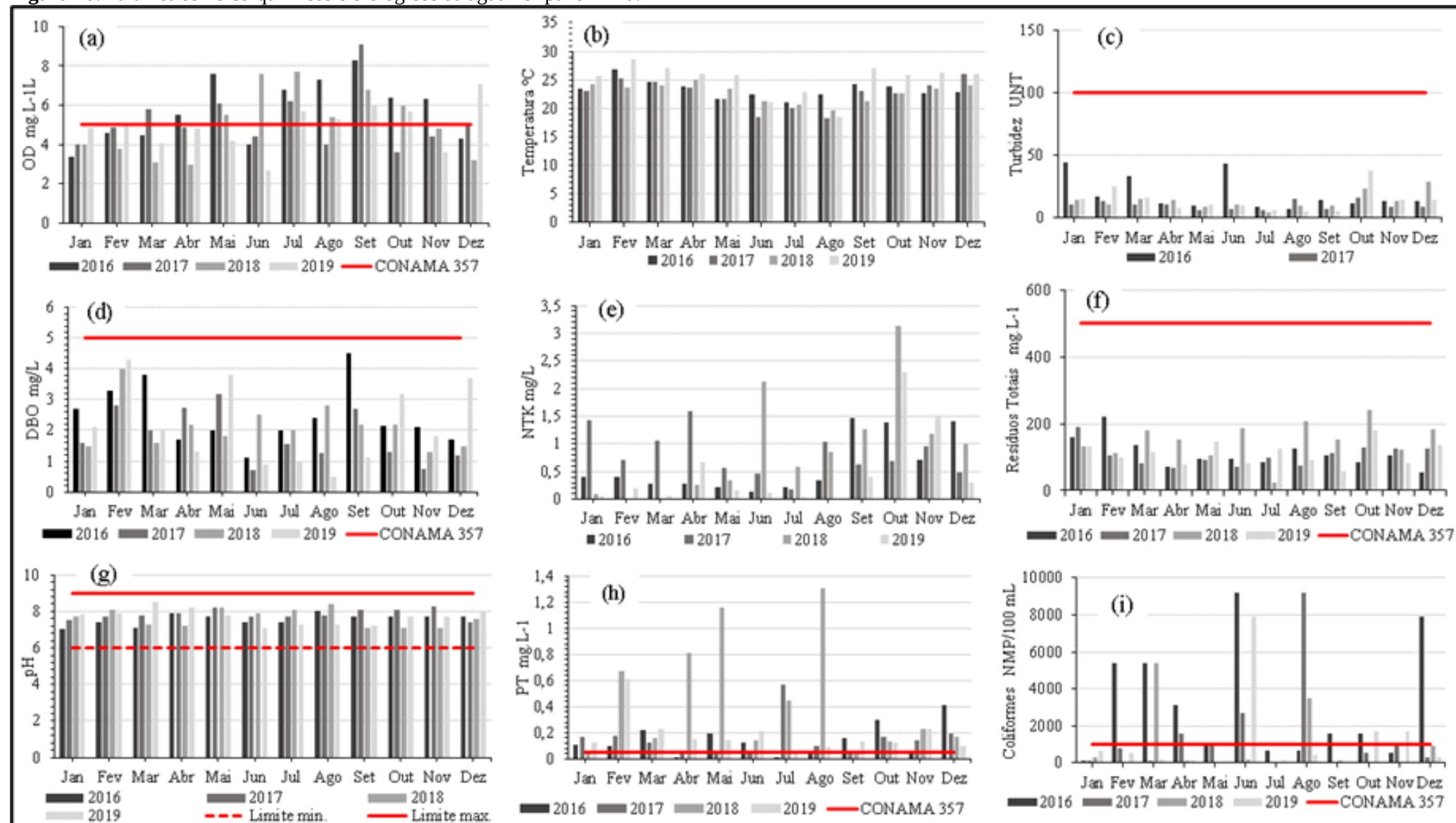
Para a $DBO_{5,20}$ (Figura 20d), os valores observados encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente ($< 5\text{mg.L}^{-1}$). Além do mais, as concentrações observados ao longo do período foram significativamente inferiores aos valores observados em estudos anteriores (BELLO & GUANDIQUE, 2011), o que pode significar uma menor quantidade de matéria orgânica introduzida ao meio. Vale ressaltar que nesta represa a influência da sazonalidade foi mais acentuada, quando comparado ao valores observados no reservatório Éden Ferraz.

Em relação aos Coliformes Termotolerantes (Figura 20i), os valores observados no reservatório Ipaneminha foram maiores do que os observados no reservatório Éden Ferraz. Em 2016 apenas quatro meses apresentaram valores dentro dos limites estabelecidos pela legislação, o que representa 67% das observações. Apesar desse cenário melhorar no decorrer do tempo (42% em 2017, 17% em 2018 e 25% em 2019), a situação atual ainda não é a adequada, pois a legislação vigente determina que em corpos hídricos de classe II o número máximo de Coliformes Termotolerantes deve ser inferior a $1000\text{ NMP}/100\text{mg.L}^{-1}$.

Nesse caso, as fontes potenciais de contaminação por coliformes podem estar relacionado a carga de contaminantes provenientes da área rural, pois o uso do solo predominante na sub-bacia corresponde ao desenvolvimento de atividades agropecuárias que podem produzir cargas de contaminação em decorrência de dejetos de animais do setor pecuarista, constituindo cargas difusas de contaminação (CETESB, 2018).

Apesar dos resultados observados indicarem a situação crítica do reservatório no que se refere aos Coliformes Termotolerantes, observou-se uma redução gradual ao longo do tempo, principalmente quando comparado com estudos realizados anteriormente que indicaram cerca de $92.000\text{ NMP}/100\text{mg.L}^{-1}$ do contaminante no manancial (BELLO; GUANDIQUE, 2011).

Figura 20. Parâmetros físico-químicos e biológicos da água no Ipaneminha.



Fonte. O Autor.

6.5 Avaliação do Índice de Qualidade da Água - IQA

O Índice de Qualidade da Água para o reservatório Éden Ferraz entre janeiro de 2016 a dezembro de 2019 está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Índice de Qualidade da Água para o reservatório Éden Ferraz.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Junh	Julh	Agos	Set	Out	Nov	Dez
2016	58	52	58	57	79	79	78	80	67	77	74	88
2017	71	54	58	65	64	70	85	71	86	70	70	74
2018	69	63	62	60	67	60	58	55	73	77	65	63
2019	56	63	61	66	66	62	77	81	78	71	64	63
Classes	Péssima		Ruín		Regular		Boa			Ótima		

Fonte: Elaborado pelo autor.

De modo geral, observou-se que ocorreu uma redução no IQA no reservatório ao longo do período avaliado, pois em 2016 cerca de 50% do período foi classificado com um IQA considerado ótimo, enquanto que em 2017 esse percentual foi para 17%, já em 2018 todo os meses foram classificados com IQA considerado bom, e em 2019 apenas de 8% considerado ótimo. Vale ressaltar que a represa Castelinho que faz parte do sistema Stop-log da represa Éden Ferraz apresentou IQA considerado bom para o ano de 2019, corroborando o valor observado na represa Éden Ferraz para o respectivo mês.

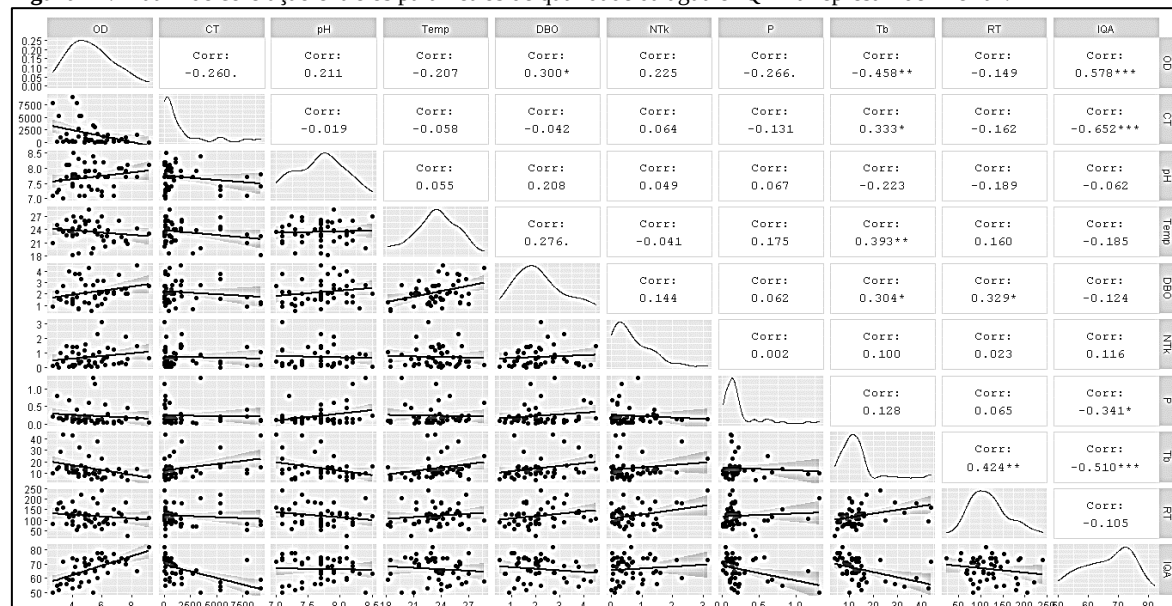
A Figura 21 apresenta a correlação de Spearman (r^2) para os parâmetros de qualidade da água com o IQA para a represa Éden Ferraz, onde a triangular superior apresenta os valores de correlação entre os parâmetros e o IQA, a diagonal principal apresenta os gráficos de densidade das observações para cada variável, e a triangular inferior apresenta as retas de correlação para cada par de variáveis. Observou-se que os parâmetros que apresentaram correlação significativa com o IQA foram os Coliformes Termotolerante (CT) com coeficiente de correlação de -0,65, seguido pelo Oxigênio Dissolvido (OD) com 0,57, e Turbidez (Tb) -0,51 e Fósforo (P) com -0,34.

Os demais parâmetros (pH, NTK, Temp, DBO e RT) apresentaram correlação pouco significativa com o IQA. Além disso, foi observado correlação significativa entre a Tb e OD (-0,45), além dos Resíduos Totais (RT) e Tb (0,42), Tb e Temperatura (Temp) (0,39), Tb e CT (0,33), RT e DBO (0,32), TB e DBO, DBO e OD (0,30).

Vale ressaltar que o coeficiente de correlação de Spearman varia de -1 a +1, sendo que valores positivos mais próximos de +1 significa uma associação positiva quase perfeita, de forma inversa para valores negativos se aproximando de -1. Por outro lado, valores próximos de 0 indica a existência de pouca ou nenhuma associação (ASUERO et al., 2006; SOUSA, 2019). Nesse caso, quanto maior for os valores observados nas

variáveis CT, Tb e P o IQA tende a ser menor, por outro lado, quanto maior for o OD, o IQA tende a aumentar.

Figura 21. Matriz de correlação entre os parâmetros de qualidade da água e IQA na represa Éden Ferraz.



Fonte: Elaborado pelo autor. Correlação significativa a 0,05 (*), Correlação significativa a 0,01 (**), Correlação significativa a 0,001 (***). Legenda: Oxigênio Dissolvido (OD), Coliformes Termotolerantes (CT), Potencial Hidrogênionico (pH), Temperatura (Temp), Demanda bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Fósforo (P), Turbidez (Tb), Resíduo Total (RT), Índice de Qualidade da água (IQA).

Na Tabela 8 está apresentado o Índice de Qualidade da Água entre janeiro de 2016 a dezembro de 2019 para o reservatório Ipaneminha.

Tabela 8. Índice de Qualidade da Água para o reservatório Ipaneminha.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Junh	Julh	Agos	Set	Out	Nov	Dez
2016	72	57	54	66	70	53	71	74	65	64	72	73
2017	74	64	74	64	69	63	75	59	82	60	63	70
2018	74	59	52	55	65	73	74	50	77	73	74	56
2019	69	58	63	71	68	50	78	73	78	60	56	72
Classes	Péssima		Ruim		Regular		Boa			Ótima		

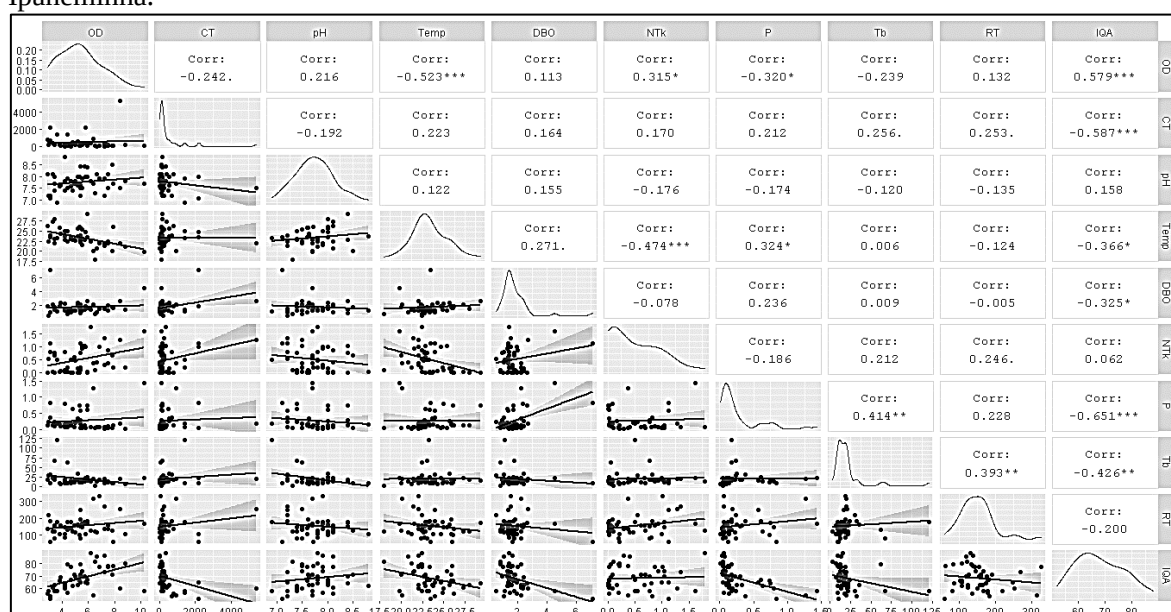
Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como no reservatório Éden Ferraz, observou-se uma redução no IQA do reservatório Ipaneminha. Nesse local, apenas um mês apresentou IQA considerado ótimo (setembro de 2017), os demais valores foram considerados bom, conforme as classes definidas pela CETESB, sendo que em 2018 (agosto) e 2019 (junho) foram observados valores de IQA considerado regular.

Apesar da perda de qualidade observada nos reservatórios Éden Ferraz e Ipaneminha ao longo do período avaliado, o mesmos ainda possuem boa qualidade quando observado a média ao longo do período, assim como a média observada para o IQA de águas interiores da UGRHI 10 nos últimos 5 anos (CETESB, 2018).

A Figura 22 apresenta a correlação de Spearman para os parâmetros de qualidade da água com o IQA para a represa Ipaneminha. Observa-se que os parâmetros que apresentaram correlação significativa com o IQA foram o P com coeficiente de correlação de -0,65, seguido pelo Coliformes Termotolerantes (CT) com -0,58, Oxigênio dissolvido (OD) com 0,57, e Turbidez (Tb) -0,42, Temperatura (Temp) -0,36 e DBO com -0,32. Os demais parâmetros (pH, NTK e RT) apresentaram correlação pouco significativa com o IQA. Além disso, foi observado correlação significativa entre a Temp e o OD (-0,52), NTK e Temp (-0,47), Tb e P (0,41), RT e Tb (0,39), P e OD (-0,32), P e Temp (0,32) e NTK e OD (0,31).

Figura 22. Matriz de correlação entre os parâmetros de qualidade da água e IQA na represa Ipaneminha.



Fonte: Elaborado pelo autor. Correlação significativa a 0,05 (*), Correlação significativa a 0,01 (**), Correlação significativa a 0,001 (***). Legenda: Oxigênio Dissolvido (OD), Coliformes Termotolerantes (CT), Potencial Hidrogênionico (pH), Temperatura (Temp), Demanda bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Fósforo (P), Turbidez (Tb), Resíduo Total (RT), Índice de Qualidade da água (IQA).

Levando em consideração as duas represas avaliadas, observou-se que os parâmetros observados na represa Éden Ferraz apresentou menor correlação com o IQA quando comparado aos observados na represa Ipaneminha, pois na primeira, apenas os parâmetros CT, OD, Tb e P apresentaram correlação significativa, enquanto que na segunda, além desses parâmetros, também foi observado correlação significativa entre a temperatura e DBO com o IQA.

Em ambas as represas foi observada alta correlação entre os Coliformes Termotolerantes com o IQA. Na represa Éden Ferraz foi observado menores concentrações

de CT, enquanto que na Ipaneminha esses valores foram mais expressivos. Isso pode ser explicado uma vez que na bacia do rio Ipaneminha existe maior potencial de geração de efluentes com a ocupação de área urbana mais intensa, bem como o desenvolvimento de atividades agropecuárias, o que de certa forma, também pode explicar os maiores valores observados para o DBO nessa represa.

A alta correlação observada entre Tb e P na represa Ipaneminha podem ser explicada pela ausência de mata ciliar associado ao desenvolvimento de atividade agrícola intensiva na bacia, que propicia o arraste de sedimentos, bem como de macro e micronutrientes, contribuindo para a entrada de partículas de solo na represa, aumentando a turbidez e concentrações de fósforo consequentemente (MALHEIROS et al., 2012).

6.6 Análise de Componentes Principais

A aplicação do teste KMO e de Bartlett permitiu verificar a adequação do conjunto de dados para a aplicação da análise de ACP. Os resultados mostraram que o valor de KMO foi de 0,67, e a significância da esfericidade de Bartlett ($\chi^2 = 422,81$, $df=45$, $p < 0,001$), atendendo as exigência para a análise dos dados por ACP na represa Ipaneminha. Do mesmo modo, para o reservatório Éden Ferraz, observou-se que o teste de KMO apresentou valor de 0,50, com teste de Bartlett ($\chi^2 = 110,01$, $df=45$, $p < 0,001$) indicando que o conjunto de dados atende os critérios para a análise fatorial.

A Tabela 9 apresenta os resultados da Análise de Componentes Principais-ACP para a represa Ipaneminha e Éden Ferraz (a pouca quantidade de dados inviabilizou a análise na represa Castelinho) entre 2016 a 2019, com ênfase aos CP com cargas superiores a 0,50. Nesse estudo apenas a contribuição das três CP foram apresentados pois em ambos os anos a somatória representam mais de 70% da variância total dos dados avaliados, sendo suficiente para análise de ACP, conforme descrito por Kaiser (1958).

Na represa Éden Ferraz as três CP representaram 78,43% das variância total das variáveis originais em 2016, sendo que na CP1 corresponde a 40,84% representado por Fósforo (0,89), Coliformes Termotolerantes (0,85), Oxigênio Dissolvido (-0,77), pH (-0,74), precipitação (0,63) e temperatura (0,54). Na CP2, 23,17% da variância foi representada pela Turbidez (-0,80), seguido pelos Resíduos Totais (-0,76) e DBO (0,69), e por fim, na CP3 observou-se uma varância de 14,42% representada pela temperatura (0,78) seguido pela precipitação (0,64).

Em 2017, cerca de 72,77% da variância total das variáveis originais foram explicadas pelas três CP, sendo que na CP1 com 34,70% da variância sendo representada pelo Oxigênio Dissolvido (-0,95), seguido pelo pH (-0,77), temperatura (0,76), turbidez (0,67) e fósforo (0,64). Na CP2 21,03% da variância foi representada pela DBO (0,86) e fósforo (-0,54), e na CP3, cerca de 17,04% foi explicado pelos Resíduos Totais (0,78), Turbidez (-0,62) e NTK (0,51).

Para 2018, cerca de 72,01% da variância total da variáveis originais foi explicada pelas três CP, sendo que na CP1 corresponde 43,05% da variância sendo representada pelo Oxigênio dissolvido (0,90), seguido da temperatura (-0,80), NTK e turbidez (0,75), precipitação (-0,65), DBO (0,63), fósforo (0,55) e Resíduos Totais (0,50). Na CP2, 17,52% da variância foi explicada pelos Resíduos Totais (0,70), fósforo (-0,63) e DBO (-0,60), e na CP3, 11,44% da variância foi explicada pelo pH (0,55), precipitação (0,51) e Coliformes Termotolerantes (0,50).

Em 2019, 74,49% das variância total da variáveis originais foi explicada pelas três CP, sendo 43,98% na CP1 representada pelo pH (0,91), seguido pela DBO (0,85), precipitação (0,84), Temperatura (0,83), turbidez (0,76) e Oxigênio Dissolvido (-0,56). Na CP2, 16,06% da variância foi explicada pelo NTK (0,87) e OD (0,72), e na CP3, 14,45% da variância foi explicada pelo Fósforo (0,72) e Coliformes Termotolerantes (0,56).

Em todos os anos avaliados, o Oxigênio Dissolvido apresentou variância significativa na primeira componente, o mesmo foi observado para a temperatura, que apesar de ter mostrado baixo coeficiente de correlação de *Spearman* (r^2 inferior a 0,2), contribuiu com a variância na primeira componente em todos os anos. Da mesma forma foi observado para o DBO, com variância significativa em todos os anos na primeira CP (com exceção em 2017). Em relação ao Coliforme Termotolerante, apesar de ter indicado alto coeficiente de correlação de *Spearman* (r^2 superior a -0,6), esse parâmetro apresentou contribuição apenas em 2016, seguido por nenhuma contribuição na variância em 2017, e baixa em 2018 e 2019 ambos na terceira CP.

Vale ressaltar a influência exercida pela precipitação na região. Para o ano de 2017 observou-se a ocorrência dos maiores índices (1.500 mm), entretanto, não foi observado contribuição significativa na variância em nenhuma das CP. Por outro lado, em 2016 e 2019 que apresentaram índices dentro da média histórica (1.300 mm) bem como o ano de 2018 com índices inferiores (1.100 mm) foi observado contribuição significativa da variância na primeira CP.

Tabela 9. Fatores encontrados e o percentual de explicação das amostras para cada ano avaliado.

Tabela 5: Fatores encontrados e o percentual de exploração das amostras para cada ano avaliado.												
	2016			2017			2018			2019		
	-----Éden Ferraz-----											
Parâmetros	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
Oxigênio Dissolvido	-0,77	0,44	-0,13	-0,95	0,17	0,16	0,90	0,03	0,19	-0,56	0,72	0,33
Coliformes Termotolerantes	0,85	0,10	0,38	0,26	0,18	0,32	0,42	0,23	-0,50	0,48	-0,12	-0,56
pH	-0,74	0,38	0,30	-0,77	0,05	0,24	-0,43	-0,26	0,55	0,91	0,16	0,24
Temperatura	0,54	-0,18	0,78	0,76	0,33	0,40	-0,80	-0,11	-0,46	0,83	0,20	0,29
DBO	0,72	0,69	0,04	-0,15	0,86	-0,29	0,63	-0,60	0,05	0,85	0,39	0,06
NTK	0,23	0,42	-0,26	0,49	0,46	0,51	0,75	0,39	0,13	0,30	0,87	-0,33
Fósforo	0,89	0,31	-0,07	0,64	-0,54	-0,08	0,55	-0,63	0,20	0,30	-0,02	0,72
Turbidez	0,33	-0,80	-0,23	0,67	0,11	-0,62	0,75	0,11	-0,10	0,76	0,29	-0,46
Resíduos Totais	-0,23	-0,76	0,20	0,06	-0,45	0,78	0,50	0,70	0,13	0,40	-0,05	-0,20
Precipitação	0,63	-0,22	-0,64	0,48	-0,08	0,15	-0,65	0,45	0,51	0,84	-0,11	0,05
Variância (%)	40,84	23,17	14,42	34,70	21,03	17,04	43,05	17,52	11,44	43,98	16,06	14,45
	-----Ipaneminha-----											
Oxigênio Dissolvido	-0,83	0,43	0,05	-0,87	0,16	0,20	-0,53	0,79	-0,12	0,26	0,32	-0,74
Coliformes Termotolerantes	0,44	-0,58	0,27	0,36	-0,85	0,11	0,21	-0,33	0,71	-0,47	0,11	0,78
pH	-0,84	-0,03	0,15	-0,30	-0,17	0,52	-0,78	-0,20	0,30	0,74	-0,24	-0,13
Temperatura	0,55	0,40	0,46	0,01	0,78	0,25	0,57	-0,61	-0,35	0,84	-0,22	0,02
DBO	0,22	0,78	0,41	-0,45	0,24	0,64	-0,50	0,01	0,39	0,87	0,10	0,09
NTK	-0,26	-0,02	0,88	0,61	0,14	0,58	0,23	0,91	0,12	0,30	0,65	0,31
Fósforo	0,12	-0,43	0,80	-0,22	0,06	-0,80	-0,63	-0,40	0,38	0,48	-0,47	0,55
Turbidez	0,83	-0,23	-0,19	0,69	-0,18	0,21	0,79	0,05	0,15	0,67	0,54	0,42
Resíduos Totais	0,65	0,65	-0,09	0,37	0,70	-0,26	0,57	0,30	0,67	0,48	0,67	-0,11
Precipitação	0,88	-0,03	0,07	0,60	0,50	-0,01	0,74	0,01	0,18	0,72	-0,57	0,03
Variância (%)	39,62	20,33	19,75	29,07	22,71	18,94	35,19	22,57	15,75	38,79	19,78	17,83

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na represa Ipaneminha as três CP representaram 79,70% da variância total das variáveis originais em 2016, sendo que a CP1 corresponde a 49,62% representado pela precipitação (0,88), pH (-0,84), turbidez (0,83), Oxigênio Dissolvido (-0,83), Resíduos Totais (0,65) e temperatura (0,55). Na CP2, 20,33% da variância foi representada pela DBO (0,78), Resíduos Totais (0,65) e Coliformes termotolerantes (-0,58), e por fim, na CP3 observou-se uma variância de 19,75% representada pelo NTK (0,88) e fósforo (0,80).

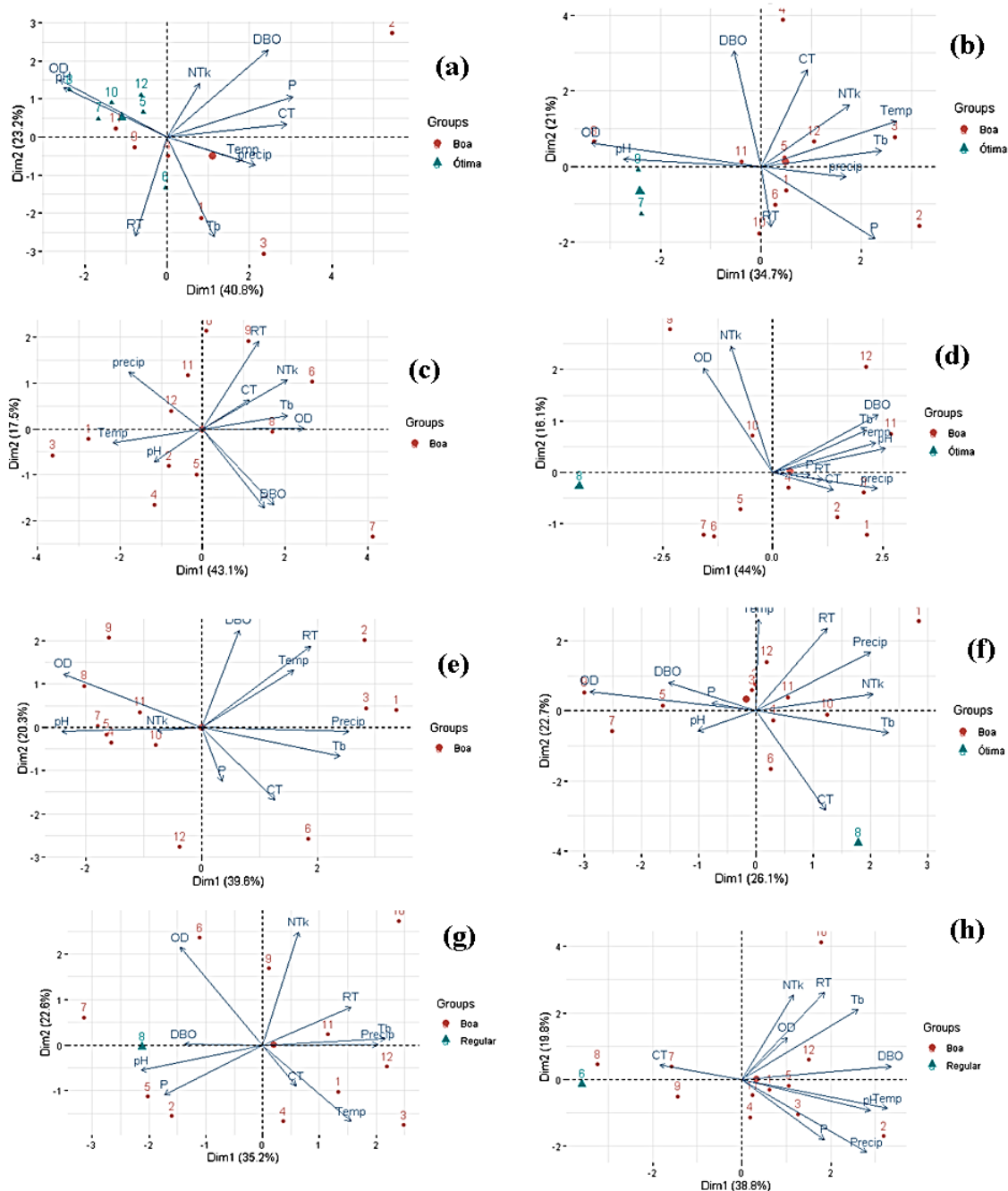
Em 2017, cerca de 70,72% da variância total das variáveis originais foram explicadas pelas três CP, sendo que na CP1 com 29,07% da variância sendo representada pelo Oxigênio Dissolvido (-0,87), seguido pela turbidez (0,69), NTK (0,61), precipitação (0,60). Na CP2 22,71% da variância foi representada pelos Coliformes Termotolerantes (-0,85), temperatura (0,78), Resíduos Totais (0,70) e precipitação (0,50), e na CP3, cerca de 18,94% foi explicado pelo fósforo (0,80), DBO (0,64) e NTK (0,58).

Para 2018, cerca de 73,51% da variância total das variáveis originais foi explicada pelas três CP, sendo que na CP1 corresponde 35,19% da variância sendo representada pela turbidez (0,79), seguido do pH (-0,78), precipitação (0,74), fósforo (-0,63), temperatura e Resíduos Totais com (0,57), e Oxigênio Dissolvido (-0,53), DBO (-0,50). Na CP2, 22,57% da variância foi explicada pelo NTK (0,91), Oxigênio Dissolvido (0,79), temperatura (-0,61), e na CP3, 15,75% da variância foi explicada pelo Coliformes Termotolerantes (0,71) e Resíduos Totais (0,67).

Em 2019, 76,40% da variância total das variáveis originais foi explicada pelas três CP, sendo 38,79% da CP1 representada pelo DBO (0,87), seguido pela temperatura (0,84), pH (0,74), precipitação (0,72), turbidez (0,67). Na CP2, 19,78% da variância foi explicada pelos Resíduos Totais (0,67), seguido pelo NTK (0,65), precipitação (-0,57) e turbidez (0,54), e na CP3, 17,83% da variância foi explicada pelos Coliformes Termotolerantes (0,78), Oxigênio Dissolvido (0,74) e fósforo (0,55).

A Figura 23 apresenta os gráficos de plano fatorial entre os parâmetros de qualidade da água em função do IQA na represa Éden Ferraz (Figura 23, a, b, c, d), e Ipaneminha (Figura 23, e, f, g, h) para os meses entre 2016 a 2019, com as classes regular, boa e ótima. A leitura gráfica possibilita identificar os fatores apresentados na Tabela 9, além de contribuições individuais dos parâmetros em cada mês para o avaliado.

Figura 23. Gráficos de plano fatorial entre os parâmetros de qualidade da água em função do IQA.



Fonte: Elaborado pelo autor.*Éden Ferraz: 2016(a); 2017(b); 2018(c); 2019(d); Ipaneminha: 2016(e); 2017(f); 2018(g); 2019(h).

De modo geral, observa-se diferentes contribuições em cada componente ao longo do período avaliado, o que indica alterações na carga de contaminantes geradas nas sub-bacias do rio Pirajibu- Mirim e Ipanema que são influenciadas pela deposição de contaminantes domésticos e industriais, dinâmica de uso e ocupação do solo e índices de precipitação.

Em relação ao Oxigênio Dissolvido, observou-se contribuição significativa na CP1 em todos os anos avaliados (valores variando entre 2,9 mg.L⁻¹ a 10,2 mg.L⁻¹ , com média

de 5,39 mg.L⁻¹ na represa Ipaneminha e 2,7 mg.L⁻¹ a 9,1 mg.L⁻¹, com média de 5,24 mg.L⁻¹ na represa Éden Ferraz). Apesar de que em alguns meses foi observado valores de OD dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA, os valores médios observados estão abaixo dos considerados ideais para o desenvolvimento de vida aquática, pois segundo a *Environmental Protection Agency of United State* (USEPA), os valores de OD entre 0 a 2 mg.L⁻¹ são considerados insuficiente para manter a vida aquática, de 2 a 4 mg.L⁻¹ apenas algumas espécies podem sobreviver, de 4 a 7 mg L⁻¹ é aceitável para peixes de águas quentes, e de 7 a 11 mg.L⁻¹ corresponde ao nível ideal de OD para o desenvolvimento de vida aquática em águas frias (USEPA, 1986).

Observou-se que o parâmetro Coliforme Termotolerante apresentou alta contribuição na CP1 em 2016, enquanto que em 2017 não apresentou contribuição em nenhuma CP, e em 2018 e 2019 baixa contribuição na CP3 para o Éden Ferraz, enquanto que na represa Ipaneminha foi observado contribuição significativa apenas na CP2 (2016 e 2017) e CP3 (2018 e 2019). Segundo dados da CETESB (2020), o município de Sorocaba realiza a coleta de 99% dos efluentes urbanos e faz o tratamento de 97%, porém não se sabe a situação dos efluentes gerados no perímetro rural que também pode contribuir com a contaminação do manancial, caso o mesmo seja lançado sem tratamento prévio. A qualidade da água na sub-bacia do Pirajibu- Mirim onde se localiza a represa Ipaneminha, é influenciado pelos passivos ambientais gerados nos municípios de Sorocaba, Votorantim e Salto de Pirapora.

Apesar de Sorocaba realizar a coleta de 99% do esgoto, com tratamento de 97%, Votorantim coletar e tratar 99%, e Salto de Pirapora coletar 93% e tratar 100% dos efluentes gerados, a bacia do Ipaneminha apresenta maior área antropizada, principalmente com área residencial e atividade agropecuária, o que pode significar maior carga de contaminante no manancial. Além do mais, o mapeamento do uso e ocupação do solo permitiu identificar que existe o uso irregular em áreas de preservação permanente nas bacias hidrográficas, bem como no entorno das represas Éden Ferraz, Castelinho e Ipaneminha, onde existe a prática de atividade pecuária que pode ser fonte de contaminação por excrementos animais.

Observou-se contribuição significativa para o parâmetro fósforo no ano de 2016, 2017 e 2018 na CP1, e 2017 e 2018 na CP2, e 2019 na CP3 na represa Éden Ferraz, enquanto que na represa Ipaneminha essa contribuição foi observada na CP3 em 2016, 2017 e 2019, e na CP1 em 2018. Esse parâmetro possui origem natural através da dissolução de compostos do solo e da decomposição da matéria orgânica, mas também de

origem antrópica através do despejo de esgotamento doméstico e industrial sem tratamento, bem como de excrementos animais ou provenientes de fertilizantes agrícolas (ESTEVEES, 2011).

Vale ressaltar que concentrações de fósforo acima de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ em ambientes lênticos ocasionam problemas de eutrofização (VON SPERLING, 2014). Nesse estudo, observou-se que na maioria dos meses, os valores ultrapassam os limites estabelecidos pela legislação ($0,05 \text{ mg.L}^{-1}$), além de apresentarem valores superiores a $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ em dois períodos do ano na represa Éden Ferraz e Ipaneminha, o que torna preocupante, pois em levantamento de campo foi possível identificar a presença de macrófitas em ambas represas. Segundo Tundisi (2003), o aumento das concentrações de fósforo e nitrogênio são as principais causas do rápido crescimento de algas e crescimento de plantas aquáticas, causando a eutrofização.

O aumento da DBO está estritamente relacionado ao aumento da carga de matéria orgânica na água que ocorre principalmente em decorrência do lançamento de esgoto *in natura*, resíduos urbanos e agrícolas (VESILIND, 2011). Na represa Éden Ferraz, observou-se contribuição significativa da DBO na variância dos dados em 2016, 2018 e 2019 na CP1, e na CP2 em 2016, 2017 e 2018, já na represa Ipaneminha, observou-se contribuição significativa na CP1 em 2018 e 2019, e na CP2 em 2016 e na CP3 em 2018.

Para a turbidez, observou-se contribuição significativa na CP1 nos anos de 2017, 2018 e 2019, enquanto que na CP2 foi observado no ano de 2016 na represa Éden Ferraz, já na represa Ipaneminha foi observado contribuição significativa na CP1 em todos os anos. Com origem natural, a turbidez pode ser proveniente da decomposição de rochas bem como a partir de algas e outros microrganismos, enquanto que de forma antrópica, pode ser influenciada pelo despejo de efluentes domésticos e industriais, e em função da erosão do solo (VANZELA et al., 2010; ESTEVEES, 2011). Na área de estudo, além dos passivos ambientais decorrentes das atividades urbana, a erosão na margens de rios em função da inexistência de mata ciliares pode ser um dos principais responsáveis.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste estudo visou compreender os fatores que afetam a qualidade e quantidade da água em represas utilizadas para abastecimento público no município de Sorocaba. Foi avaliado o uso e ocupação do solo, precipitação local, parâmetros físico-químicos e biológico entre os anos de 2016 a 2019, além de verificar o arraste de sedimentos no período seco e chuvoso nos mananciais.

Os resultados mostraram que a precipitação acumulada entre 2016 e 2019 apresentaram valores médios dentro da série histórica para a região (1.300 mm), enquanto que em 2018 observou-se taxas de precipitação inferiores (1.030 mm) e em 2017 com valores acumulados acima da média (1.500 mm), dessa forma, sendo a variabilidade interanual maior que a variabilidade espacial, pois a distribuição espacial da precipitação em ambas as sub-bacias foram praticamente foram semelhantes.

O mapeamento de uso e ocupação do solo mostrou que a sub-bacia do rio Ipaneminha possui maior antropização que a sub-bacia do rio Pirajibu- Mirim, além do mais, foi possível identificar que predomina o desenvolvimento de atividade agropecuária caracterizado pelo sistema misto (plantio de lavoura por um período seguido da substituição por pastagem), em destaque para a sub-bacia do rio Ipaneminha, onde esse sistema constituído por agricultura/pastagem predominam.

Levando em consideração ao fator montante/jusante representado por uma distância de 3,40 km entre o sistema stop-log constituído pelas represas Castelinho e Éden Ferraz na bacia do rio Pirajibu- Mirim, observou-se uma redução de cerca de 40% dos sedimentos.

Além do mais, observou-se que no período chuvoso a sub-bacia do Pirajibu- Mirim apresentou maior potencial de arraste de sedimentos que a sub-bacia do rio Ipanema, uma vez que o aporte de Sólidos Totais na represa Castelinho foi cerca de 1,70% maior que o observado na represa Ipaneminha. Já no período seco, esse comportamento se inverte, com cerca de 2,77% maior na represa Ipaneminha. Esse comportamento pode ser explicado uma vez que a sub-bacia do rio Pirajibu- Mirim possui maior declividade, nesse caso, no período chuvoso ocorre maior arraste de sedimentos por escoamento superficial e erosão fluvial, já no período seco, a maior antropização da sub-bacia do rio Ipanema constituída pelo sistema misto (agricultura/pastagem) pode ser o responsável.

Em relação aos parâmetros de qualidade da água em ambas represas, observou-se uma redução na qualidade ao longo do período avaliado. Em geral, observou-se um aumento da temperatura, Resíduos Totais, turbidez, fósforo e Coliformes Termotolerantes ao longo do tempo, o que representou uma diminuição no Índice de Qualidade da Água em

ambas represas entre 2016 a 2019, fato observado principalmente na represa Ipaneminha, justamente na sub-bacia com maior percentual de áreas agrícolas e urbana.

Análise de Componentes Principais possibilitou indicar quais fatores estão contribuindo com a perda da qualidade da água nas represas. De modo geral, os resultados mostraram que apenas três fatores possibilitaram explicar mais de 70% da variância dos dados, e os fatores com maior contribuição refere-se a poluentes relacionados a contaminação pela deposição de contaminantes domésticos e industriais (Coliformes Termotolerantes, fósforo, DBO e NTK), bem como relacionados a dinâmica de uso e ocupação do solo nas sub-bacias (Turbidez e Resíduos Totais).

Diante do exposto, para manutenção de boas condições ecológicas do ambiente aquático, e conseqüentemente, a manutenção da qualidade da água para o abastecimento público nos mananciais, faz-se necessário reduzir o fluxo de nutrientes para o rio, principalmente os provenientes da produção de áreas agrícolas e industriais que são atividades expressivas, principalmente na sub-bacia do rio Ipaneminha.

Nesse caso, a principal ação a ser adotada com vista em assegurar a qualidade dos mananciais consiste no desenvolvimento de práticas agrícolas adequadas no contexto das bacias hidrográficas, além de assegurar o saneamento rural, bem como a recomposição das áreas de preservação permanente ao longo dos corpos hídricos e o estabelecimento de faixas de proteção ambiental no entono das represas, conforme estabelecido pela legislação federal.

Para o desenvolvimento de estudos futuros, sugere-se o monitoramento dos parâmetros de qualidade da água nas represas e ao longo dos mananciais, uma vez que irá possibilitar compreender o percentual da influência dos fatores fisiográficos em cada ponto avaliado, e sua influência na qualidade da água nas represas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AIRES, U. R. V.; NETO, J. O. M.; MELLO C. R. Estimativas de precipitação derivadas do satélite TRMM para a bacia hidrográfica do rio Paraopeba, MG. **Revista Scientia Agraria**. v. 17, n. 2. p. 57-66, 2016.

ALÉSIO, M.; PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. Produção de Sedimentos em Diferentes Escalas Espaço-Temporais de Duas Pequenas Bacias e um Lisímetro no Bioma Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 17 n.4. p. 49-64. 2012.

ALMEIDA, C. T.; DELGADO, R. C.; JUNIOR, J. F. O.; GOIS, G.; CAVALCANTI, A. S. Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. **Floresta e Ambiente**. v. 22 n. 3, p. 279-286, 2015.

AMORIM, D. G.; CAVALCANTE, P. R. S.; SOARES, L. S.; AMORIM, P. E. C. Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 251-259, 2017.

ANA - Agência Nacional De Águas. Indicadores de qualidade - Índice de qualidade das águas (IQA). Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indiceaguas.aspx>>. Acesso em: 25 jan. de 2020.

ANA- Agência Nacional De Água. Guia Nacional de coletas e preservação de amostras, água, sedimentos, comunidade aquáticas e efluentes líquidos. Brasília, DF, 2011 Disponível em <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf> acessado em 24/04/03/2020> Acesso 20 de jan. 2020.

ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A. G.; ALMEIDA, F. T.; BONGIOVANI M. C.; SCHNEIDER, R. M. Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico do Rio Caiabi, MT. **Revista Ambiente e Água**. v. 11. p 162-175. n. 1. 2016.

ASUERO, A. G.; SAYAGO, A.; GONZÁLES, A. G. The correlation Coefficient: An Overview. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. v. 36. p. 41–59. 2006.

BELLO, F. H.; GUANDIQUE, M. E. Diagnóstico Ambiental do meio aquático Rio Ipanema, Sorocaba/SP. **Revista Holos Environment**, v.11, n. 2, p.94-105. 2011.

BERNARDI, E. C. S.; PANZIERA, A. G.; BURIOL, G. A.; SWAROWSKY, A. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Revista Disciplinarum Scientia**. Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012.

BERNARDI, I. A implantação da APA de Itupararanga e seus reflexos nas políticas públicas e na conservação dos recursos naturais. **Dissertação** (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) 2011.

BERTONI, J.; NETO, J. B. F. L. Conservação do solo. – São Paulo: Ícone, 6ª Ed, p. 45-61. 2008.

BRAGA, C. C.; ROCHA, I. R.; CABRAL, J. B. P. Análise da descarga sólida em suspensão dos afluentes do Reservatório da UHE barra dos coqueiros – GO. **Revista GEONORTE**, Edição Especial, v. 3, n. 4, p. 495-505, 2012.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos. Diário Oficial da União, seção 1, Brasília –DF.

BRASIL. **Resolução CONAMA 357** de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, seção 1. Brasília, DF. 2005.

BRIGHENTI, T. M.; BONUMÁ, N. B.; CHAFFE, P. L. B. Calibração hierárquica do modelo swat em uma bacia hidrográfica Catarinense. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1. p. 53 – 64, 2016.

CABRAL, J. B. P. Estudo do processo de assoreamento em reservatórios. Variabilidade da produção de sedimentos no norte da Etiópia: uma análise quantitativa de seus fatores de controle. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 6, p. 62-69. 2005.

CABRAL, J. B. P.; FERNANDES, L. A.; BECEGATO, V. A.; SILVA; S. A. Concentração de sedimentos em suspensão: Reservatório de Cachoeira Dourada – GO/MG, **Revista de Geografia da UFC**, n. 16, 2009.

CARVALHO, N. O Hidrossedimentologia pática.Sedimentologia. 2º ed., **Revista Atual. e ampliada** - Rio de Janeiro:Interciência. p. 6-599. 2008.

CETESB - Companhia Ambinetal do Estado de São Paulo. Fundamento do controle de poluição das águas. São Paulo, Novembro de 2018. 228p.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. São Paulo Editora: Edgard Blucher, v. 1. Ed, 1. 1981, 160p.

CIESLA, M.; BARTOSZEK, L.; GRUCA-ROKOSZ, R. Characteristics and origin of suspendend manter in a small reservoir in Poland. **Ecohydrology & hydrobiology**, p.73-82. 2019.

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). **Norma técnica 013 São Paulo**. 1999. Disponível <<https://www3.sabesp.com.br/normastecnicas/>>. Acesso em 20 de setembro de 2019.

Compania Ambinetal do Estado de São Paulo – CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de. Série Relatórios**. Relatórios. São Paulo: CETESB, 2018. Disponível em:<<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2019/10/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-SP-2018.pdf>> Acesso em: 20 de julho de 2020.

Compania Ambinetal do Estado de São Paulo – CETESB. São Paulo: CETESB, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/?s=esgoto+m%C3%A9dio+tiete> Acesso em: 20 de outubro de 2020.4

CORRÊA, C. J. P.; CRISTINA, T. K.; FRANCO, F. S.; Análise hidroambiental da microbacia do Pirajibu-Mirim, Sorocaba, SP, Brasil. **Revista Ambiente Água**. v.11, n.4, p. 943-953. 2016.

ESTEVEZ, F. A. **Fundamentos da limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 771p.

FERRAZ, F. F.B. Dinamica dos sedimentos em suspensão na bacia do Rio Piracicaba. **Tese** Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2002.

FERREIRA, K. C. D.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C.; SILVA, M. G. S. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro **Revista Ciência Agrômica**. v. 46 n. 2. p. 277-286. 2015.

FINKLER, N. R.; PERESIN, D.; COCCONI, J.; BORTOLIN, T. A.; RECH, A.; SCHNEIDER, V. E.; Qualidade da água superficial por meio de análise do componente **Ambiente e Água**, v.10, n. 4. p. 782-792. 2015.

FINKLER, N. R.; PERESIN, D.; COCCONI, J.; BORTOLIN, T. A.; RECH, A.; SCHNEIDER, V. E.; Qualidade da água superficial por meio de análise do componente **Ambiente e Água** v.10 no.4. 2015.

FRASCARELI, D.; BEGHELLI, F. G. S.; CARDOSO-SILVA, S.; MOSCHINI CARLOS, V. Heterogeneidade espacial e temporal de variáveis limnológicas no reservatório de Itupararanga associadas com o uso do solo na Bacia do Alto Sorocaba-SP. **Ambiente e Água**. v. 10, n. 4, p. 770-781. 2015.

G. JORDAN.; A. V. ROMPAEY.; P. SZILASSI.; G. CSILLAG.; C. MANNAERTS.; T. WOLDAL.; Historical land use changes and their impact on sediment fluxes in the Balaton basin (Hungary). *Revista agriculture, Ecosystems & Environment*. v. 108. p.119-133.

GLORIA, L. P.; HORN, B. C. HILGEMANN, M.; avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do índice de qualidade da água - IQA. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, n. 1, 2017.

GONÇALVES, S. L.; FRANCHINI, J. C. Integração lavoura pecuaría . Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, 2007.

HAIR, J. F., ANDERSON, R. E., TATHAM, R. L., & BLACK, W. C. 1998. Factor analysis. In J. F. Hair, R. E. Anderson, R. L. Tatham, & W. C. Black (Eds.). **Multivariate data analysis**, 5th ed. 87–138p.

HALLAK, R.; FILHO, A. J. P. Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v. 26, n. 4, p. 591 – 608, 2011.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, Aplicação e Interpretação. **E&S Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016.

IAC - Instituto Agrônomo de Campinas. **Mapa pedológico do estado de São Paulo**. Disponível em <<http://www.iac.sp.gov.br/solosspl/>> Acesso em 27/03/2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatísticas. **Manual Técnico de Pedologia**, 2º ed. 2007. disponível em: < <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>> Acesso em: 5 set. 2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Estudo mostra que diarreia, dengue e leptospirose crescem em cidades com saneamento básico precário**. 2017. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/ranking-do-saneamento-das-100-maiores-cidades-2017>>. Acesso em: 5 set. 2019.

KAISER. H.F. The Varimax criterion for analytic rotation in fator analysis, **Psychometrika**- v. 23 n.3. p186-200. 1958.

LIÉBAULT, F.; GOMEZ, B.; PAGE, MIKE, M.; PEACOCK, D.; RICHARD, D.; TROTTER, C. M.; Land- use change, sediment production and channel reponse in upland regions. **River Research and Applications** v. 21, Ed. 7, p. 739-756. 2005.

LIMA, R. S.; ALVES, J. P. H. Alves Avaliação da qualidade da água dos reservatórios localizados nas bacias hidrográficas dos rios Piauí – Real, utilizando o índice de qualidade da água (IQA). **Scientia Plena**. v. 13, n. 13, p 1-10. 2017.

MACEDO, N. M.; COE, M. T.; DEFRIES, R.; URIARTE, M. BRANDO, P. M.; NEIL, C.; WALKER, W. Land Use- Oriented Stream Warming in southeast Amazon. **The Royal Society**. Ed. 1619, v. 368, 2013.

MALHEIROS, C. H.; HARDOIM, E. L.; LIMA, Z. M.; AMORIM, R. S. S. Qualidade da água de uma represa localizada em área agrícola (Campo Verde, MT, Brasil). **Ambiente e Água**, v. 7, n. 2, p. 245-262, 2012.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 4, p. 793-804. 2011.

MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B.; SOUZA, W. F. L.; OLIVEIRA, E. N. Aporte de material em suspensão no baixo rio são Francisco (se/al), em diferentes condições hidrológicas. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**. Ed. 15. p. 42-53. 2011.

MENESES, B. M.; R. REIS, M. J.; VALE.; R. SARAIVA. Changens in land use and cover in the Zêzere basin (Portugal) implicatinos on whater quality. **Science of The Total Environment**. v. 527 – 528, p. 439-447. 2015.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto. Editora da UNB. 276p. 2012.

MORETTO, D. L.; PANTA, R. E.; COSTA, A. B.; LOBO, E. A.; Calibração do índice de qualidade da água (IQA) com base na Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Revista Acta Limnológica Brasiliensia**. v. 24, n. 1, p. 29-42 2012.

National Aeronautics and Space Administration- NASA. **Dados GPM – Giovanni**. Disponível em: <<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>>, acessado em 25 de junho de 2020.

NATIONAL SANITATION FOUNDATION – NSF. **Consumer Information: Water Quality Index (WQI)**. Disponível em: < http://www.nsf.org/consumer/earth_day/wqi.as> Acesso em: 25/02/2020.

NEILL, C.; COE, M. T.; RISKIN, S. H.; KRUSCHE, A.V.; ELSENBEER, H.; MACEDO, M. N.; MCHORNEY, R.; LEFEBVRE, P.; DAVIDSON, E. A.; SCHEFFLER, R.; MICHELA, A.; FIGUEIRA, S.; PORDER, S.; DEEGAN, L. A. River basin responses to the expansion and intensification of soybean farmland in the Amazon. **The Royal Society**. v. 368. Ed. 1619. 2013.

NELSON, E.; BOOTH, D. B. Sediment sources in an urban mixed-use whaterd. **Journal of hydrology**. v. 264, Ed.4, p. 51-68. 2002.

NETO, J. T. OLIVEIRA, N. L. F.; FREITAS, A. P. A.; SANTOS, J. A. N. Utilização do valor agregado como ferramenta de gestão na construção civil: uma análise quantitativa. **Revista Ambiente Construido**. v.18, no. 4. 2018.

NICOLETE, D. A. P.; ROMAGNOLI, I. ; ZIMBACK, C. R. L. . AVALIAÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA OBTIDOS PELA CONSTELAÇÃO GPM PARA A BACIA DO RIO TIETÊ -SP.. In: XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2017, Rio de Janeiro. Anais XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2017. p. 1-4.

NOGUEIRA, P. F.; CABRAL, J. B. P.; Análise da concentração dos sólidos em suspensão, turbidez e TDS nos principais afluentes do reservatório da UHE barra dos Coqueiros-GO. **Revista Geografia Física**, v. 3 n. 6, p 484- 494.2012.

NOGUEIRA, P. F.; CABRAL, J. B. P.; OLIVEIRA, S. F. Analise da concentração dos sólidos em suspensão, turbidez e tds nos principais afluentes do reservatório da uhe barra dos coqueiros-go. **Revista GEONORTE**, v. 3, n. 4, p. 485-494, 2012.

OLIVEIRA, C. N.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semiárido baiano. Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Salitre. **Química Nova**, v. 33, n. 5, p. 1059-1066, 2010.

PEDRAZZI, F. J. M.; CONCEIÇÃO, F. T.; SARDINHA, D.; CARLOS, V. M.; POMPEO, M. Avaliação da Qualidade da Água no Reservatório de Itupararanga, Bacia do Alto Sorocaba (SP) São Paulo. **Revista Geociências**, v. 33, n. 1, p.26-38, 2014.

PEDRAZZI, F. J. M.; CONCEIÇÃO, F. T.; SARDINHA, D. S.; MOSCHINI-CARLOS, V.; POMPEO, M. Spatial and temporal quality of water in the Itupararanga Reservoir, Alto

Sorocaba Basin (SP), Brazil. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 5, p. 64- 71, 2013.

PINTO, E.; Geopolítica da água. **Revista Geopolítica**, v. 8, n. 1, p. 19 - 32. 2017.

PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. Gestão de recursos hídricos em tempos de crise. Porto Alegre: Artmed, 240p. 2016.

RENCHEER, A. **Methods of multivariate analysis**. New York: John Wiley & Son, 738 p. 2002.

ROSA, A. H.; SILVA, A. A. M. J.; MELO, C. A.; MOSCHINI-CARLOS, V.; GUANDIQUE, M. E. G.; FRACETO, L. F.; LOURENÇO, R. W. Diagnóstico ambiental e avaliação de uso e ocupação do solo visando a sustentabilidade da represa de Itupararanga, importante área da bacia do médio tietê. In: **Ecologia de reservatórios e interfaces**. POMPEO et al. (Org.). São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015. p. 212-231.

Sales, W. B.; Tunala, J. F.; Vasco, J. F. M.; Ravazzani, E. D. A.; Caveião, C. (2015). Ocorrência de Coliformes Totais e Termotolerantes em pastéis fritos vendidos em bares no centro de Curitiba-PR. **DEMETRA**. v. 10. n. 1. p. 77-85. 2015.

SANTOS, M. E. P.; MORAES, L. R. S.; ROSSI, R. A. Água como direito e como mercadoria: os desafios da política. **Bahia Analise & Dados**, v. 23, p. 437-459, 2013.

SANTOS, M. L.; MORAIS, E. S.; Produção de sedimentos em bacia hidrográfica de pequena ordem: uso de modelos matemáticos, bacia do Ribeirão Maringá, Paraná- Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 13. n. 2. 2012.

SANTOS, R. C. L.; LIMA, A. S.; CAVALCANTI, E. B.; MELO, C. M.; MARQUES, M. N. Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 33-46, 2018.

SANTOS, T. C. C.; ANTUNES, M. A. H.; SEOANE, J. C. S.; SOUSA, G. M. Comparação de modelos de correção atmosférica para imagem worldview-2. **Brazilian Journal of Cartography**. v. 68, n. 6, p. 229-240, 2016.

São Paulo (Estado). Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. Coordenadoria de Recursos Hídricos. Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH): 2012/2015. São Paulo: SSRH/CRHi, 2013. 210 p. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/planoestadualderecursososhidricos>>. Acesso em: 24 jan. 2020.

SCHARRÓN, C. E. R.; MACDONALD, L. H.; Measurement and prediction of natural and anthropogenic sediment sources, St. John, U.S. Virgin Islands. **CATENA**. v. 71. Ed. 2. p. 191-370. 2007.

Secretaria de Meio Ambiente- SEMA. **Plano Diretor da Ambiental de Sorocaba**. v. 1, 2011.

Serviço Autônomo de Água e Esgoto (Saae) <<https://www.saaesorocaba.com.br/>> Acesso em: 12 mar. 2020.

SHI PENG, ZHANG YAN, ZHANBI LI, LI PENG, GUOCE XU. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. *Revista CATENA*. V. 151 pages 182-190. 2017.

SILVA, A. P. S.; DIAS, H. C. T.; BASTOS, R. K. X. B.; SILVA, E. Qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. *Revista Árvore*, v.33, n.6, p.1063-1069, 2009.

SILVA, C.; OLIVEIRA, A. M. S.; FIGUEIRA, R. C. L.; SEMENSATTO, D.; LABUTO, G.; Estudo do assoreamento do reservatório Tanque Grande, Guarulhos (SP). **Geociências**, v. 30, n. 2, p. 253-267, 2011.

SILVA, D. C. V.R; QUEIROZ, L. G.; ALAMINO, D. A.; FERNADES, J. G. SILVA, S. C.; PAIVA, T. C. B.; POMPEO, M. L. M.; Avaliação da eficiência de um índice de estado trófico na determinação da qualidade da água de reservatório para abastecimento público. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 23, n.4, p.627-635. 2018.

SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C.; ROSA; A. H. Análise da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da apa ituparanga (sp), Brasil. **Revista Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 72, p. 01-27. 2019.

Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Disponível em <<http://www.sigrh.sp.gov.br/>>. acesso em 20 de mar. 2020.

SMITH W. S.; PETRERE, J. M. Spatial and temporal patterns and their influence on fish community at Ituparanga Reservoir, Brazil. **Revista de Biología Tropical**, v. 56, n. 4, p. 2005-2020, 2008.

SOUZA, E. P.; ARRUDA, E. M. Geossistemas e dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do rio Ipanema, região de Sorocaba, São Paulo. *Revista Contexto Geográfico Maceió-al*, v. 4, n. 7, p. 83-93. 2019.

SURIYA S.; MUDGAL B.V. Impact of urbanization on flooding: the catchment area of Thirusoolam - A Case Study. **Journal of Hydrology**. v. 412–413, p. 210-219. 2012.

SZILASSI, P.; JORDAN, G.; ROMPAEY, A. V.; CSILLAG, G. Impacts of historical land use changes on erosion and agricultural soil properties in the kali basin lake Balaton, Hungary. **CATENA**. v. 68, Ed. 2–3, p. 96-108, 2006.

TANG, X.; DAI, X.; WU, M.; Phosphorus storage dynamics and adsorption characteristics for sediment from a drinking water source reservoir and its relation with sediment compositions. **Ecological Engineering**. v. 64, p. 276-284. 2014.

TUCCI, C. E. M. Controle de Enchentes. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, RS: ABRH-Edusp, 1993. 944p.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEITO, O. M. Gestão da água no Brasil. Brasília: UNESCO, 2001. 192p.

TUCCI, C. E. M.; MENDES. A. C. Avaliação Ambiental Integrada da Bacia Hidrográfica. Ministério do meio ambiente- MMA, 2006. 302p.

TUNDISI, J. G. Governança da água. **Revista da UFMG**, Belo Horizonte, v. 20, n.2, p. 222-235, 2013.

TUNDISI, J.G. A crise da água: eutrofização e suas consequências. In. TUNDISI, J.G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. Rima, IIE, São Carlos. 247p. 2003.

United States Geological Survey – USGS. **Dados Sentinel -2** Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> acessado em 25 de junho de 2020.

USEPA - Environmental Protection Agency of United State. Ambient Water Quality Criteria for Dissolved Oxygen - EPA 440586003, Washington, DC, 1986.

VALENTIN, C.; AGUS, F.; ALAMBAN, R.; BOOSANER, A.; BRICQUET, J.P.; CHAPLOT, V.; GUZMAN, T.; ROUWK, A.; JANEAU, J. L.; ORANGE, D.; PHACHOMPONH, K.; PHAI, Do Duy.; PODWAJEWSKI, P.; RIBOLZI, O.; SILVERA, N.; SUBAGYONO, K.; THIÉBAUX, J. P.; TOAN, T. D. VADARI, T. Runoff and sediment losses from 27 upland catchments in Southeast Asia: Impact of rapid land use changes and conservation practices. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 128, p. 225-238. 2008.

VANZELA, L. S.; GRECCO, D. L. G.; NETO, J. N. C.; SANTOS, G. O. Evaluation of sediment production and siltation in a small earth dam in Fernandópolis, SP. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n.5, p. 912-924, 2014.

VANZELA, L. S.; HERNADESZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n 1. p. 55-64. 2010.

VESILIND, P. A. Introdução à engenharia ambiental ed. 2 p.438. 2011.

VON SPERLING, M. Introdução a Qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2 ed. Belo horizonte: Departamento de engenharia Sanitária e ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 211p.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. 4ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 472p.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3.ed. Belo Horizonte: **Imprensa Universitária da UFMG**, 2005. 452p.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for evaluation and comparisons of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5. p. 8995-9005, 1985.

WOLMAM, M. G. A Cycle of Sedimentation and Erosion in Urban River Channels. **Geografiska Annaler: series A, Physical Geography**. v. 49, p. 385-395. 2017.