

**Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais**

Hélio de Magalhães Júnior

**Relações entre o uso e cobertura do solo e qualidade das águas na bacia do rio
Jequitinhonha em Minas Gerais como subsídio à gestão dos recursos hídricos
superficiais**

Belo Horizonte

2019

Hélio de Magalhães Júnior

Relações entre o uso e cobertura do solo e qualidade das águas na bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais como subsídio à gestão dos recursos hídricos superficiais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Dr. Frederico Wagner de Azevedo Lopes

Co-orientador: Dr. Diego Rodrigues Macedo

Belo Horizonte
Instituto de Geociências da UFMG
2019

M188r Magalhães Júnior, Hélio de.
2019 Relações entre o uso e cobertura do solo e qualidade das águas na Bacia do Rio Jequitinhonha em Minas Gerais como subsídio à gestão dos recursos hídricos superficiais [manuscrito] / Hélio de Magalhães Júnior. – 2019.

72 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Frederico Wagner de Azevedo Lopes.

Coorientador: Diego Rodrigues Macedo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2019.

Bibliografia: f. 62-70.

Inclui anexos.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Solo – Uso – Minas Gerais – Teses. 3. Água – Qualidade – Minas Gerais – Teses. 4. Recursos hídricos – Desenvolvimento – Minas Gerais – Teses. 5. Jequitinhonha, Rio (MG e BA) – Teses. I. Lopes, Frederico Wagner de Azevedo. II. Macedo, Diego Rodrigues. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. IV. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS



FOLHA DE APROVAÇÃO

Relações entre o uso e cobertura do solo e qualidade das águas na bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais como subsídio a gestão dos recursos hídricos superficiais

HÉLIO DE MAGALHÃES JÚNIOR

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Aprovada em 15 de fevereiro de 2019, pela banca constituída pelos membros:

Prof. Frederico Wagner de Azevedo Lopes - Orientador
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

Profa. Camila Palhares Teixeira
Centro Universitário de Sete Lagoas - UNIFEMM

Profa. Gleyce Campos Dutra

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM

Belo Horizonte, 15 de fevereiro de 2019.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ser a luz que guia e protege todos os meus passos. À minha mãe por todo amor, por sempre acreditar e me ajudar em tudo o que acontece na minha vida. Ao meu pai por ser meu maior exemplo de homem e por cuidar da nossa família. Ao Lucas pelo companheirismo e amizade.

Ao professor Dr. Frederico Wagner de Azevedo Lopes por todas orientações (graduação e mestrado), pelos incentivos, ensinamentos, disponibilidade, atenção e amizade. Muito obrigado “pai”!

Ao professor Dr. Diego Rodrigues Macedo pela co-orientação e por ter sido peça fundamental para a conclusão deste trabalho. Sem a sua atenção e orientação eu não iria conseguir concluir o mestrado. Muito obrigado Diego!

A todos amigos de turma, colegas de mestrado e a todos profissionais que integram o Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da UFMG pela convivência e pelos conhecimentos adquiridos e compartilhados.

Aos membros da banca de qualificação, Dr. Antônio Pereira Magalhães Junior e Dr. Diego Rodrigues Macedo, por todas contribuições ao trabalho. Aos membros da banca de defesa de dissertação Dra. Camila Palhares Teixeira e Dra. Gleyce Campos Dutra pela disponibilidade, atenção e colaboração na pesquisa.

À FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pela concessão da bolsa de mestrado que foi essencial para a realização do mestrado.

À UFMG por proporcionar, ao longo de 8 anos, as maiores experiências da minha vida.

Resumo

A bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha tem sido afetada por alterações na cobertura e no uso da terra e, conseqüentemente, na qualidade dos recursos hídricos locais desde o século XVIII, durante o ciclo de exploração minerária de ouro e diamante. A região é caracterizada por baixos índices de desenvolvimento econômico e social, reduzida quantidade de chuvas e temperaturas elevadas, com regime hidrológico com baixa disponibilidade hídrica. Ainda, a bacia do rio Jequitinhonha e suas sub-bacias possuem Planos Diretores de Recursos Hídricos relativamente recentes e limitada efetivação de instrumentos de gestão dos recursos hídricos, como a cobrança e outorga qualitativa. Neste contexto, este trabalho busca relacionar a evolução do uso e ocupação da terra na bacia com os parâmetros de qualidade da água que compõem o Índice de Qualidade da Água (IQA), identificando as principais fontes de pressão sobre os recursos hídricos. A classificação da cobertura e uso da terra foi realizada por meio de dados disponibilizados pelo Projeto MapBiomass no ano 2000 e 2014, enquanto os dados de qualidade das águas foram obtidos junto ao programa oficial de monitoramento realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. A análise dos dados foi conduzida por meio de análise estatística descritiva e construção de modelos de regressão múltipla, utilizando as variáveis de uso e ocupação da terra como variáveis independentes e os parâmetros de qualidade da água (de forma individual e IQA, nas estações seca e chuvosa) como variáveis dependentes. Por meio do modelo de regressão, foi observado que as variáveis que obtiveram mais associações foram o Nitrato, Sólidos totais e pH. Entre os anos analisados os parâmetros de qualidade da água que violaram o enquadramento foram os Coliformes Termotolerantes / *E. Coli*, Oxigênio dissolvido, Turbidez e Sólidos totais. Dentre as classes de cobertura e uso da terra identificadas na bacia, Agricultura ou Pastagem, Florestas plantadas, Infraestrutura urbana, e Outras formações não florestais apresentaram expansão das áreas ocupadas no período observado. Deste modo, destaca-se a deterioração da qualidade ambiental na bacia, principalmente, devido ao aumento de áreas com atividades antrópicas em detrimento das áreas naturais, impactando a qualidade das águas na bacia.

Palavras-chave: Uso da terra; Qualidade das águas; Gestão de recursos hídricos; rio Jequitinhonha.

Abstract

The Jequitinhonha river basin has been affected by changes in land cover and use impairing the quality of local water resources since the XVIII century, during the mining cycle of gold and diamond. The region is characterized by low rates of economic and social development, reduced rainfall, high temperatures, and low water availability in its hydrological regime. The Jequitinhonha river basin and its sub-basins have recent river basin plans, and limited implementation of water resources management instruments, as granting permits for the use of water and water usage charges. In this context, this work aims to relate the evolution of land cover and use in the basin to the water quality parameters components of the Water Quality Index (WQI), identifying the main sources of pressure on water resources. The classification of land cover and use was made using data provided by the MapBiomas Project in 2000 and 2014, while water quality data were obtained from the official monitoring program carried out by the Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. Data analysis was conducted through descriptive statistical analysis and the construction of multiple regression models, using the variables of land use land cover as independent variables and water quality parameters (individually and IQA, in dry seasons and rainfall) as dependent variables. The regression model showed that the variables that obtained the most associations were Nitrate, Total solids and pH. Among the analyzed years, Coliformes Termotolerantes / E. Coli, Dissolved Oxygen, Turbidity and Total Solids the were not on compliance to the water framework thresholds. Agriculture or Pasture, Planted Forests, Urban Infrastructure, and Other non-forest formations showed expansion of its areas in the observed period. In this way, the deterioration of the environmental quality in the basin is highlighted, mainly due to the increase of areas with anthropic activities to the detriment of the reduction of natural areas, affecting water quality in the basin.

Keywords: Land use; Water quality; Management of water resources; Jequitinhonha river.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha | 28 |
| Figura 2: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha no ano 2000 | 38 |
| Figura 3: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha no ano 2014 | 39 |
| Figura 4: Valores do IQA de estações de monitoramento de qualidade da água no período de 1999 a 2001 na bacia do rio Jequitinhonha..... | 40 |
| Figura 5: Valores do IQA de estações de monitoramento de qualidade da água no período de 2013 a 2015 na bacia do rio Jequitinhonha..... | 41 |
| Figura 6: Mediana dos resultados de Demanda Bioquímica de Oxigênio, Fósforo total, Nitrato e pH na bacia do Rio Jequitinhonha | 42 |
| Figura 7: Mediana dos resultados de Coliformes Termotolerantes / E. coli, Oxigênio Dissolvido, Turbidez e Sólidos Totais na bacia do Rio Jequitinhonha..... | 44 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Parâmetros do IQA e seus respectivos pesos adotados no Estado de Minas Gerais..... | 19 |
| Tabela 2: Caracterização da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha por UPGRH | 29 |
| Tabela 3: Mudança na cobertura e uso da terra nos anos de 2000 e 2014 para a bacia do rio Jequitinhonha | 37 |
| Tabela 4 - Regressão múltipla entre variáveis físicas e químicas da água e variáveis de coberturas naturais e usos da terra para o ano 2000, no período de seca. | 48 |
| Tabela 5 - Regressão múltipla entre variáveis físicas e químicas da água e variáveis de coberturas naturais e usos da terra para o ano 2000, no período de chuva. | 50 |
| Tabela 6 - Regressão múltipla entre variáveis físicas e químicas da água e variáveis de coberturas naturais e usos da terra para o ano 2014, no período de seca. | 52 |
| Tabela 7 - Regressão múltipla entre variáveis físicas e químicas da água e variáveis de coberturas naturais e usos da terra para o ano 2014, no período de chuva. | 54 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1: Principais parâmetros da água | 18 |
| Quadro 2: Classificação do Índice de Qualidade da Água | 20 |
| Quadro 3: Classificação para o enquadramento dos corpos de água superficiais de Minas Gerais..... | 21 |
| Quadro 4: Principais fontes de poluição das águas | 23 |
| Quadro 5: Parâmetros utilizados pelo monitoramento de qualidade de água em Minas Gerais..... | 26 |

Lista de Siglas e Abreviaturas

ANA - Agência Nacional das Águas

CERH-MG - Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

E. Coli - Escherichia coli

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

IQA - Índice de Qualidade das Águas

MG - Minas Gerais

MMA - Ministério do Meio Ambiente

OD - Oxigênio Dissolvido

pH - potencial Hidrogeniônico

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

RNQA - Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas

PNQA - Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

UPGRH - Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais

UPGRH JQ1 - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Alto Rio Jequitinhonha

UPGRH JQ2 - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Rio Araçuaí

UPGRH JQ3 - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Médio e Baixo Rio Jequitinhonha

SUMÁRIO

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1- INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 15 |
| 2.1 - Cobertura e uso da terra em bacias hidrográficas e qualidade das águas | 15 |
| 2.2 - Parâmetros de qualidade da água e principais aspectos relacionados..... | 17 |
| 2.3 - Monitoramento da qualidade das águas superficiais | 24 |
| 3- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 27 |
| 3.1 - Localização e aspectos fisiográficos..... | 27 |
| 4- PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 33 |
| 4.1 - Base de dados..... | 33 |
| 4.2 - Análise Estatística..... | 35 |
| 5- RESULTADOS | 37 |
| 5.1 - Usos da terra | 37 |
| 5.2 - Qualidade das águas | 40 |
| 5.3 - Regressão | 47 |
| 6- DISCUSSÃO..... | 55 |
| 6.1 - Uso do solo..... | 55 |
| 6.2 - Qualidade da água | 56 |
| 6.3 - Modelo estatístico..... | 59 |
| 7- CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 66 |
| 8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 68 |
| ANEXOS..... | 76 |

1- INTRODUÇÃO

A qualidade dos recursos hídricos superficiais está diretamente relacionada às características geológicas, climáticas, pedológicas e biológicas, bem como aos usos antropogênicos (BRIERLEY, 2010). O modelo predominante de uso e ocupação da terra, influenciado pelo desenvolvimento das atividades econômicas e pelo adensamento populacional e expansão urbana desordenados, têm alterado a dinâmica hídrica em bacias hidrográficas em todo o globo. Aspectos relacionados à alteração da capacidade de infiltração da água e a recarga dos sistemas aquíferos (IPCC, 2014) e poluição de cursos d'água (JULIAN et al., 2017), tem comprometido a disponibilidade quantitativa e qualitativa das águas, favorecendo a ocorrência de conflitos de usos nas respectivas bacias hidrográficas (LANNA, 2002).

A poluição antropogênica das águas tem como origem diversas fontes, pontuais e difusas (VON SPERLING, 2014), associadas ao tipo de uso e ocupação da terra em bacias hidrográficas (LEE et al., 2009). As águas superficiais brasileiras tendem a ser mais poluídas nos centros urbanos devido a intensa urbanização, que aumenta a demanda pela água, ampliando a descarga de recursos hídricos contaminados em um sistema de saneamento sanitário deficiente (TUCCI, 2008). Nesses casos, os esgotos domésticos representam uma grande ameaça à qualidade da água, principalmente em áreas com maior adensamento populacional e com corpos d'água com baixa capacidade de assimilação das cargas poluidoras (ANA, 2015). Já nas áreas rurais, o desmatamento em áreas de preservação permanente, as atividades agropecuárias, os usos de fertilizantes e agrotóxicos sintéticos, mineração, dentre outras atividades econômicas têm contribuído para a degradação dos corpos hídricos superficiais (BARBIERI et al., 1997; RESENDE, 2002; GYAWALI et al., 2013; BU et al., 2014).

Para mitigar os problemas relacionados à contaminação da água foram criados instrumentos de gestão dos recursos hídricos no Brasil por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (BRASIL, 1997). No âmbito do estado de Minas Gerais, foi elaborada a Política Estadual de Recursos Hídricos (MINAS GERAIS, 1999). Como mecanismos para implementação da PNRH, foram estabelecidos instrumentos de

gerenciamento dos recursos hídricos, sendo estes: (I) os Planos de Recursos Hídricos, (II) o enquadramento dos corpos d'água em classes, (III) a outorga de direito de uso de recursos hídricos, (IV) a criação de Comitês de Bacia Hidrográfica e respectivas Agências reguladoras, (V) cobrança pelo uso da água e (VI) o Sistema de Informações sobre os Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Além disso, os padrões de qualidade da água foram estabelecidos pelas legislações federais (BRASIL, 2005) e estaduais (MINAS GERAIS, 2008) vigentes, respeitando-se os domínios das águas previstos.

Ademais, outras ferramentas também foram criadas para a gestão dos recursos hídricos, como estudos hidrológicos para estimação da quantidade de água, elaboração de índices para avaliar a qualidade da água e o monitoramento da qualidade das águas superficiais. O monitoramento de qualidade das águas no país progrediu nos últimos anos, mas ainda são necessários investimentos para a padronização em escala nacional, expansão e manutenção da operação contínua das redes existentes (ANA, 2015).

Apesar dos inerentes avanços na política e nos instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos, o planejamento e a gestão integrada com o uso da terra ainda consistem em um desafio para sua efetividade (CARNEIRO et al., 2010). Deste modo, ao analisar as mudanças de uso e cobertura da terra em uma bacia hidrográfica, deve-se considerar toda legislação ambiental vigente e o conjunto de dados de água gerados pela rede de monitoramento, e assim, avaliar como as alterações do uso da terra interferem nos parâmetros de qualidade da água (SHRESTHA e KAZAMA, 2007; MAILLARD e SANTOS, 2008; COSKUN e ALPARSLAN, 2008; GYAWALI et al., 2013; BU et al., 2014, SANTOS et al., 2017).

Em Minas Gerais, as principais bacias hidrográficas que compõem a rede hídrica do Estado são as bacias dos rios Doce, Grande, Jequitinhonha, Mucuri, Paraíba do Sul, Paranaíba, Pardo e São Francisco. Neste contexto, tem-se destaque a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, em função da sua extensão e população, ocupada desde o século XVIII durante o processo de exploração minerária de ouro e diamante (RIBEIRO et al., 2007). Por isso, desde os primórdios da ocupação, a região tem sido afetada por alterações na cobertura e no uso da terra e, conseqüentemente, na qualidade dos recursos hídricos locais. A região é caracterizada pelo baixo desenvolvimento econômico

e social (FERREIRA, 2007). O balanço hídrico climatológico da região evidência reduzida quantidade de chuvas e temperaturas elevadas, com regime hidrológico com baixa disponibilidade hídrica (FERREIRA e SILVA, 2012). Ainda, a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha e suas sub-bacias possuem Planos Diretores de Recursos Hídricos relativamente recentes, com a implementação limitada de instrumentos de gestão dos recursos hídricos, como a cobrança e outorga qualitativa.

Neste contexto, esta pesquisa tem como premissa as seguintes questões norteadoras:

A evolução do uso e ocupação da terra na bacia do rio Jequitinhonha tem gerado a degradação dos recursos hídricos superficiais? Quais atividades tiveram maior impacto sobre a qualidade das águas nos últimos anos?

Portanto, o objetivo geral deste estudo é relacionar a evolução do uso e ocupação da terra na bacia com os parâmetros de qualidade da água que compõem o Índice de Qualidade da Água (IQA-IGAM), identificando as principais fontes de pressão sobre os recursos hídricos e sua associação com as tipologias de uso e ocupação da terra. Como objetivos específicos:

- Comparar a cobertura e uso da terra na bacia nos anos de 2000 e 2014 identificando as fontes potenciais de pressão sobre os recursos hídricos;
- Examinar a qualidade das águas por meio dos dados oficiais de monitoramento do estado de Minas Gerais (Projeto Águas de Minas) em dois períodos na época de chuva e seca: 1º entre os anos de 1999, 2000 e 2001; 2º entre os anos de 2013, 2014 e 2015;

2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 - Cobertura e uso da terra em bacias hidrográficas e qualidade das águas

Para avaliar os efeitos das atividades antrópicas na qualidade das águas existem diversos estudos que buscam verificar a relação entre a cobertura e uso da terra com a qualidade das águas. Como exemplos de pesquisas nessa área pode-se citar os trabalhos de Shrestha e Kazama (2007), Maillard e Santos (2008), Coskun e Alparslan (2008), Gyawali et al. (2013), Bu et al. (2014), Santos et al. (2017), dentre outros.

Shrestha e Kazama (2007) analisaram a poluição do rio Fuji no Japão utilizando técnicas estatísticas multivariadas, como a Análise de Clusters, Análise Temporal, Análise dos Componentes Principais. Os objetivos do estudo eram buscar informações sobre as similaridades entre pontos de amostragem, identificando as variáveis responsáveis pela influência de possíveis fontes de poluição que alterassem os parâmetros de qualidade da água. Os resultados demonstraram que os parâmetros responsáveis pelas variações da qualidade da água estão relacionados principalmente à poluição orgânica pelo esgoto doméstico em áreas pouco poluídas da bacia, à nutrientes oriundos de fontes não pontuais de agricultura e plantações de pomares em áreas de média poluição; e à poluição orgânica e nutrientes de fontes pontuais como águas residuais domésticas, estações de tratamento de águas residuais e indústrias em áreas altamente poluídas na bacia.

Em uma pesquisa realizada na bacia do rio das Velhas em Minas Gerais, Maillard e Santos (2008) analisaram as fontes de poluição das águas na região, utilizando modelos de regressão linear múltipla e modelagem cartográfica por meio do uso de ferramentas SIG para estabelecer a relação entre a qualidade da água, o uso do solo e a distância do corpo hídrico. Alguns instrumentos utilizados no trabalho foram a Análise de Regressão, o Índice de Qualidade de Água e a classificação de imagens de Satélites, sendo que os resultados da pesquisa evidenciaram a relação entre o tipo de cobertura e uso da terra com a turbidez, nitrato, DBO, pH in loco e coliformes fecais relacionados à poluição difusa na água.

A pesquisa realizada por Bu et al. (2014) na bacia do Rio Taizi, na China buscou analisar por meio da Análise Espacial, Correlação e Regressão Linear Múltipla as relações de uso do solo e qualidade da água, identificando as fontes poluidoras. Os resultados encontrados foram a influência da área urbana no aumento da concentração de fósforo e nitrogênio na água e a relação positiva de área de florestadas para a qualidade da água.

O estudo realizado por Gyawali et al. (2013) na bacia do Rio U-Tapao, Tailândia, utilizou métodos estatísticos de Análise Espacial, Correlação Linear de Pearson e ANOVA. Os principais resultados identificados foram que as áreas urbanas e de agricultura possuem relação com aumento de concentração de poluentes nas águas, e as áreas de vegetação nativa evidenciaram relações positivas com a qualidade das águas.

Coskun e Alparslan (2008) pesquisaram a situação da urbanização em relação ao uso da terra e à qualidade da água na bacia do rio Ömerli em Istambul na Turquia com a utilização de técnicas de Sistemas de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto. O objetivo principal deste estudo era realizar a avaliação temporal do uso da terra na bacia hidrográfica de Ömerli e as mudanças na qualidade da água no seu principal reservatório de água. Os resultados evidenciaram que os efeitos prejudiciais à qualidade da água se devem ao rápido aumento da população, às moradias não planejadas e ilegais e às indústrias em área de proteção da bacia associados ao sistema de esgotamento sanitário ineficiente que contaminam a água com o lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais.

O estudo na bacia do rio Pandeiros (SANTOS et al., 2017) não verificaram correlação significativa entre uso e cobertura da terra e a qualidade de água. A bacia está localizada no estado de Minas Gerais, Brasil, em uma área de proteção ambiental. No entanto, tanto as porcentagens de cobertura natural (acima de 85%), quanto a qualidade de água (padrões dentro da legislação) não apresentaram grande variabilidade entre os valores mínimos e máximos. Isso ilustra a dificuldade em tecer estas relações em pesquisas em bacias hidrográficas.

Os estudos relatados mostram o uso de técnicas estatísticas para análise e interpretação de conjuntos de dados hídricos e na avaliação da qualidade da água em relação ao uso e ocupação do solo. Assim, as pesquisas evidenciaram a relação entre o uso e ocupação do solo com qualidade da água, sendo fatores como urbanização, agropecuária, desflorestamento, responsáveis por gerar a poluição dos corpos hídricos analisados.

2.2 - Parâmetros de qualidade da água e principais aspectos relacionados

A avaliação da qualidade dos recursos hídricos deve observar os aspectos físicos, químicos e microbiológicos da água para definir os seus usos. Esses aspectos são representados pelos parâmetros de qualidade da água e os usos podem ser definidos pelo enquadramento do corpo hídrico. Além disso, estas características da água servem para avaliar a poluição, verificar a conformidade com a legislação ambiental vigente e analisar a integridade dos corpos hídricos.

Os parâmetros de água representam as principais características físicas químicas e microbiológicas da água (Quadro 1). A importância sanitária dos parâmetros de qualidade da água e sua relevância para interpretar os resultados de análise de água são identificados em diversos estudos, como por exemplo, Von Sperling (1983), Tchobanoglous e Schroeder (1985), Richter e Azevedo Netto (1991), WHO (1993), Lanna (2002), Von Sperling (2014).

Os parâmetros físicos estão relacionados à quantidade de materiais sólidos e gases na água, sejam eles estando dissolvidos ou em suspensão, que alteram suas propriedades físicas. Os parâmetros químicos se referem a presença de elementos químicos orgânicos ou inorgânicos que alteram as propriedades químicas da água. A presença organismos (algas) e microrganismos na água, como, bactérias, fungos, vírus, helmintos, protozoários, é detectada ou inferida pela utilização de indicadores microbiológicos.

Quadro 1: Principais parâmetros da água

| Tipo | Parâmetros | Importância / Característica | Origem Antrópica |
|-----------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Parâmetros físicos | Cor | Pode representar toxicidade | Efluentes industriais e esgotos domésticos |
| | Turbidez | Pode estar associada a compostos tóxicos e organismos patogênicos | Efluentes industriais, esgotos domésticos, erosão e micro-organismos |
| | Sabor e Odor | Caracterização de águas para abastecimento | Efluentes industriais, esgotos domésticos, gases dissolvidos |
| | Temperatura | Altera reações químicas e biológicas na água | Efluentes industriais, esgotos domésticos, águas de torres de resfriamento |
| Parâmetros químicos | pH | Afeta a vida aquática | Efluentes industriais e esgotos domésticos |
| | Alcalinidade | Importância no tratamento de água e esgoto | Efluentes industriais |
| | Acidez | Importância no tratamento de água | Efluentes industriais e esgotos domésticos |
| | Dureza | Importância no tratamento de água | Efluentes industriais |
| | Ferro e manganês | Importância no tratamento de água | Efluentes industriais |
| | Cloretos | Importância no tratamento de água | Efluentes industriais, esgotos domésticos, irrigação |
| | Nitrogênio | Importância sobre estágio de poluição da água | Efluentes industriais, esgotos domésticos, excrementos de animais, fertilizantes |
| | Fósforo | Concentrações elevadas favorecem a eutrofização | Efluentes industriais, esgotos domésticos, excrementos de animais, fertilizantes, detergentes |
| | Oxigênio dissolvido | Caracteriza efeitos de poluição por despejo orgânico e afeta a vida aquática | Efluentes industriais e esgotos domésticos |
| | Matéria Orgânica | Caracteriza efeitos de poluição por despejo orgânico | Efluentes industriais, esgotos domésticos |
| Parâmetros biológicos | Coliformes totais | Indicadores de contaminação fecal | Efluentes industriais, esgotos domésticos, excrementos de animais |
| | Coliformes termotolerantes | | |
| | <i>Escherichia coli</i> | | |

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2014).

Além da interpretação individual dos resultados por parâmetro de qualidade, o uso de índices de qualidade das águas calculados por meio da ponderação de diferentes parâmetros, tem sido amplamente utilizado desde a década de 1960, como ferramenta de avaliação e gestão da qualidade ambiental (SUTADIAN et al., 2018). Dentre os

diversos índices, o mais difundido refere-se ao Índice de Qualidade das Águas (IQA) que foi criado pela *National Sanitation Foundation* em 1970 e adaptado no Brasil, primeiramente, pela companhia ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) em 1975 (ANA, 2012). Este índice é amplamente utilizado pelos órgãos gestores estaduais de recursos hídricos brasileiros, com adaptações metodológicas, inclusive pelo IGAM em Minas Gerais.

O IQA é um indicador de qualidade da água composto por nove parâmetros físico-químicos e biológicos, tendo cada parâmetro seu peso específico no cálculo do Índice (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros do IQA e seus respectivos pesos adotados no Estado de Minas Gerais

| Parâmetros | Peso – wi |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| Oxigênio dissolvido - OD (%ODSat) | 0,17 |
| Coliformes Termotolerantes* (NMP/100mL) | 0,15 |
| pH | 0,12 |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO (mg/L) | 0,10 |
| Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻) | 0,10 |
| Fósforo total (mg/L PO ₄ ⁻²) | 0,10 |
| Variação da temperatura (°C) | 0,10 |
| Turbidez (UNT) | 0,08 |
| Sólidos totais (mg/L) | 0,08 |
| * Parâmetro substituído por <i>E. coli</i> a partir do ano 2013 | |

Fonte: Adaptado de IGAM (2016a).

O IQA é calculado pelo produto ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o Índice. A seguinte fórmula é utilizada:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Em que:

IQA: representa o Índice de Qualidade das Águas, um número que varia entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido pela respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e;

w_i: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

Os valores do IQA são categorizados em cinco faixas de qualidade e seus valores variam de 0 a 100. Cada Estado brasileiro adota valores das faixas de qualidade específicos e neste trabalho foi adotado os valores utilizados pelo IGAM em Minas Gerais (Quadro 2).

Quadro 2: Classificação do Índice de Qualidade da Água

| Valor do IQA | Classes |
|----------------------------|----------------|
| $90 < \text{IQA} \leq 100$ | ÓTIMA |
| $70 < \text{IQA} \leq 90$ | BOA |
| $50 < \text{IQA} \leq 70$ | REGULAR |
| $25 < \text{IQA} \leq 50$ | RUIM |
| $\text{IQA} \leq 25$ | PÉSSIMA |

Fonte: Adaptado de IGAM (2005).

Além dos índices existe também o enquadramento dos corpos d'água, instrumento criado pela PNRH, que é uma importante ferramenta para identificar os usos da água e assegurar a manutenção da sua qualidade de acordo com os usos pretendidos e com as metas de qualidade da água a serem alcançadas.

O enquadramento classifica os corpos d'água e define os padrões de lançamento de efluentes. Deste modo, os parâmetros de qualidade da água passam a atender a finalidade de uso seguindo as determinações do enquadramento. Por meio do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e junto com o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG), foi criada a Deliberação Normativa Conjunta nº 01 de 2008 (MINAS GERAIS, 2008), que classifica e estabelece as diretrizes para o enquadramento dos corpos hídricos superficiais pertencentes ao estado de Minas Gerais (Quadro 3).

Quadro 3: Classificação para o enquadramento dos corpos de água superficiais de Minas Gerais

| Classes | Usos possíveis |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Especial | Abastecimento para consumo humano com desinfecção; Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral. |
| I (UM) | Abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário (natação); Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas. |
| II (DOIS) | Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; Proteção das comunidades aquáticas; Recreação de contato primário; Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, onde o público possa vir a ter contato direto a água; Aquicultura e atividade de pesca. |
| III (TRÊS) | Abastecimento para o consumo humano após tratamento convencional ou avançado; Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; Pesca amadora; Recreação de contato secundário; Dessedentação de animais. |
| IV (QUATRO) | Navegação; Harmonia paisagística; Usos menos exigentes. |

Fonte: Adaptado de Minas Gerais (2008).

Os usos da água também podem ser classificados como usos consuntivos, não consuntivos e locais (LANNA, 2002). Quando o uso da água gera perda de quantidade do recurso hídrico espacial e temporalmente é denominado uso consuntivo, como ocorre na agropecuária e indústria. Já o uso não consuntivo acontece quando a utilização do recurso hídrico não gera perda da quantidade água, podendo ocorrer modificação no seu padrão temporal, como por exemplo na navegação e na produção de energia hidrelétrica. Os usos locais ocorrem quando há o aproveitamento da água em sua fonte de origem, sem interferências relevantes, como ocorre no uso de água em estuários (LANNA, 2002).

Os usos da água podem comprometer a sua qualidade a sua quantidade. A poluição das águas pode ser entendida como o incremento de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, modificam as características do corpo hídrico prejudicando os legítimos usos que dele são feitos (VON SPERLING, 2005). A poluição dos corpos hídricos tem como origem diversas fontes, pontuais e difusas que alteram vários parâmetros de qualidade da água (Quadro 4).

Quadro 4: Principais fontes de poluição das águas

| Constituinte | Principais parâmetros representativos | Fonte de Poluição | | | | Possível efeito poluidor |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | Águas Residuárias | | Águas Pluviais | | |
| | | Urbanas | Industriais | Urbanas | Agricultura e Pastagem | |
| Sólidos em suspensão | Sólidos em suspensão totais | Alta | Variável | Média | Baixa | Problemas estéticos Depósitos de lodo Adsorção de poluentes Proteção de patogênicos |
| Matéria orgânica biodegradável | Demanda Bioquímica de Oxigênio | Alta | Variável | Média | Baixa | Consumo de oxigênio Mortandade de peixes Condições sépticas |
| Nutrientes | Nitrogênio Fósforo | Alta | Variável | Média | Baixa | Crescimento excessivo de algas Toxicidade aos peixes (amônia) Doença em recém-nascidos (nitrato) Poluição de água subterrânea |
| Organismos patogênicos | Coliformes | Alta | Variável | Média | Baixa | Doenças de veiculação hídrica |
| Matéria orgânica não biodegradável | Pesticidas Alguns detergentes Produtos farmacêuticos Outros | Média | Variável | Baixa | Média | Toxicidade (vários) Espumas (detergentes) Redução da transferência de oxigênio (detergentes) Biodegradabilidade reduzida ou inexistente Maus odores |
| Metais | Elemento específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, etc.) | Média | Variável | Baixa | Usualmente não importante | Toxicidade Inibição ao tratamento biológico dos esgotos Problemas na disposição do lodo na agricultura Contaminação da água subterrânea |
| Sólidos inorgânicos dissolvidos | Sólidos dissolvidos totais Condutibilidade elétrica | Média | Variável | Usualmente não importante | Baixa | Salinidade excessiva - prejuízo às plantações (irrigação) Toxicidade a plantas (alguns íons) Problemas de permeabilidade do solo (sódio) |

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2014).

A poluição pontual ocorre quando os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada em um local, como acontece por exemplo no emissário de esgoto de uma rede de esgotamento sanitário em um ponto específico de um rio. Na poluição difusa a carga poluidora atinge o corpo hídrico distribuído ao longo da sua extensão, como por exemplo, a poluição da drenagem pluvial carregada de forma distribuída ao longo de um rio. A poluição da água pode se constituir de elementos orgânicos e inorgânicos, metais, sólidos e nutrientes que podem estar associadas ao tipo de uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica (VON SPERLING, 2014).

2.3 - Monitoramento da qualidade das águas superficiais

A rede de monitoramento de qualidade das águas superficiais brasileiras iniciou nos anos 1970, quando foram implantadas as primeiras redes estaduais (ANA, 2012). As redes estaduais operam de maneira independente, tendo cada uma sua própria frequência de monitoramento e seu próprio conjunto de parâmetros monitorados (ANA, 2016). Os bancos de dados de qualidade gerados por cada rede estadual de monitoramento comprometem a realização de diagnósticos e estudos comparativos entre cursos d'água e suas respectivas bacias hidrográficas, pois não há padronização de frequência de amostragem e os parâmetros adotados podem não ser os mesmos.

A ANA lançou em 2013 a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas (RNQA) no âmbito do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), e em 2014 foi lançado o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água – QUALIÁGUA (ANA, 2016). Estas iniciativas buscam o desenvolvimento das redes estaduais de monitoramento tentando amenizar as lacunas de informações de qualidade de água existentes no Brasil.

Em 2014, eram 17 Estados que realizaram monitoramento de qualidade de água em rios e reservatórios no país (ANA, 2016). Desde o ano de 1997, acontece no estado de Minas Gerais o monitoramento de qualidade das águas superficiais realizado pelo

Instituto de Mineiro Gestão de Recursos Hídricos - IGAM, por meio do Programa Águas de Minas (IGAM, 2016a).

A rede básica de monitoramento de Minas Gerais, em 2015, possuía 553 estações de amostragem distribuídas nas bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Grande, Doce, Paranaíba, Paraíba do Sul, Mucuri, Jequitinhonha, Pardo, Buranhém, Itapemirim, Itabapoana, Itanhém, Itaúnas, Jucuruçu, Peruípe, São Mateus e Piracicaba/Jaguari (IGAM, 2016a). Além disso, há 42 estações de monitoramento que compõem a rede administrada do Estado, distribuídas na sub-bacia da Pampulha, na Cidade Administrativa de Minas Gerais e no Parque Estadual Serra Verde (IGAM, 2016a).

O programa de monitoramento de Minas Gerais é uma importante fonte de informações para subsidiar pesquisas científicas, trabalhos dos comitês de bacias e todo planejamento e gestão dos recursos hídricos do Estado. As campanhas de amostragem são predominantemente trimestrais para a maioria das estações de monitoramento e são analisados 56 parâmetros de qualidade da água (IGAM, 2016a) conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5: Parâmetros utilizados pelo monitoramento de qualidade de água em Minas Gerais

| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| Alcalinidade Bicarbonato | Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO* | Nitrogênio Amoniacal Total* |
| Alcalinidade Total | Demanda Química de Oxigênio – DQO* | Nitrogênio Orgânico |
| Alumínio Dissolvido | Densidade de Cianobactérias# | Óleos e Graxas |
| Arsênio Total | Dureza (Cálcio) | Oxigênio Dissolvido – OD* |
| Bário Total | Dureza (Magnésio) | pH in loco* |
| Boro Total | Dureza Total | Potássio |
| Cádmio Total | Ensaio de Toxicidade Crônica# | Selênio Total |
| Cálcio | Estreptococos Fecais | Sódio |
| Chumbo Total | Fenóis Totais | Sólidos Dissolvidos* |
| Cianeto Livre | Feofitina* | Sólidos em Suspensão* |
| Cianotoxinas# | Ferro Dissolvido | Sólidos Totais* |
| Cloreto Total* | Fósforo Total* | Substâncias tensoativas |
| Clorofila a* | Macroinvertebrados bentônicos# | Sulfatos |
| Cobre Dissolvido | Magnésio Total | Sulfetos |
| Coliformes Termotolerantes/ <i>E. coli</i> * | Manganês Total | Temperatura da Água* |
| Coliformes Totais* | Mercúrio Total | Temperatura do Ar* |
| Condutividade Elétrica in loco* | Níquel Total | Turbidez* |
| Cor Verdadeira | Nitrato* | Zinco Total |
| Cromo Total | Nitrito | |
| * Parâmetros comuns a todos os pontos de monitoramento # Parâmetros analisados apenas em pontos específicos | | |

Fonte: Adaptado de IGAM (2016a).

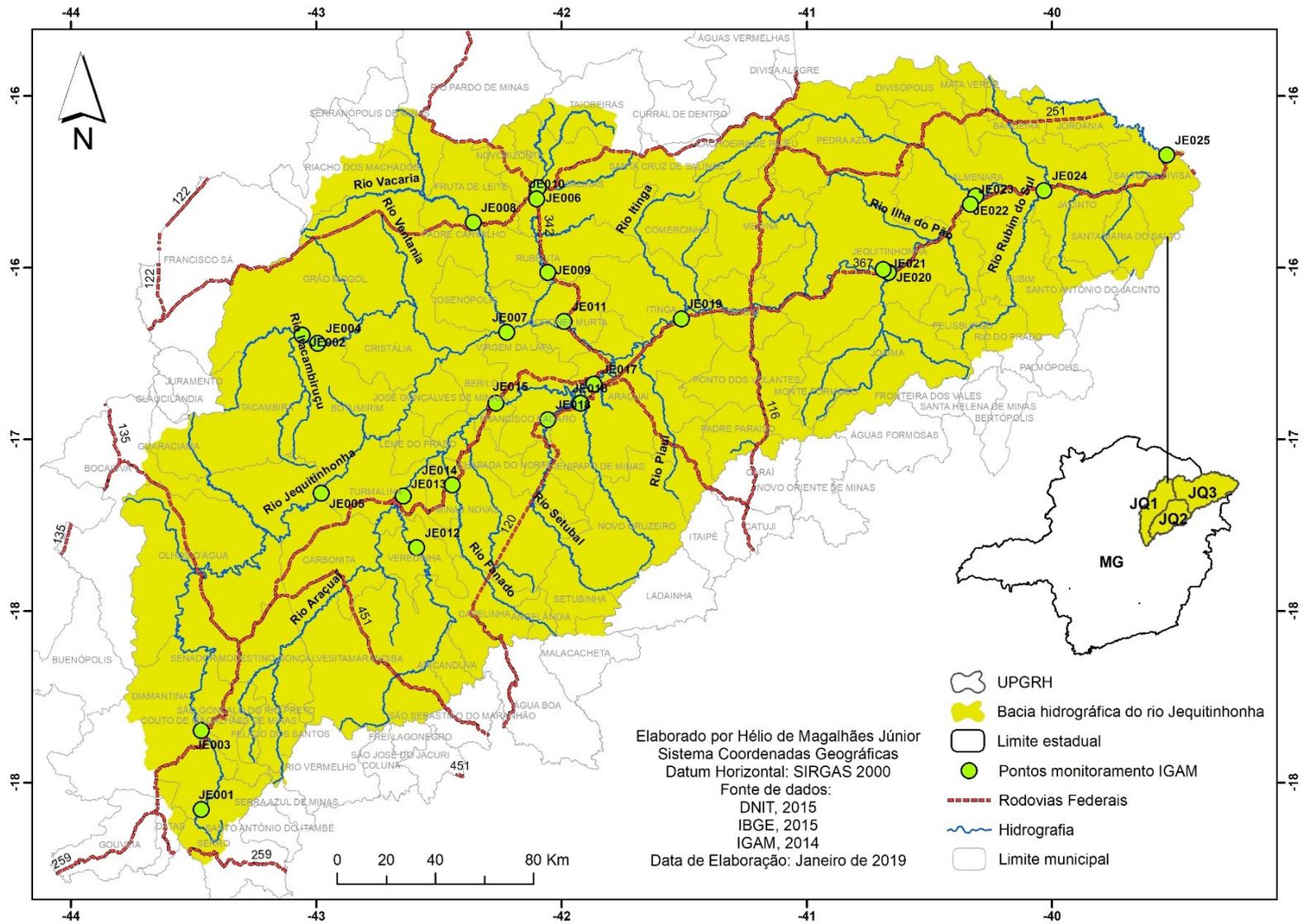
Em alguns pontos de monitoramento são analisados pelo IGAM parâmetros específicos, como nitrogênio orgânico, densidade de cianobactérias, cianotoxinas, ensaios de toxicidade crônica e macroinvertebrados bentônicos. O parâmetro *Escherichia coli* começou a ser avaliado em substituição aos Coliformes Termotolerantes a partir da primeira campanha de 2013 (IGAM, 2016a).

3- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1- Localização e aspectos fisiográficos

A bacia do rio Jequitinhonha abrange uma área 70.315 km² localizada entre os estados de Minas Gerais (aproximadamente 66.000 km²) e Bahia (3.996 km²). A nascente do rio Jequitinhonha localizada na Serra do Espinhaço no município do Serro-MG, a uma altitude aproximada de 1.260m e deságua no Oceano Atlântico, na costa litorânea do município de Belmonte-BA, depois de percorrer 920 km (IGAM, 2009). A bacia está limitada a norte com a bacia do rio Pardo; a sul, limita-se com a bacia do rio Doce; a sudeste, situam-se divisores do Mucuri e pequenas bacias independentes; a oeste, a serra do Espinhaço é divisor da bacia do rio São Francisco; e a leste, situa-se o Oceano Atlântico (IBGE, 1997). Devido a metodologia padronizada de coleta de parâmetros de água executada pelo IGAM, este trabalho será focado no trecho mineiro da bacia do rio Jequitinhonha (Figura 1).

Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha



Na porção mineira, a Deliberação Normativa CERH-MG N°. 06, de 04 de outubro de 2002 (MINAS GERAIS, 2002), instituiu três Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGRH (Figura 1), sendo elas: Alto Jequitinhonha (UPGRH-JQ1), Rio Araçuaí (UPGRH-JQ2), Médio e Baixo Jequitinhonha (UPGRH-JQ3), evidenciado na Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha por UPGRH

| UPGRH | Área da bacia | | Sede Municipal Quantidade | Habitantes | | Total nº |
|-------|-----------------|-------|------------------------------|-------------------|------------------|-------------|
| | Km ² | % | | Área urbana nº | Área rural nº | |
| JQ1 | 19885 | 30,23 | 10 | 71292 | 49673 | 120965 |
| JQ2 | 16280 | 24,75 | 21 | 153871 | 134685 | 288556 |
| JQ3 | 29617 | 45,02 | 29 | 258788 | 121553 | 380341 |
| Total | 65782 | 100 | 60 | 483951 | 305911 | 789862 |

Fonte: Adaptado de IGAM (2017).

O rio Jequitinhonha apresenta regime de escoamento perene, sendo abastecido por afluentes do sistema morfológico do Espinhaço, em seu baixo curso os tributários são intermitentes, onde o fluxo hídrico é favorecido pelo regime torrencial das chuvas (IBGE, 1997). Os principais afluentes do rio Jequitinhonha são os rios Araçuaí, Piauí, São Miguel e São João pela margem direita e na margem esquerda são os rios Itacambiruçu, Vacaria, Salinas, São Pedro e São Francisco (Figura 1). Ainda não foram aprovados os enquadramentos dos corpos hídricos na bacia do rio Jequitinhonha (IGAM, 2019) e deste modo, de acordo com o Artigo 37 da Deliberação Normativa Conjunta do COPAM e CERH N° 01 em 05 de maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008), todos os rios que compõem a bacia são enquadrados como classe 2.

O rio Jequitinhonha atravessa litologias do Supergrupo Espinhaço, do Grupo Macaúbas e do substrato Cristalino, sendo que no baixo curso, adapta-se a sedimentos terciário-quadernários antes de desembocar no Oceano Atlântico em foz delta (IBGE,1997). Na bacia do rio Jequitinhonha há predominância dos Cambissolos, Latossolos e Argissolos, ocorrendo também manchas de Litossolos e afloramentos

rochosos, especialmente nas áreas de exposição do Supergrupo Espinhaço (FERREIRA, 2007). Os solos na sub-bacia do Alto Jequitinhonha (JQ1) predominam os Cambissolos e Latossolos e, com menor representatividade os Argissolos e Neossolos, ocorrendo afloramentos rochosos associados à região da Serra do Espinhaço (GAMA, 2013a). Já na sub-bacia hidrográfica do rio Araçuaí (JQ2) ocorrem quatro tipos de solos definidos como: Podzólicos Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro; Cambissolos; Latossolos Amarelo, Vermelho- Amarelo e Vermelho-Escuro; e Litossolos (GAMA, 2010). Os solos dominantes de ocorrência na sub-bacia do médio e baixo Jequitinhonha (JQ3) são Argissolos, Cambissolos, Latossolos e, com menor representatividade Luvissolos e Nitossolos (GAMA, 2013b).

Segundo a classificação climática de Köppen são identificados dois tipos de clima na bacia do rio Jequitinhonha: Aw caracterizado pelo clima quente e úmido, com chuvas de verão e estação seca definida, sendo a temperatura amenizada pela altitude como ocorre no setor mais ocidental da bacia no Alto Jequitinhonha; Bswlh determinado pelo clima semiárido, com pequena estação chuvosa no verão, onde a temperatura é elevada e atrelada à baixa amplitude térmica, como acontece no Médio e Baixo Jequitinhonha (FERREIRA, 2007). Assim, a bacia do Jequitinhonha possui características climáticas que variam do clima semiárido a úmido, com totais pluviométricos anuais entre 600 e 1.600 mm, irregularmente distribuídos ao longo do ano. As chuvas são concentradas entre os meses de outubro a março (IBGE, 1997).

A vegetação na bacia do rio Jequitinhonha é caracterizada basicamente pelos Domínios Fitoecológicos Floresta Estacional, Savana e Caatinga. A vegetação na sub-bacia do alto Jequitinhonha (JQ1) é predominada pela Savana (cerrados, campos e campos rupestre) e Floresta Estacional distribuídas em fragmentos dispersos em chapadas, grotas e campos. Nas cabeceiras do rio Jequitinhonha verifica-se a ocorrência dos campos rupestres e campos de altitude na Serra do Espinhaço com o predomínio dos estratos herbáceo e arbustivo (FERREIRA, 2007).

A vegetação da sub-bacia do rio Araçuaí (JQ2) é caracterizada pelo cerrado, campo cerrado, além de florestas decíduais e semidecíduais. As áreas que possuem a ocorrência da vegetação natural são marcadas pela topografia, principalmente nos topos

das serras e chapadas, onde o acesso e ocupação antrópica é mais restrita (GAMA, 2010).

A sub-bacia do médio e baixo Jequitinhonha (JQ3) apresenta formações pertencentes à Floresta Estacional Decidual, concentradas na porção central e oeste da sub-bacia, na região de Salto da Divisa, em estreitas faixas nas margens do Jequitinhonha na porção centro e leste; áreas de contato da Savana com Floresta Estacional e formação de Savana Estépica (GAMA, 2013b). A caatinga está localizada em pequenas áreas na bacia do Jequitinhonha no trecho entre as cidades de Araçuaí até a cidade de Jequitinhonha, na região do médio e baixo Jequitinhonha (GAMA, 2010).

A cobertura vegetal foi descaracterizada ou completamente substituída por monoculturas de eucalipto, pastagens e culturas agrícolas sem técnicas adequadas de manejo (FERREIRA, 2007). O Domínio Fitoecológico da Floresta Estacional foi substituído por pastagens, restando apenas fragmentos em trechos de relevo mais dissecado, baixas encostas e fundos de vales. O Domínio Fitoecológico da Savana apresenta-se descaracterizada graças à forte exploração da madeira para carvão. O plantio de eucalipto e pinus em áreas planas das chapadas ocasionaram redução da vegetação natural nesse Domínio. O Domínio Fitoecológico da Caatinga apresenta antropização por parte das atividades relacionadas ao extrativismo da madeira, produção de carvão e desmatamento para introdução de pastagens (FERREIRA, 2007; GAMA, 2010; GAMA, 2013a; GAMA, 2013b).

A bacia hidrográfica do Jequitinhonha, em Minas Gerais, consiste em uma região ocupada desde o século XVIII, na qual os municípios mais antigos da região estão concentrados na área colonizada durante os ciclos do ouro e do diamante na porção a montante da bacia, como Diamantina, Serro e Minas Novas (FERREIRA e SAADI, 2013).

Com o declínio da exploração minerária na região, a agricultura passou a ser a principal atividade econômica dos moradores locais. A caracterização do Jequitinhonha como uma região de “pobreza” ocorreu nas décadas de 1960 e 1970, no tempo do milagre econômico e dos programas de desenvolvimento (RIBEIRO et al., 2007). O Plano Mineiro de Desenvolvimento Econômico e Social para o Jequitinhonha na década de 1970 incentivou a cafeicultura e a silvicultura na região do Alto Jequitinhonha (FERREIRA e

SAADI, 2013). Esse Plano foi desenvolvido no Jequitinhonha devido às características de baixa produtividade agrícola e da precariedade dos indicadores sociais na região (RIBEIRO et al., 2007).

A ocupação econômica na área da bacia do rio Jequitinhonha tem sido marcada pela presença de atividades ligadas à mineração, pecuária extensiva e agricultura familiar, silvicultura, cafeicultura, turismo, artesanato e agroindústria (FERREIRA, 2007). O desenvolvimento das atividades econômicas está baseado no setor primário, com a produção florestal e pecuária, no setor secundário, em menor escala, especialmente com a fabricação de aguardente e terciário com o destaque para o comércio (IGAM, 2017).

A bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha é caracterizada pelos usos múltiplos dos recursos hídricos. A maior concentração dos usos está localizada no Alto e Médio Jequitinhonha com destaque para o abastecimento público, irrigação e indústria (IGAM, 2010). O uso e ocupação do solo inadequado em algumas porções da bacia, o desmatamento da vegetação natural associado com a susceptibilidade apresentada em diversas áreas a processos erosivos, tem gerado o assoreamento dos rios e carreamento de produtos agroquímicos aos corpos hídricos (FERREIRA, 2007).

4- PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 - Base de dados

Para a avaliação da influência do uso do solo na qualidade da água, inicialmente a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha foi fragmentada em 25 sub-bacias, que representam cada uma das estações amostrais de monitoramento de qualidade das águas operada pelo IGAM. Assim, as áreas das sub-bacias foram delimitadas por meio da utilização dos arquivos *shapefile* de sub-bacias do IGAM (IGAM, 2014).

As classes de uso do solo da bacia do rio Jequitinhonha foram obtidas com base na classificação da cobertura e uso do solo realizada pelo Projeto MapBiomas (Coleção 2.3) (MAPBIOMAS, 2018). Este Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomas) criou mapeamentos anuais de cobertura e uso do solo a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite Landsat entre os anos de 1985 e 2017 com a plataforma *online* de acesso às imagens de sensoriamento remoto classificadas (MAPBIOMAS, 2018). Assim, foram utilizadas as imagens dos anos de 2000 e 2014 da cobertura e uso do solo no formato matricial (resolução espacial de 30x30 metros) para toda a área de drenagem da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha em Minas Gerais. As imagens usadas são formadas por um mosaico contendo 28 camadas de informação incluindo as bandas espectrais, frações e índices. Cada camada representa uma classe de cobertura e uso do solo. As categorias de classificação de cobertura e uso da terra da coleção 2.3 estão listadas em Anexo I.

Deste modo, foram identificados na bacia do Jequitinhonha cinco classes de coberturas naturais (Formações florestais, Formações savânicas, Vegetação campestre (Campos), Outras formações não florestais, Corpos d'água) e cinco classes de usos da terra influenciados pelo homem (Florestas plantadas, Pastagem, Agricultura ou Pastagem, Áreas não vegetadas, Infraestrutura urbana). Assim, foi determinada a variação do tamanho da área de uso e ocupação do solo entre os anos 2000 e 2014 para cada classe. As variáveis de uso e ocupação do solo foram calculadas em porcentagem e transformadas em arco seno da raiz quadrada para fins de normalização da distribuição, para serem utilizadas no modelo estatístico. Também foi gerada para o modelo estatístico

uma variável denominada “% natural” que corresponde à soma das áreas naturais em porcentagem: Formações florestais, Formações savânicas, Vegetação campestre (Campos), Outras formações não florestais. A classe Corpos d’água não foi utilizada no modelo estatístico porque pretende-se verificar a relação das variáveis dos corpos hídricos locais com a cobertura e uso da terra.

Os dados de qualidade da água utilizados foram adquiridos no sistema de monitoramento de qualidade das águas do IGAM, disponíveis para a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha no Portal InfoHidro (IGAM, 2019). Atualmente, a rede de monitoramento da bacia hidrográfica analisada é composta por 29 pontos de coletas, sendo recolhida e analisadas pelo IGAM trimestralmente quatro amostras por ano e cerca de 50 parâmetros (IGAM, 2016b). Nesta pesquisa foram utilizados apenas 25 pontos de monitoramento do IGAM (Figura 1), sendo que os parâmetros de qualidade da água analisados para o ano base 2000 foram obtidos em 13 pontos de monitoramento e para o ano base de 2014 foram utilizados os 25 pontos. As estações de monitoramento utilizadas estão listadas no Anexo II.

A seleção dos anos para análise de qualidade da água foi feita com base nos anos das imagens de uso e ocupação da terra (2000 e 2014) do Projeto MapBiomias. Esses anos foram considerados os “anos base” da pesquisa. Também foi considerada a variabilidade temporal dos parâmetros de qualidade da água, pela adoção de uma série histórica de três anos consecutivos escolhendo um ano anterior e outro posterior aos “anos base” para verificar a influência do uso do solo na qualidade da água (1999, 2000 e 2001: ano base 2000; 2013, 2014 e 2015: ano base 2014). Ressalta-se que o número de pontos de monitoramento do IGAM aumentou durante o período analisado, os quais foram inseridos pelo Instituto ao longo dos anos na área da bacia.

Devido a flutuação temporal dos dados, optou-se por utilizar os valores medianos das variáveis de qualidade da água, haja vista a variabilidade dos mesmos, nos períodos de seca (entre os meses de abril a setembro) e chuvoso (entre os meses de outubro a março) da bacia para os três anos em relação a cada “ano base”, ou seja: 1999, 2000 e 2001 (base 2000) e 2013, 2014 e 2015 (base 2014). Assim, foi gerado um conjunto de variáveis de qualidade da água para o ano de 2000 e outro para o ano de 2014.

Os parâmetros de qualidade da água utilizados na pesquisa são aqueles que compõem o IQA do IGAM (IGAM, 2005). Deste modo, utilizou-se as seguintes variáveis da água: Oxigênio dissolvido (mg/L), Temperatura da Água (°C), Coliformes Termotolerantes / *Escherichia coli* (NMP/100mL), pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L), Nitrato (mg/L), Fósforo total (mg/L), Turbidez (NTU), Sólidos totais (mg/L), conforme metodologia de cálculo do IQA-IGAM (MMA, 2005). O resultado do cálculo do IQA foi utilizado como uma variável no modelo estatístico. No “ano base” 2000 foi utilizado os dados Coliformes Termotolerantes e no “ano base” 2014 foi usado a *E. coli* porque o IGAM substituiu no monitoramento de qualidade da água os dados de Coliformes Termotolerantes por *E. coli* a partir do ano 2013.

4.2 - Análise Estatística

A análise dos dados foi conduzida por meio de análise estatística descritiva e na construção de modelos de regressão múltipla, utilizando as variáveis de uso e ocupação do solo como variáveis independentes e os parâmetros de qualidade da água (de forma individual e o resultado do IQA, nas estações seca e chuvosa) como variáveis dependentes.

Em relação as variáveis de qualidade da água, apenas os parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Temperatura da Água não foram usadas no modelo estatístico porque a DBO não houve variação expressiva, sendo a média, moda e mediana dos dados com resultado de 2 mg/L. Já a Temperatura da Água foi utilizada apenas para o cálculo do IQA.

O conjunto de variáveis de qualidade da água e uso e ocupação do solo foram submetidas às análises estatísticas nos *softwares* Statistica 8 e Minitab 17. Para a análise multivariada, construiu-se modelos de regressão levando em consideração as características ambientais. Nos modelos de regressão múltipla para os anos de 2000 e 2014, foi utilizado o método *forward stepwise* sendo realizado com no máximo dois passos para todas as variáveis do modelo, devido ao número reduzido de amostras (13

em 2000 e 25 em 2014). Desta maneira, cada modelo deveria ter no máximo dois preditores, evitando assim erros de falso positivo (erro Tipo I) (GOTELLI e ELLISON, 2011). Desta forma, foram identificados os usos do solo que contribuem positivo ou negativamente para os parâmetros de qualidade da água na bacia para os anos de 2000 e 2014 na época da seca e da chuva.

5- RESULTADOS

5.1 - Usos da terra

Na comparação entre os anos de 2000 (Figura 2) e 2014 (Figura 3) as classes de uso e ocupação do solo que tiveram crescimento ao longo do período analisado foram (Tabela 3): Agricultura ou Pastagem com expansão de 0,29% (190,94 km²), Corpos d'água 0,11% (77,37 km²), Florestas plantadas 4,77% (3132,70 km²), Infraestrutura urbana 0,14% (86,40 km²), Outras formações não florestais 0,03% (22,13 km²). Enquanto que as classes de uso e ocupação do solo que reduziram entre os anos de 2000 e 2014 foram: Áreas não vegetadas com diminuição de 0,11% (77,37 km²), Formações florestais 3,01% (1979,72 km²), Formações savânicas 1,12% (730,37 km²), Pastagem 0,97% (634,78 km²) e Vegetação campestre 0,15% (96,48 km²).

Tabela 3: Mudança na cobertura e uso da terra nos anos de 2000 e 2014 para a bacia do rio Jequitinhonha

| Classes uso e cobertura da terra | Área km ² | | | % cobertura área da bacia | |
|----------------------------------|----------------------|-----------------|-----------|---------------------------|------------|
| | 2000 | 2014 | Diferença | 2000 | 2014 |
| Agricultura ou Pastagem | 24243,10 | 24434,04 | -190,94 | 36,87 | 37,16 |
| Áreas não vegetadas | 416,81 | 339,43 | 77,37 | 0,63 | 0,52 |
| Corpos d'água | 130,88 | 217,51 | -86,63 | 0,20 | 0,33 |
| Florestas plantadas | 152,34 | 3285,04 | -3132,70 | 0,23 | 5,00 |
| Formações florestais | 18806,79 | 16827,07 | 1979,72 | 28,60 | 25,59 |
| Formações savânicas | 4691,38 | 3961,01 | 730,37 | 7,14 | 6,02 |
| Infraestrutura Urbana | 22,18 | 108,58 | -86,40 | 0,03 | 0,17 |
| Outras formações não florestais | 43,00 | 65,13 | -22,13 | 0,07 | 0,10 |
| Pastagem | 13551,36 | 12916,58 | 634,78 | 20,61 | 19,64 |
| Vegetação campestre (Campos) | 3693,08 | 3596,60 | 96,48 | 5,62 | 5,47 |
| Total | 65750,00 | 65750,00 | - | 100 | 100 |

Figura 2: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha no ano 2000

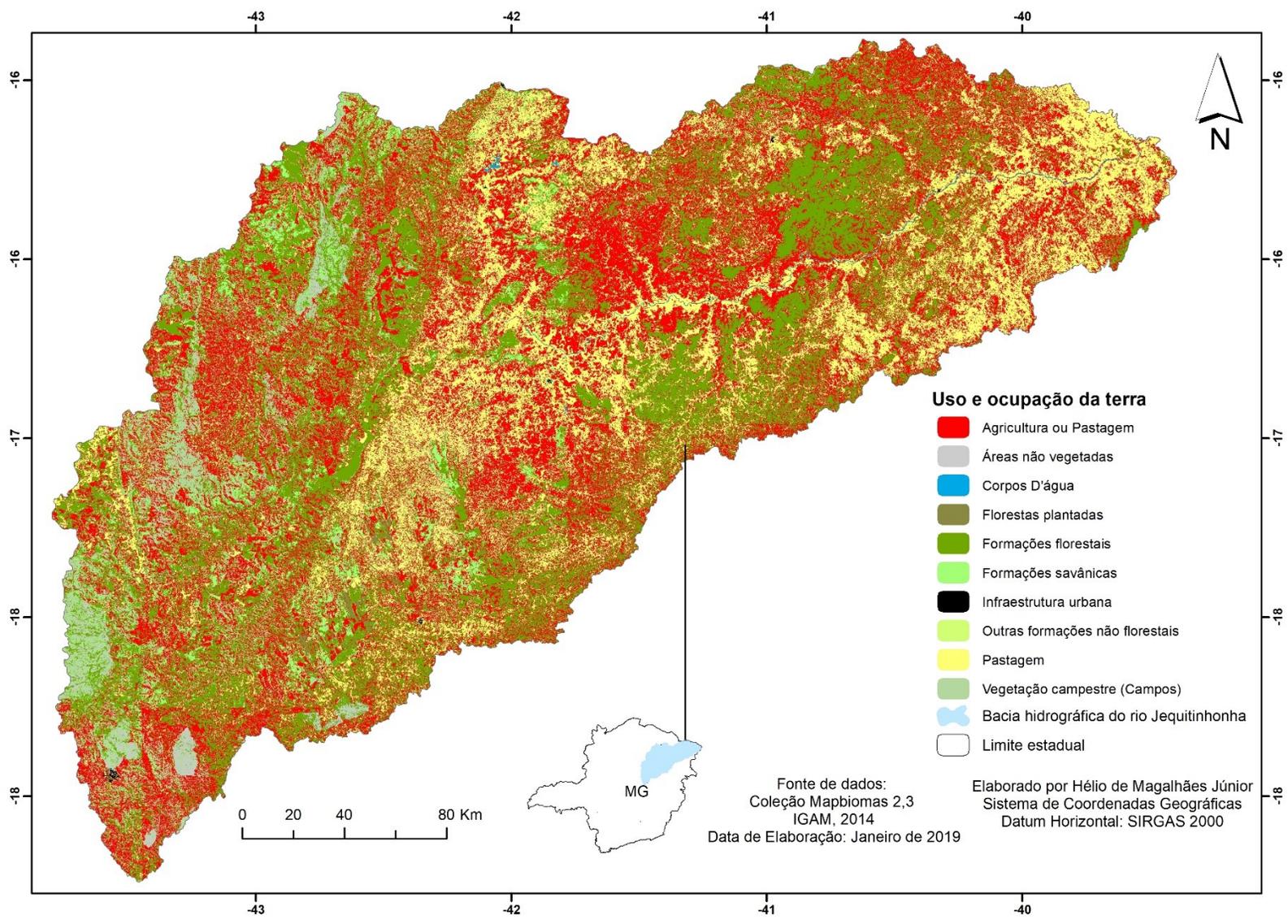
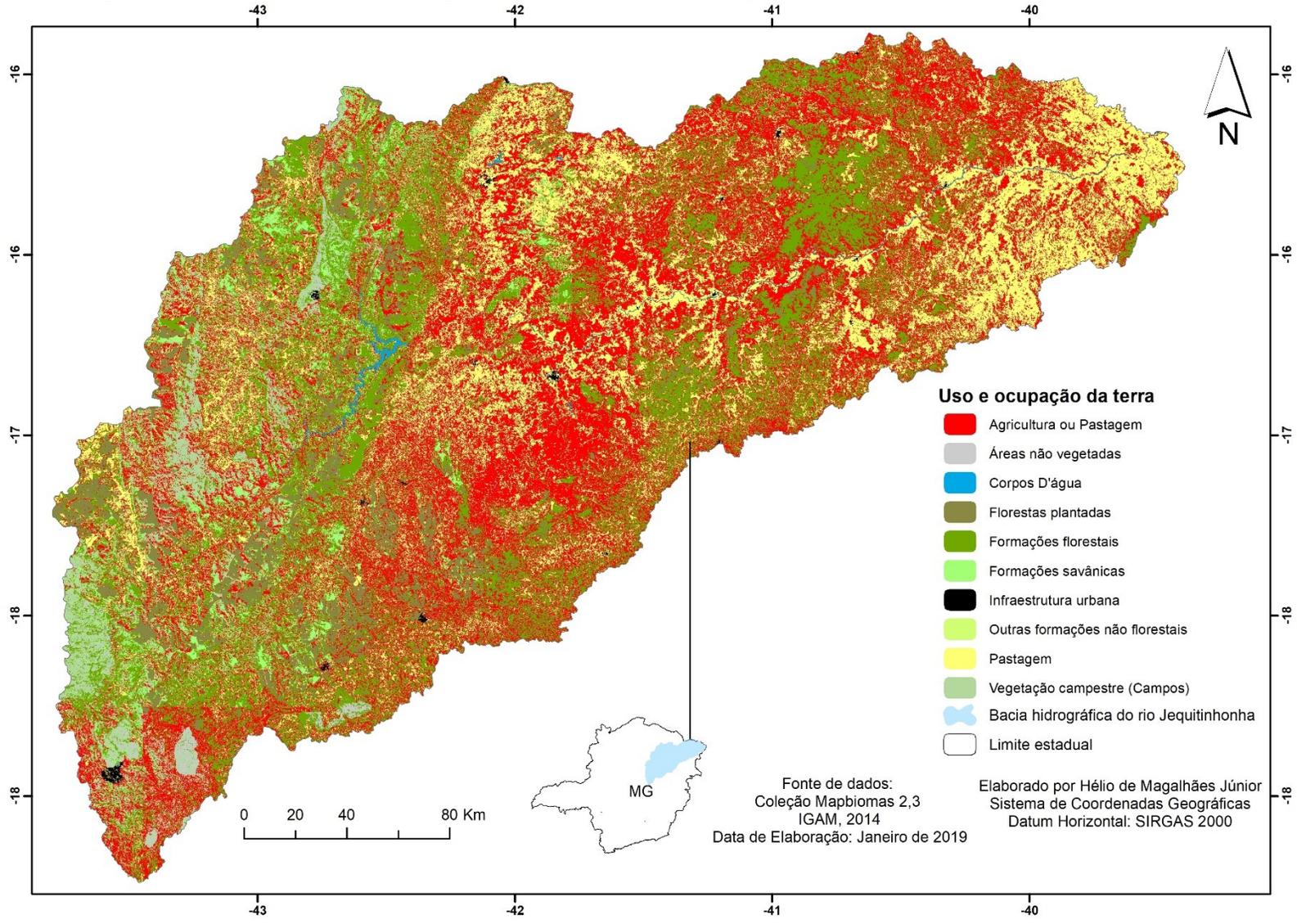


Figura 3: Mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha no ano 2014



5.2 - Qualidade das águas

Na análise comparativa do Índice de Qualidade da Água entre as estações de monitoramento que possuem dados nos anos de 1999 a 2001 e 2013 a 2015, os resultados do IQA (Figuras 4 e 5) obtidos durante a seca, evidenciaram em ambos os períodos analisados (1999 a 2001 e 2013 a 2015) que 85% das estações apresentaram IQA “bom” ($70 < \text{IQA} \leq 90$) e 15% “regular” ($50 < \text{IQA} \leq 70$). Entretanto, durante a estação chuvosa, a frequência da classificação de IQA “regular” alcançou 92% no período de 1999 a 2001 e 38% durante 2013 a 2015, enquanto a classificação do IQA “bom” reduziu para 8% em 1999 a 2001 e para 62% em 2013 a 2015.

Figura 4: Valores do IQA de estações de monitoramento de qualidade da água no período de 1999 a 2001 na bacia do rio Jequitinhonha

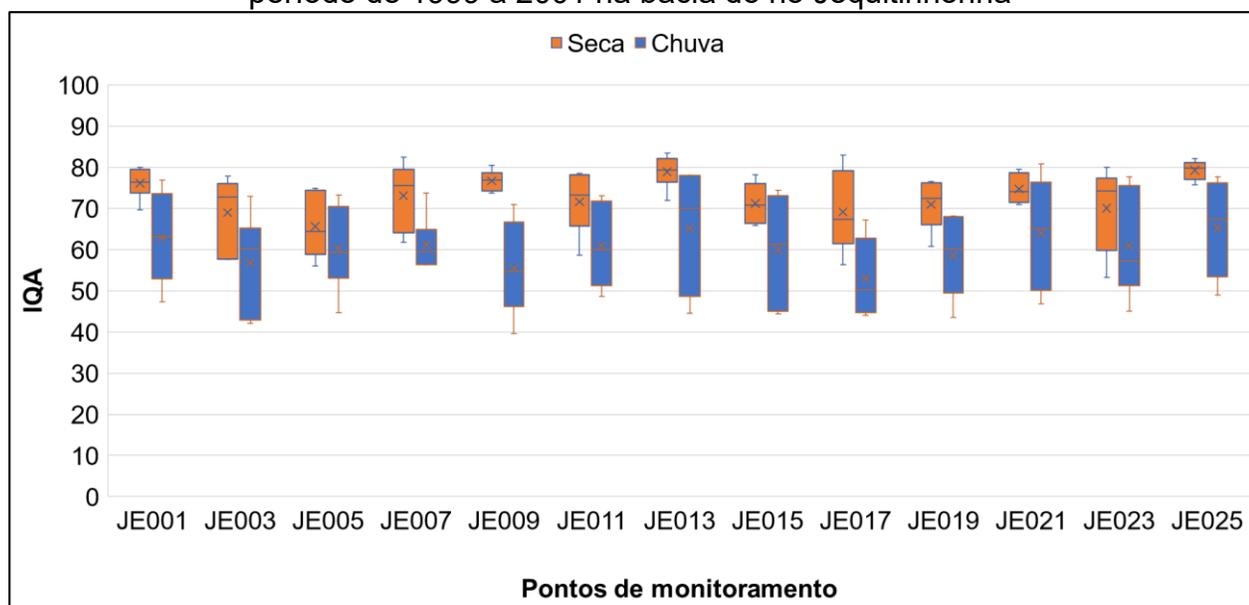
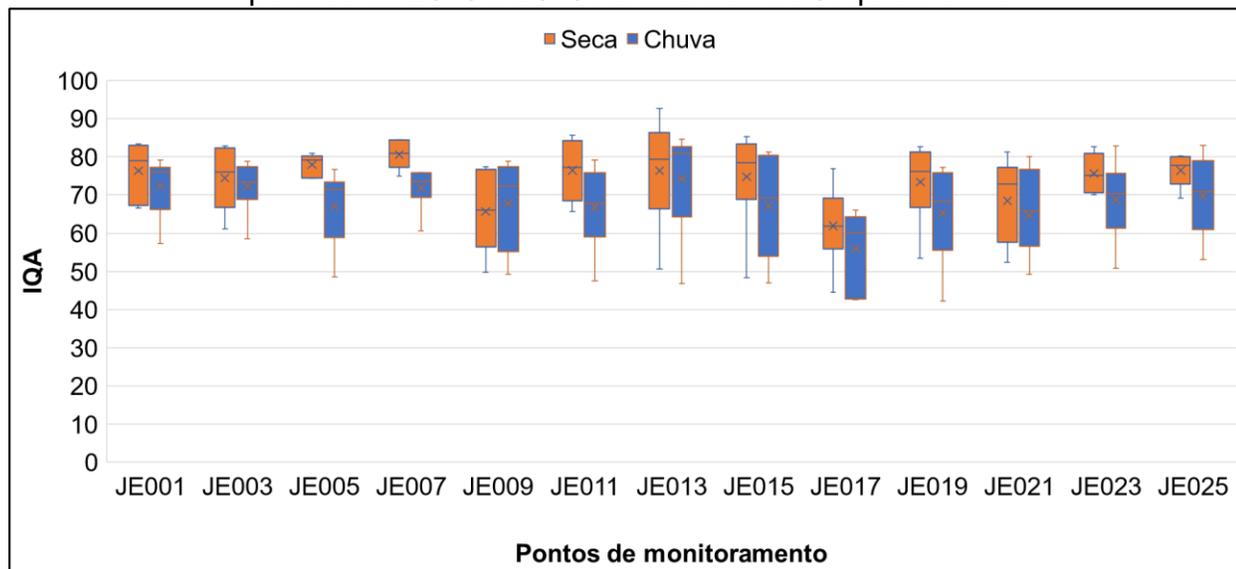
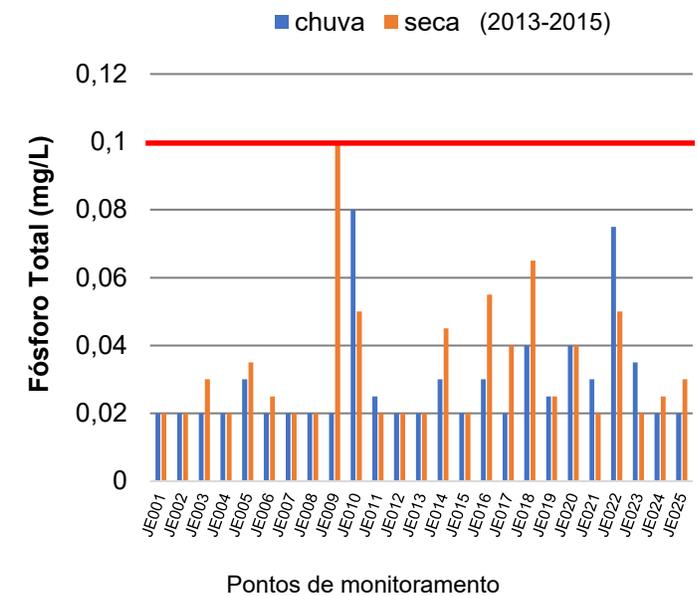
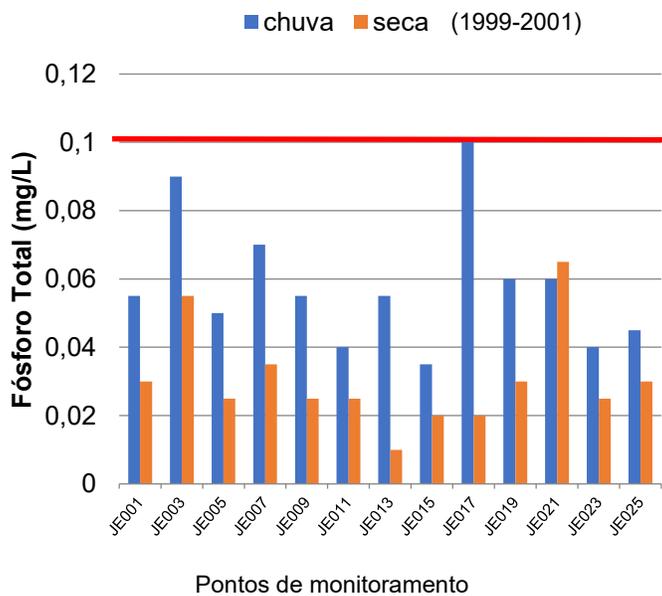
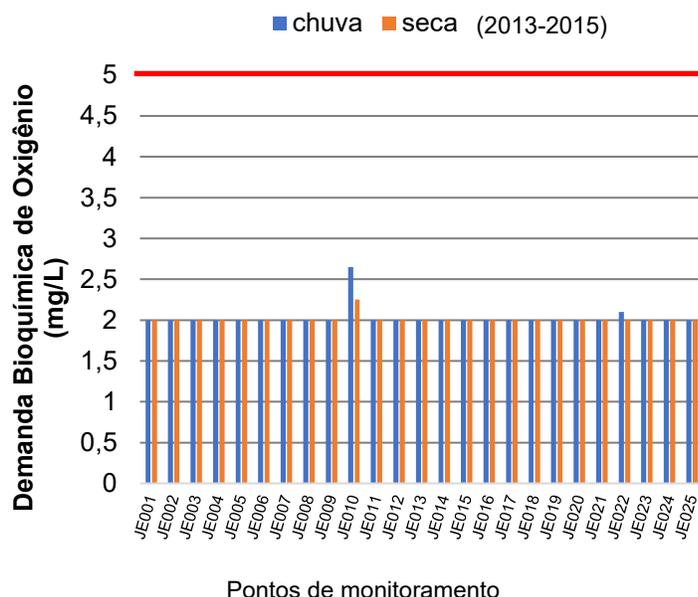
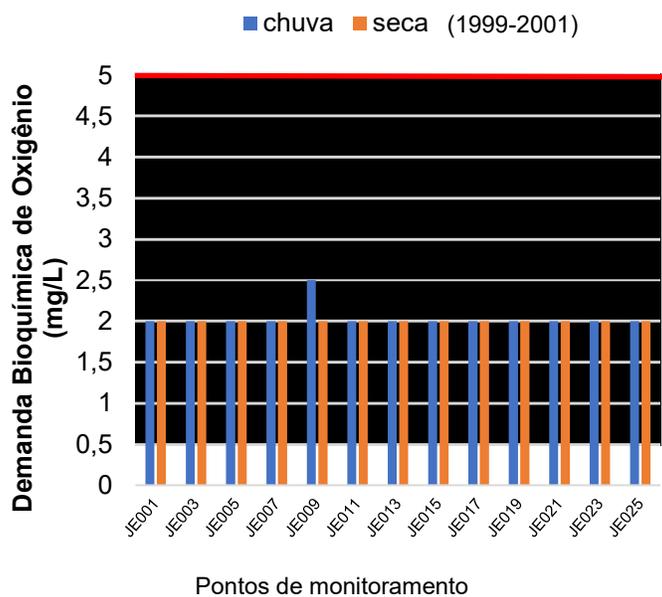


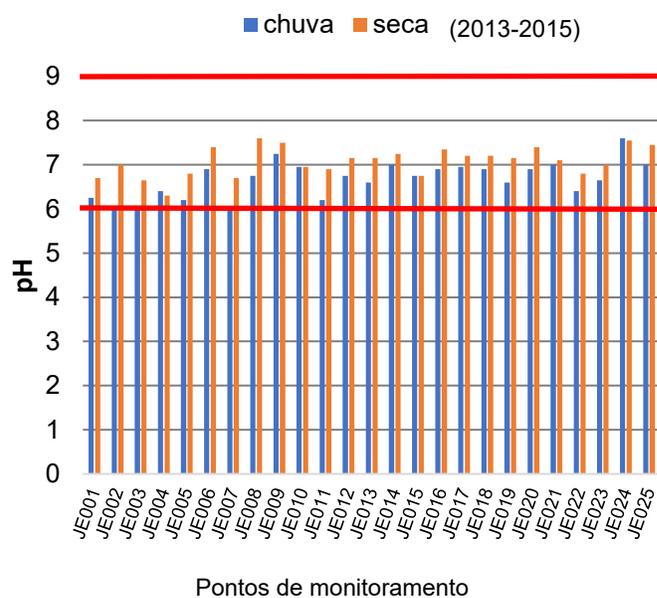
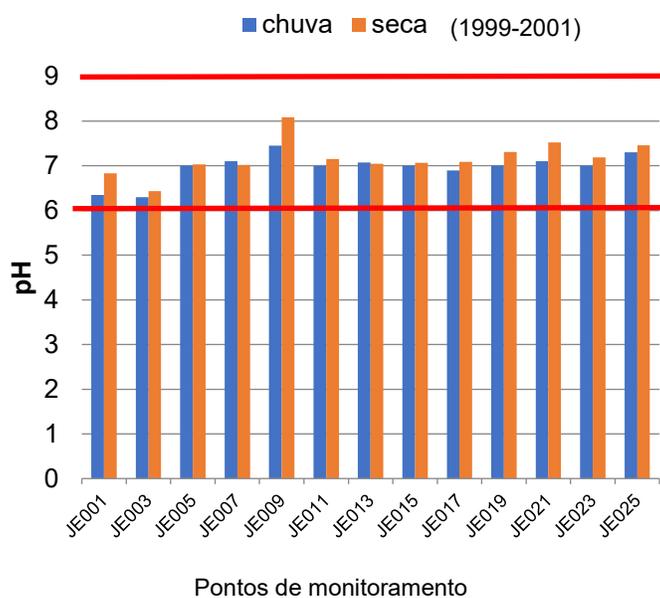
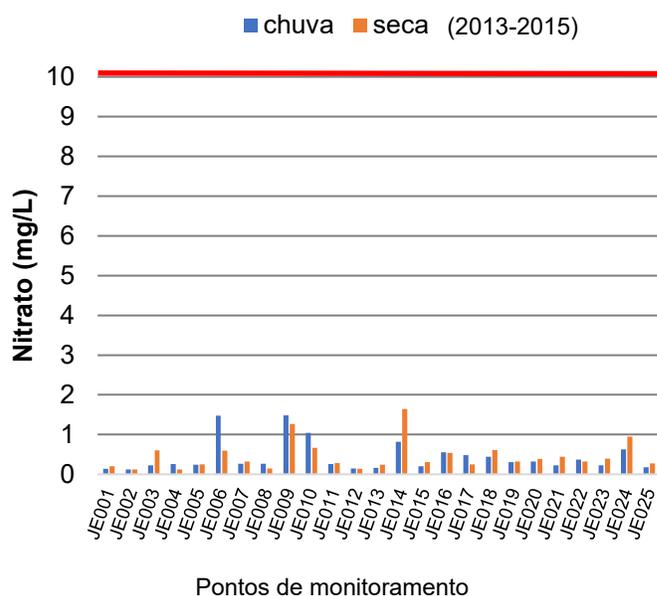
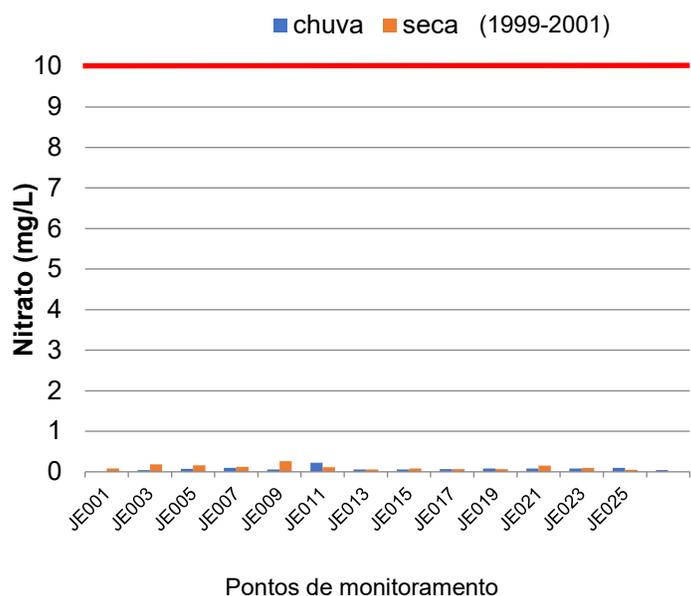
Figura 5: Valores do IQA de estações de monitoramento de qualidade da água no período de 2013 a 2015 na bacia do rio Jequitinhonha



Os resultados obtidos para Demanda Bioquímica de Oxigênio, Fósforo total, Nitrato e pH se mantiveram dentro dos limites de enquadramento da classe 2 em 100% das amostragens, independentemente da interferência da sazonalidade na bacia do rio Jequitinhonha (Figura 6). Estatisticamente, não houve diferença significativa nos resultados evidenciados pelos *boxplots* na Figura 4 e 5.

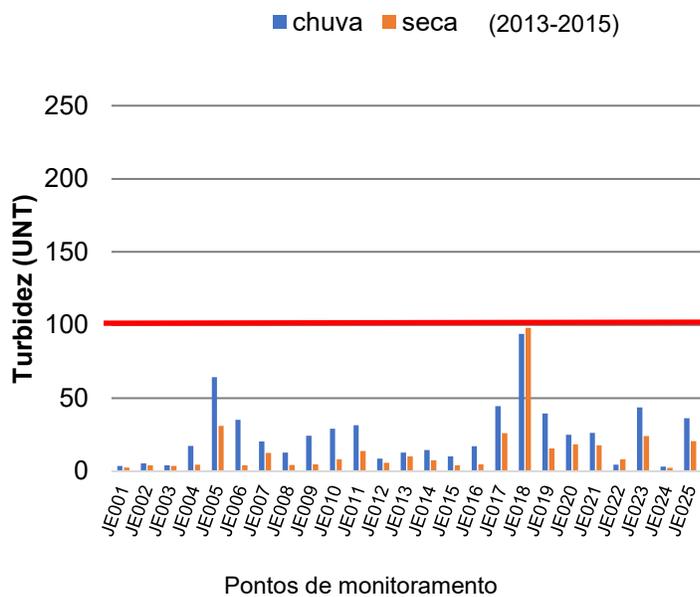
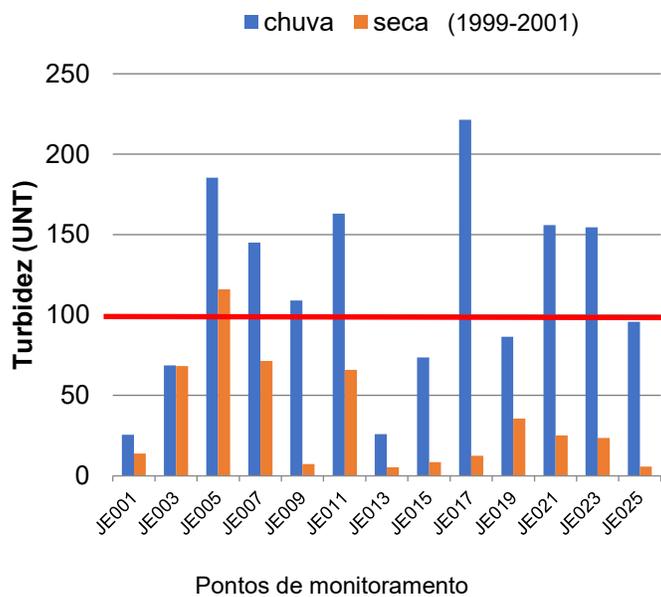
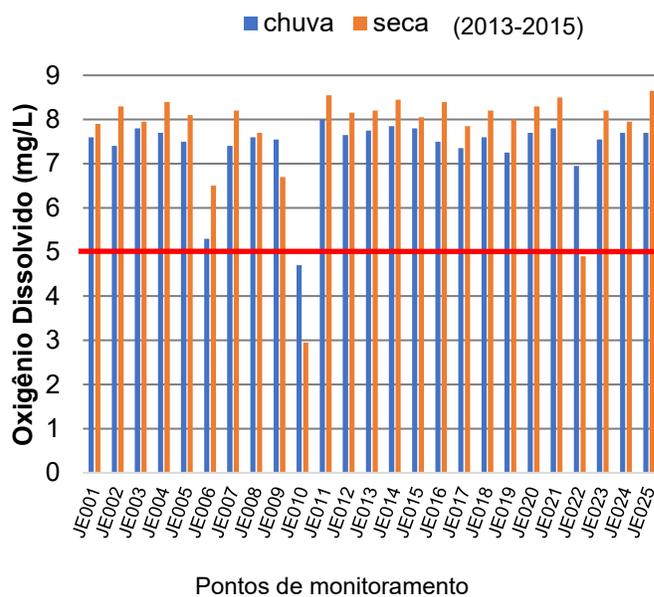
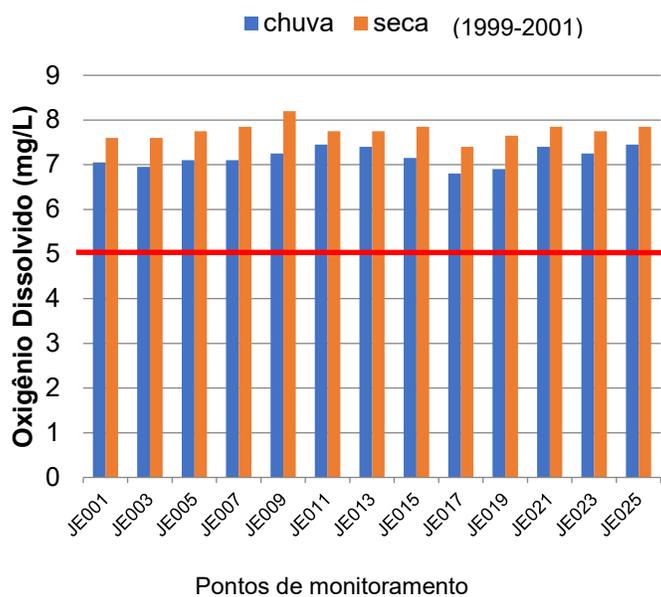
Figura 6: Mediana dos resultados de Demanda Bioquímica de Oxigênio, Fósforo total, Nitrato e pH na bacia do Rio Jequitinhonha. A linha vermelha representa os limites estabelecidos para a classe 2, conforme Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008

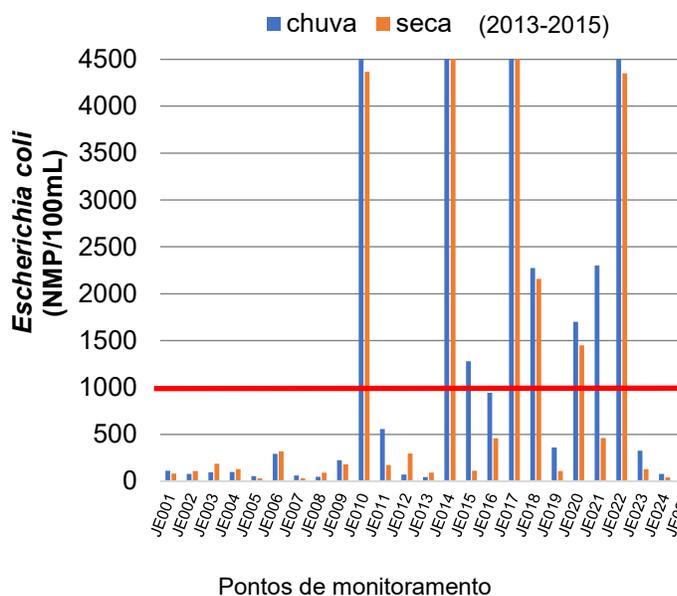
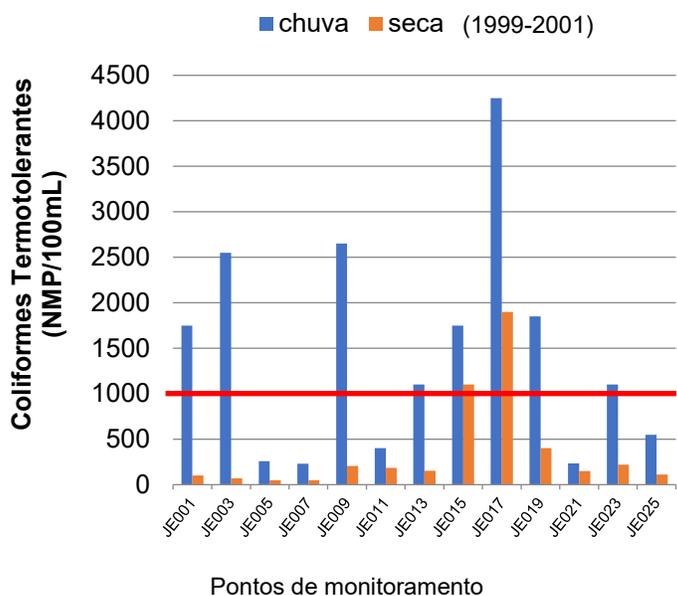
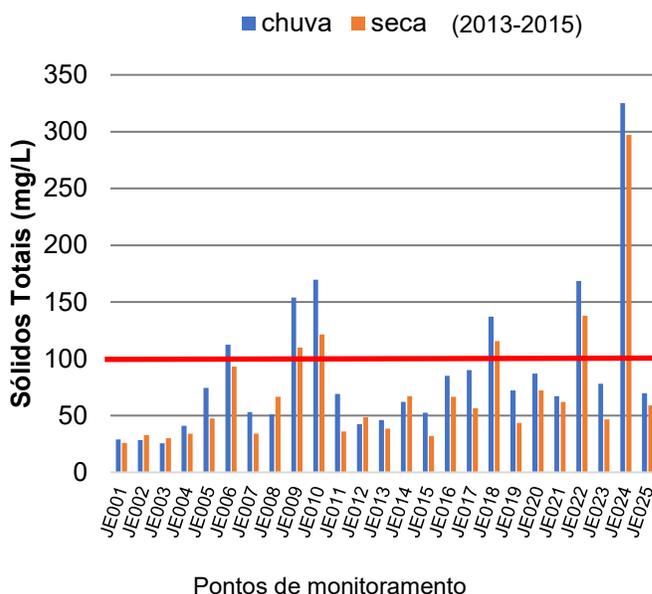
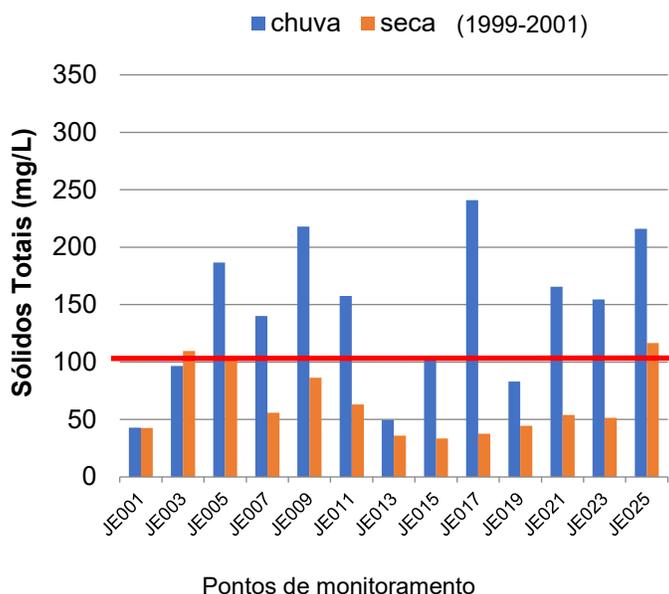




Os resultados para Coliformes Termotolerantes / *E. coli*, Oxigênio dissolvido, Turbidez e Sólidos totais mostram que alguns resultados violaram os padrões estabelecidos pelo enquadramento (Figura 7).

Figura 7: Mediana dos resultados de Coliformes Termotolerantes / E. coli, Oxigênio Dissolvido, Turbidez e Sólidos Totais na bacia do Rio Jequitinhonha. A linha vermelha representa os limites estabelecidos para a classe 2, conforme Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008





Para o Oxigênio dissolvido o limite de enquadramento da classe 2 é não inferior a 5 mg/LO₂. Apenas durante os anos de 2013 a 2015 o Oxigênio dissolvido apresentou no período da chuva uma estação de monitoramento (JE010) com resultado acima do permitido para o enquadramento e duas estações (JE010 e JE022) durante a seca em desconformidade para a classe 2.

O limite da classe 2 de enquadramento para a Turbidez é de 100 UNT. Para a variável turbidez foram observados resultados acima dos padrões estabelecidos entre os anos de 1999 e 2001, em sete estações de monitoramento (54%) durante o período chuvoso e apenas o ponto de monitoramento JE005 violou na seca (8%).

Os Sólidos totais possuem limite de enquadramento para classe 2 em 100 mg/L. Os resultados entre os anos 1999 e 2001 apresentaram nove estações (69%) fora dos limites de enquadramento para Sólidos totais na chuva e três pontos de monitoramento (23%) na seca. Entre 2013 e 2015, seis estações (46%) estavam em desacordo com esse limite durante a chuva e cinco pontos (38%) durante a seca.

Os Coliformes Termotolerantes possuem limite de enquadramento em 1000 NMP/100ml. No período de 1999 a 2001 a variável Coliformes Termotolerantes descumpriu o limite da classe 2 na estação chuvosa em oito pontos de monitoramento (62%), enquanto durante a seca apenas as estações JE015 e JE017 apresentaram resultados desconformes com o enquadramento (16%). Entre os anos de 2013 e 2015 a *E. coli*, limite de enquadramento em 1000 NMP/100ml, em oito estações de monitoramento (32%) apresentaram valores em desconformidade com o enquadramento na chuva e durante o período de seca foram cinco estações (20%).

5.3 – Regressão

No período de seca do ano 2000 (Tabela 4), cinco variáveis de qualidade da água obtiveram associações significativas com variáveis de uso e ocupação do solo: 1) Nitrato foi associado negativamente à área de Formações florestais e positivamente à Formações savânicas ($R^2=0,72$); 2) Oxigênio dissolvido foi positivamente associado à Formações savânicas e Pastagem ($R^2=0,39$); 3) pH associou-se positivamente com Formações savânicas e Pastagem ($R^2=0,82$); 4) Sólidos totais foi associada negativamente à Formações florestais e à Outras formações não florestais ($R^2=0,55$); 5) Turbidez apresentou associação positiva com Vegetação campestre (Campos) e negativa com Agricultura ou Pastagem ($R^2=0,87$).

Tabela 4 - Regressão múltipla entre variáveis físicas e químicas da água e variáveis de coberturas naturais e usos da terra para o ano 2000, no período de seca. Coeficientes β standardizados representam associações positivas e negativas. Valores R^2 com * são significativos ($p \leq 0,05$).

| Seca | Formações florestais | Formações savânicas | Florestas plantadas | Vegetação campestre (Campos) | Outras formações não florestais | Pastagem | Agricultura ou Pastagem | Áreas não vegetadas | Infraestrutura urbana | % Natural | R^2 |
|----------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------|----------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------|
| Coliformes Termotolerantes | -0,43 | | +0,888 | | | | | | | | 0,40 |
| Fósforo total | | | -0,36 | | | | | | +0,376 | | 0,37 |
| Nitrato | -0,87 | +0,349 | | | | | | | | | 0,72* |
| Oxigênio dissolvido | | +0,366 | | | | +0,603 | | | | | 0,39* |
| pH | | +0,249 | | | | +0,936 | | | | | 0,82* |
| Sólidos totais | -0,79 | | | | -0,47 | | | | | | 0,55* |
| Turbidez | | | | +0,982 | | | -0,38 | | | | 0,87* |
| IQA | | | | -0,52 | | | +0,420 | | | | 0,30 |

* $p \leq 0,05$

Para o período chuvoso no ano 2000, foi observada uma redução no número de variáveis significativamente associadas ao uso e ocupação do solo (Tabela 5). Neste caso, o Nitrato associou-se negativamente com Formações florestais e positivamente à Pastagem ($R^2=0,68$); pH foi associado negativamente à áreas de Agricultura ou Pastagem e Áreas não vegetadas ($R^2=0,80$); enquanto a variável Sólidos totais foi associada positivamente à Vegetação campestre (Campos) e negativamente à Áreas não vegetadas ($R^2=0,50$).

Tabela 5 - Regressão múltipla entre variáveis físicas e químicas da água e variáveis de coberturas naturais e usos da terra para o ano 2000, no período de chuva. Coeficientes β standardizados representam associações positivas e negativas. Valores R^2 com * são significativos ($p \leq 0,05$).

| Chuva | Formações florestais | Formações savânicas | Florestas plantadas | Vegetação campestre (Campos) | Outras formações não florestais | Pastagem | Agricultura ou Pastagem | Áreas não vegetadas | Infraestrutura urbana | % Natural | R^2 |
|----------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------|----------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------|
| Coliformes Termotolerantes | | | +0,280 | | | | | | | -0,57 | 0,35 |
| Fósforo total | | | | | | | | | +0,467 | | 0,21 |
| Nitrato | -0,49 | | | | | +0,601 | | | | | 0,68* |
| Oxigênio dissolvido | | | | | | | | | -0,31 | | 0,96 |
| pH | | | | | | | -0,51 | -0,57 | | | 0,80* |
| Sólidos totais | | | | +0,394 | | | | -0,94 | | | 0,50* |
| Turbidez | | | | -0,32 | -0,57 | | | | | | 0,33 |
| IQA | +0,433 | | | | | | | +0,408 | | | 0,36 |

* $p \leq 0,05$

Os resultados referentes ao período seco do ano de 2014 (Tabela 6), demonstraram associação positiva entre *Escherichia coli* e Florestas plantadas e Agricultura ou Pastagem ($R^2=0,31$). O Fósforo total foi associado positivamente às áreas de Agricultura ou Pastagem e negativamente às Áreas não vegetadas ($R^2=0,41$). O Nitrato teve associação positiva com Infraestrutura urbana e negativa com “% natural” ($R^2=0,63$). O Oxigênio dissolvido associou-se negativamente com Outras formações não florestais e positivamente com Áreas não vegetadas ($R^2=0,37$). O pH foi negativamente associado com áreas de campo e agricultura ou pastagem ($R^2=0,43$). A variável de Sólidos totais foi associada negativamente à Florestas plantadas e positivamente à Pastagem ($R^2=0,73$). Enquanto os valores de IQA associaram-se negativamente às áreas de Agricultura ou Pastagem e positivamente às Áreas não vegetadas ($R^2=0,48$).

Tabela 6 - Regressão múltipla entre variáveis físicas e químicas da água e variáveis de coberturas naturais e usos da terra para o ano 2014, no período de seca. Coeficientes β estandardizados representam associações positivas e negativas. Valores R^2 com * são significativos ($p \leq 0,05$).

| Seca | Formações florestais | Formações savânicas | Florestas plantadas | Vegetação campestre (Campos) | Outras formações não florestais | Pastagem | Agricultura ou Pastagem | Áreas não vegetadas | Infraestrutura urbana | % Natural | R^2 |
|-------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------|----------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------|
| <i>Escherichia coli</i> | | | +0,434 | | | | +0,612 | | | | 0,31* |
| Fósforo total | | | | | | | +0,474 | -0,36 | | | 0,41* |
| Nitrato | | | | | | | | | +0,414 | -0,68 | 0,63* |
| Oxigênio dissolvido | | | | | -0,55 | | | +0,297 | | | 0,37* |
| pH | | | | -0,72 | | | -0,20 | | | | 0,43* |
| Sólidos totais | | | -0,14 | | | +0,796 | | | | | 0,73* |
| Turbidez | +0,323 | | | | | | | -0,25 | | | 0,10 |
| IQA | | | | | | | -0,52 | +0,385 | | | 0,48* |

* $p \leq 0,05$

No período de chuva do ano 2014 (Tabela 7), o Nitrato foi negativamente associado à “% natural” e positivamente à Formações savânicas ($R^2=0,75$). O Oxigênio dissolvido foi associado negativamente à Outras formações não florestais e positivamente às Áreas não vegetadas ($R^2=0,49$). O pH teve associação negativa com área de Vegetação campestre (Campos) e positiva com área de Pastagem ($R^2=0,79$). Os Sólidos totais associaram-se somente com Pastagem positivamente ($R^2=0,74$). O IQA associou-se negativamente à Agricultura ou Pastagem e positivamente às Áreas não vegetadas ($R^2=0,38$).

Tabela 7 - Regressão múltipla entre variáveis físicas e químicas da água e variáveis de coberturas naturais e usos da terra para o ano 2014, no período de chuva. Coeficientes β estandardizados representam associações positivas e negativas. Valores R^2 com * são significativos ($p \leq 0,05$).

| Chuva | Formações florestais | Formações savânicas | Florestas plantadas | Vegetação campestre (Campos) | Outras formações não florestais | Pastagem | Agricultura ou Pastagem | Áreas não vegetadas | Infraestrutura urbana | % Natural | R^2 |
|-------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|---------------------------------|----------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-----------|-------|
| <i>Escherichia coli</i> | | | | | | | +0,358 | -0,27 | | | 0,23 |
| Fósforo total | | | | | | | +0,268 | -0,31 | | | 0,19 |
| Nitrato | | +0,827 | | | | | | | | -1,2 | 0,75* |
| Oxigênio dissolvido | | | | | -0,64 | | | +0,326 | | | 0,49* |
| pH | | | | -0,60 | | +0,410 | | | | | 0,79* |
| Sólidos totais | | | | | | +0,861 | | | | | 0,74* |
| Turbidez | | | | | | | | | | | 0,00 |
| IQA | | | | | | | -0,40 | +0,418 | | | 0,38* |

* $p \leq 0,05$

6- DISCUSSÃO

6.1- Uso do solo

No período analisado de uso e ocupação do solo na bacia do rio Jequitinhonha ocorreu o aumento das classes relacionadas às atividades antrópicas em detrimento da diminuição das áreas de cobertura natural. Este processo vem ocorrendo na bacia desde o século XVIII, em função da existência de áreas ricas em recursos minerais e áreas aptas as atividades agropecuárias que implicou em desmatamento de vegetação natural (FERREIRA, 2007).

A classe Formações florestais corresponde a maior área de cobertura natural da bacia do rio Jequitinhonha. Na região há Unidades de Conservação (BRASIL, 2000) que contribuem na conservação das vegetações naturais ao longo da bacia, como exemplos: Parque Nacional das Sempre Vivas, Parque Estadual de Grão Mogol, Parque Estadual do Pico do Itambé, Reserva Biológica Mata Escura, Parque Estadual de Biribiri, Parque Estadual do Rio Preto, Reserva Biológica de Acauã, Área de Preservação Ambiental (APA) do Labirinto, APA da Sussuarana, Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Mata da Califórnia, APA Águas Vertentes, APA Rio Manso, RPPN Água Boa, RPPN Juliano Banko, RPPN Fazenda do Arrenegado, RPPN Fazenda Campos de São Domingos (GAMA, 2013a; GAMA, 2013b). Entretanto, foi observado uma diminuição das áreas de cobertura natural entre os anos de 2000 e 2014 devido ao avanço da fronteira agrícola na região. Conforme a avaliação temporal da cobertura e uso da terra, a classe Formações florestais apresentou uma redução de sua área ao longo do período de estudo (1979,72 km²), assim como a classe de Formações savânicas (730,37 km²) e Vegetação campestre - Campos (96,48 km²). Tal fato pode ser decorrente, principalmente, do aumento da área das classes de Agricultura ou Pastagem (190,94 km²) e Florestas plantadas (3132,70 km²).

A Agricultura ou Pastagem correspondem a classe antrópica com maior área da bacia. A pastagem para pecuária bovina e as plantações de café, cana-de-açúcar, mandioca, milho, feijão são as principais atividades agropecuárias na região do Jequitinhonha (FERREIRA, 2007). A silvicultura é a principal causa do aumento de

Florestas plantadas na bacia. As plantações de eucalipto e pinus tem se estabelecido ao longo da bacia, apesar de sua reconhecida importância econômica para região, as plantações vêm alterando a vegetação natural e trazendo consequências relacionadas às questões fundiárias de permanência do homem no campo, além de problemas de conservação da fauna, flora e dos recursos hídricos (GAMA, 2010).

Houve o aumento da área das classes Corpos d'água (77,37 km²), Infraestrutura urbana (86,40 km²) e Outras formações não florestais (22,13 km²) na bacia do rio Jequitinhonha. Os Corpos d'água expandiram devido ao aumento do número de barragens na bacia para dessedentação animal, irrigação e para implantação de Usinas Hidrelétrica de Energia (UHE) e de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), que são visíveis na resolução espacial utilizada de 30m. Por exemplo, a UHE de Irapé que foi implementada em 2006 na bacia do rio Jequitinhonha com uma potência nominal instalada de 360 Megawatt (GAMA, 2013b). O aumento de Outras áreas não florestais ocorreu provavelmente devido a regeneração da cobertura de vegetação natural.

A Infraestrutura urbana ampliou por causa do crescimento populacional na bacia. Na comparação entre os dados censitários de 2000 e 2010 dos municípios que possuem suas sedes dentro da área da bacia, houve um incremento na região de aproximadamente 30 mil habitantes (IBGE, 2000; IBGE, 2010). A redução da classe Pastagem ocorreu provavelmente pela substituição do pasto por outra atividade agropecuária, correspondendo no aumento da classe Agricultura ou Pastagem e Florestas plantadas. A diminuição da classe Áreas não vegetadas ocorreu possivelmente pelo incremento de Pastagem ou Agricultura e Florestas plantadas.

6.2- Qualidade da água

A respeito da qualidade das águas aferido com o Índice de Qualidade da Água, observou-se que as amostras se classificaram apenas em duas classes do IQA: “bom” e “regular”. No período de seca, houve o predomínio da classificação de IQA “bom”, enquanto na chuva foi o IQA “regular”. Em análise comparativa entre seca e chuva no

período de 1999 a 2001, 77% das amostras passaram da categoria de IQA “bom” na seca para “regular” na chuva, enquanto no período de 2013 a 2015, 23% das amostras alternaram da categoria de IQA “bom” na seca para “regular” na chuva.

Tendo em vista a inerente perda de informações durante o processo de agregação em índices de qualidade de água (SMITH, 1990; LOPES et al., 2016), a análise individual dos parâmetros permite inferir importantes informações sobre possíveis agentes degradadores da qualidade das águas, não demonstrados pelos resultados gerais do IQA (LOPES et al., 2008). Além disso, condições naturais nas respectivas bacias hidrográficas podem comprometer o resultado geral do índice, em função do processo de formulação adotado (LOPES e MAGALHAES JR, 2010).

Deste modo, os parâmetros de qualidade da água que mais influenciaram os resultados do IQA na bacia foram Coliformes Termotolerantes / *E.coli*, Oxigênio dissolvido, Turbidez e Sólidos totais principalmente durante o período chuvoso, possivelmente associados à poluição difusa. As atividades agropecuárias associadas ao manejo inadequado do solo, dessedentação animal e lançamentos de esgoto são as principais atividades antrópicas que podem ter influenciado esses resultados. Durante a estação chuvosa, o escoamento em área agrícola associado ao uso de fertilizantes nas plantações é transportado para o rio, levando à deterioração da qualidade da água do rio (BU et al., 2014), assim como o carreamento de material fecal, associado a criação rebanhos (ARAÚJO et al., 2009; ASSIS e LOPES, 2017).

Analisando individualmente as variáveis de qualidade da água, a Turbidez apresentou desconformidade com o enquadramento apenas no período de 1999 a 2001, tendo durante a estação chuvosa sete estações (JE005, JE007, JE009, JE011, JE017, JE021, JE023) em desconformidade e apenas uma (JE005) durante a seca. Estes resultados evidenciam que a Turbidez pode estar associada a condições climáticas e a poluição difusa (PRODANOFF, 2005) na bacia do rio Jequitinhonha. A Turbidez apresentou maiores valores na chuva devido a maior presença de partículas provenientes do escoamento superficial (VON SPERLING, 2014), evidenciando a inadequada conservação dos solos ao longo da bacia.

Os Coliformes Termotolerantes no período de 1999 a 2001 violaram o limite da classe 2 durante a estação chuvosa em 62% das estações. Esses valores podem estar relacionados à descarga de esgotos domésticos e poluição difusa. No mesmo período ficaram acima do limite permitido durante a seca apenas duas estações (JE015, JE017). Esta condição pode estar relacionada à redução do volume de água dos rios, acarretando na maior concentração de coliformes em pontos específicos (LOPES et al., 2008). Enquanto entre os anos de 2013 e 2015, seis estações de monitoramento (JE010, JE014, JE017, JE018, JE020, JE022) apresentaram valores de *E. coli* em desconformidade com o enquadramento na seca e na chuva e as estações JE015 e JE021 tiveram desconformidade apenas no período chuvoso. Esses resultados refletem os impactos da poluição difusa e do lançamento do esgotamento sanitário em cursos d'água (VON SPERLING e VON SPERLING, 2013; PIAZI et al., 2018).

O Oxigênio dissolvido está relacionado ao tamanho da população e à comunidade de bactérias aeróbias que o sistema aquático pode suportar (GYAWALI et al., 2013). Entre os anos de 2013 e 2015 o Oxigênio dissolvido apresentou durante o período da chuva uma estação (JE010) com resultado acima do permitido para o enquadramento e duas estações (JE010, JE022) durante a seca em desconformidade para a classe 2. O maior aporte de material orgânico nas águas da bacia pode ser o responsável pela na diminuição dos níveis de Oxigênio dissolvido (CARVALHO et al., 2000), como observados nessas estações.

Os resultados para Sólidos totais entre os anos 1999 e 2001 apresentaram nove estações (JE005, JE007, JE009, JE011, JE015, JE017, JE021, JE023, JE025) fora dos limites da classe 2 na chuva e três (JE003, JE005, JE025) na seca. Entre os anos de 2013 e 2015, seis (JE006, JE009, JE010, JE018, JE022, JE024) estavam em desacordo com esse limite durante a chuva e cinco (JE009, JE010, JE018, JE022, JE024) durante a seca. O efeito do escoamento superficial e a poluição difusa (PRODANOFF, 2005; VON SPERLING, 2014) são os principais fatores responsáveis pelos resultados acima do limite do enquadramento na bacia do rio Jequitinhonha.

6.3- Modelo estatístico

A abordagem simplificada utilizada na análise estatística foi capaz de demonstrar algumas associações significativas entre uso e ocupação do solo e qualidade da água na bacia do rio Jequitinhonha. A utilização de toda a área de drenagem da bacia gerou resultados abrangentes, capazes de identificar apenas fontes difusas de poluição dos recursos hídricos superficiais. Os modelos ajudaram a identificar as variáveis de qualidade da água que possuem maior relação com as classes de uso e ocupação do solo.

Condições sanitárias inadequadas, juntamente com excrementos de animais e fertilizantes são as principais fontes de nitrato na água (IGAM, 2009). No ano 2000 no período da seca a variável Nitrato foi associada negativamente à Formações florestais e positivamente à Formações savânicas, sendo esta também verificada em área nativa florestada em pesquisa realizada por Maillard e Santos (2008). No período chuvoso do mesmo ano, o Nitrato também associou-se negativamente à Formações florestais mas correlacionou-se de forma positiva à Pastagem. As associações de Nitrato no ano 2000 podem evidenciar que a floresta contribui na diminuição do nitrato na água pois a vegetação retém nutrientes no solo e reduz o escoamento superficial para os corpos d'água (RESENDE, 2002). Já a associação positiva de Nitrato a área de pasto pode estar relacionada a dessedentação animal e ao carreamento de excrementos de animais ao corpo hídrico no período chuvoso. As áreas de pastagem também apresentaram correlações negativas com as concentrações de nitrato em pesquisa realizada por Menezes et al. (2016). O nitrato é uma das principais formas de nitrogênio associado à contaminação das águas pelas atividades agropecuárias (RESENDE, 2002). O uso de fertilizantes nitrogenados em áreas agrícolas aumenta o nitrato na água dos rios (SHRESTHA e KAZAMA, 2007). Assim, a área de pastagem contribui com a concentração de nitrato na água, atribuída ao uso de fertilizantes e ao escoamento superficial da água de chuva que carrega sedimentos e nutrientes do solo para os corpos hídricos (BUCK et al., 2004; AFED ULLAH et al., 2018).

Em 2014 no período de seca o Nitrato teve associação positiva com Infraestrutura urbana e negativa com “% natural”. Esta associação evidencia que a área urbana contribui com nitrato na água pois a estrutura urbana altera a hidrologia local devido a superfície impermeabilizada e a produção de efluentes nos municípios são lançadas nos corpos hídricos superficiais sem o devido tratamento alterando a qualidade da água (MAILLARD e SANTOS, 2008; MENEZES et al., 2016; AFED ULLAH et al., 2018). A associação negativa com a variável “% natural” reafirmou a relação de que quanto maior a área de cobertura natural, menor é a presença de nitrato na água, como também foi evidenciado nos dois períodos de análise para o ano 2000. No período das chuvas em 2014 o Nitrato também foi negativamente associado à “% natural” e positivamente à Formações savânicas. Apesar dos valores de nitrato estarem em conformidade com enquadramento, os resultados apresentados pelo nitrato são consistentes para o modelo criado na bacia do rio Jequitinhonha e podem contribuir no processo de gestão dos recursos hídricos superficiais na região, a partir da identificação de áreas fonte de poluição para os corpos hídricos.

A variável pH no período da seca no ano 2000 associou-se positivamente com Formações savânicas e Pastagem. A associação positiva durante a estação seca de áreas com vegetação natural e pH também foi verificado em estudo realizado por Bu et al. (2014). Diferentemente da associação na bacia do rio Jequitinhonha, área florestal teve relação negativa com o pH em pesquisa realizada por Gyawali et al. (2013). No período de chuva do ano 2000 a variável pH foi associada negativamente às áreas de Agricultura ou Pastagem e às Áreas não vegetadas, evidenciando a diminuição do pH com o aumento dessas áreas. Tais resultados corroboram com estudo realizado no estado de São Paulo em que houve correlações negativas de pH na água com áreas agricultadas (VANZELA et al., 2010). Tal associação na bacia do Jequitinhonha pode ser resultado do maior aporte de matéria orgânica para a rede de drenagem, em função do escoamento superficial. A matéria orgânica carregada aos rios é oxidada pelos microrganismos aeróbicos e há a liberação de gás carbônico na água, aumentando a concentração de ácido carbônico e diminuindo os valores de pH da água (VANZELA et al., 2010).

Em 2014, durante o período de seca, o pH foi negativamente associado com Vegetação campestre (Campos) e áreas de Agricultura ou Pastagem. O estudo de Bu et al. (2014) também verificou durante a estação seca correlações negativas significativas do pH com usos da terra em atividades agrícolas. No período chuvoso na bacia do rio Jequitinhonha em 2014 o pH teve associação negativa com Vegetação campestre (Campos) e positiva com Pastagem. Essas associações também podem estar relacionadas com queimadas em atividades agropecuárias e incêndios florestais na região, em que os resíduos provenientes das queimadas quando carregados para os rios podem alterar o pH da água (MENESES, 2013). Estudos complementares são necessários para corroborar as associações de pH na bacia do rio Jequitinhonha. Assim como ocorreu para o nitrato, o pH se manteve dentro dos padrões de enquadramento na bacia.

No ano de 2000 apenas no período da seca houve associação significativa, sendo o Oxigênio dissolvido positivamente associado à Formações savânicas e à Pastagem. Durante a estação seca, as áreas com vegetação natural correlacionaram-se positivamente com Oxigênio dissolvido (BU et al., 2014). A cobertura do solo por vegetação natural, como a savana, contribui para a qualidade da água (AFED ULLAH et al., 2018). Essa correlação positiva com cobertura natural também foi verificada em outras pesquisas (MAILLARD e SANTOS, 2008; GYAWALI et al., 2013). Esperava-se a associação negativa do Oxigênio dissolvido e Pastagem como apresentado em outros estudos (BUCK et al., 2004; VANZELA et al., 2010; MENEZES et al., 2016). Áreas agrícolas tiveram correlação negativa com Oxigênio dissolvido durante a estação seca (BU et al., 2014). Para o ano de 2014, independentemente da sazonalidade, o Oxigênio dissolvido associou-se negativamente com a área de Outras formações não florestais e positivamente com as Áreas não vegetadas. Enquanto no ano 2000, a cobertura natural de Outras formações não florestais associou-se de forma negativa ao Oxigênio dissolvido. O solo descoberto demonstrou correlações positivas com as concentrações de oxigênio dissolvido em estudo realizado por Menezes et al. (2016). Novas pesquisas são necessárias para investigar as associações de Oxigênio dissolvido na região do Jequitinhonha.

No ano de 2000 durante o período da seca a variável Sólidos totais foi associada negativamente à área de Formações florestais e à área de Outras formações não florestais. O resultado evidencia que áreas de cobertura natural, seja ela floresta ou não, contribuem para a redução de Sólidos totais na água. Isso ocorre devido a capacidade das áreas com vegetação natural de conter e fixar nutrientes e compostos do solo, evitando o carreamento aos corpos hídricos superficiais. A correlação negativa de área florestada com sólidos totais também foi encontrada na pesquisa de Sliva e Wilians (2001).

Durante o período de chuva do ano 2000 a variável Sólidos totais foi associada positivamente à área de Vegetação campestre (Campos) e negativamente às Áreas não vegetadas. De acordo com o resultado do modelo, a área de campos contribui para o aumento da quantidade de sólidos totais na água. Isso ocorre na bacia provavelmente devido a relação de quanto maior o porte da vegetação menor o escoamento superficial durante o período chuvoso. Em pesquisa realizada por Sliva e Wilians (2001) área de campo correlacionou de forma negativa com sólidos totais na água. As Áreas não vegetadas na bacia do rio Jequitinhonha apresentaram associação negativa com os sólidos totais, sendo responsável pela diminuição da quantidade de sólidos totais na água. Pesquisas complementares são necessárias para corroborar essa associação.

A variável Sólidos totais foi associado negativamente à Florestas plantadas e positivamente à Pastagem em 2014 durante o período de seca. No período de estiagem, em estudo realizado por Menezes et al. (2016) as áreas agrícolas correlacionaram-se negativamente com as concentrações de sólidos totais na água, ocorrendo associação similar para área de Florestas plantadas na bacia do rio Jequitinhonha. Durante o mesmo ano, mas no período da chuva, a variável Sólidos totais associou-se positivamente somente com a área de Pastagem. Essas correlações são similares a outros estudos (TOLEDO e NICONELLA, 2002; VANZELA et. al, 2010), demonstrando a influência das áreas de pastagens no carreamento de sedimentos para os corpos hídricos superficiais. O Oxigênio dissolvido está relacionado ao tamanho da população e à comunidade de bactérias aeróbias que o sistema aquático pode suportar (GYAWALI et al., 2013). As

associações no modelo para Oxigênio dissolvido em 2014 podem ter relação com a não conformidade ao enquadramento no período da chuva e da seca.

As altas taxas de turbidez estão normalmente associadas à estação chuvosa, devido ao incremento do escoamento superficial e carreamento de sedimentos para os cursos d'água (MAILLARD e SANTOS, 2008). Entretanto, na bacia do rio Jequitinhonha, a única associação com a turbidez nesta pesquisa ocorreu no período de seca no ano 2000 sendo positiva para Vegetação campestre (Campos) e negativa com Agricultura ou Pastagem. Essa associação é corroborada pelo o estudo na Bacia hidrográfica do Ribeirão Vermelho em Minas Gerais que no período de baixas precipitações as áreas vegetadas, como a de Campos para o Jequitinhonha, apresentaram correlações positivas com a turbidez (MENEZES et al., 2016). O resultado para a bacia do rio Jequitinhonha pode estar associado ao escoamento superficial oriundo pela irrigação durante o período de seca nas áreas de Agricultura ou Pastagem. Assim como na área do Jequitinhonha, o pasto foi relacionado a turbidez na bacia hidrográfica de Tuakitoto, tendo uma correlação negativa com as variáveis relacionadas a turbidez (BUCK et al., 2004). No modelo desenvolvido por Maillard e Santos (2008) a classe que mais contribui para o aumento da turbidez foi a terra árida seguida pela agropecuária e floresta plantada (MAILLARD e SANTOS, 2008). A agricultura não foi boa preditora na associação com a turbidez no estudo realizado por Sliva e Williams (2001). A associação do modelo estatístico pode ter relação com a violação do enquadramento da turbidez durante a seca no período de 1999 a 2001.

A variável Coliformes Termotolerantes / *E. coli* obteve associação significativa apenas no período da seca no ano de 2014. Essa variável associou-se positivamente com áreas de Florestas plantadas e com áreas de Agricultura ou Pastagem. O resultado evidencia que as atividades antrópicas como a plantação de eucalipto, Agricultura ou Pastagem podem contribuir para o aumento de coliformes na água. Isso ocorre devido a presença de moradias que lançam efluentes na água, além da criação e dessedentação de animais, tais como suínos, aves e bovinos, que contribuem na carga de dejetos nos corpos hídricos superficiais (VANZELA et al., 2010; ASSIS e LOPES, 2017). As atividades de pecuária afetam a qualidade de corpos d'água quando são utilizadas práticas de

manejo com o baixo nível tecnológico, elevando a quantidade de coliformes na água (PINTO et al., 2009).

A pastagem também foi correlacionada com coliformes fecais em outras pesquisas (SLIVA e WILIANS, 2001; BUCK et al., 2004). A correlação de pastagem com coliformes fecais na seca também foi obtida por Maillard e Santos (2008) sendo as causas atribuídas ao pastoreio próximo ao riacho como provável explicação para esse comportamento. A associação do modelo pode ter relação com a violação do enquadramento durante a seca no período 2013 a 2015.

O fósforo nas águas superficiais pode ter origem relacionada a fontes pontuais ou difusas, como associado a esgotos, excrementos de animais, fertilizantes e alguns detergentes (VON SPERLING, 2014). A variável Fósforo total na bacia do rio Jequitinhonha se manteve dentro do limite do enquadramento e obteve apenas uma associação significativa no período da seca no ano 2014. Essa variável foi associada positivamente às áreas de Agricultura ou Pastagem e negativamente às Áreas não vegetadas. Assim como correlacionado em outras pesquisas (TOLEDO e NICOLELLA, 2002; BUCK et al., 2004; BU et al., 2014), os excrementos de animais e fertilizantes oriundos de pasto e agricultura são fontes de fósforo na água. Assim como para a bacia do rio Jequitinhonha, o modelo desenvolvido por Maillard e Santos (2008) apresentou as melhores correlações de fósforo na estação de seca, tendo o solo exposto e plantação de eucalipto como melhor associação positiva para fósforo na água.

A variável IQA na bacia do rio Jequitinhonha associou negativamente às áreas de agricultura ou pastagem e positivamente às áreas não vegetadas durante os períodos da seca e da chuva no ano de 2014. Tal relação é possivelmente associada à contribuição de matéria orgânica e inorgânica aos rios, que são refletidos entre as variáveis que compõem o IQA, tais como as concentrações de Turbidez, Oxigênio Dissolvido, Coliformes termotolerantes / *E. Coli* e Sólidos totais. Esta relação negativa de parâmetros que compõem o IQA com agricultura ou pastagem foi corroborada por vários pesquisadores (SLIVA e WILIANS, 2001; TOLEDO e NICONELLA, 2002; BUCK et al., 2004; MAILLARD e SANTOS, 2008; VANZELA et al., 2010; MENEZES et al., 2016).

Deste modo, cabe ressaltar a importância da efetiva gestão integrada do uso do solo e recursos hídricos, de forma a se alcançar os objetivos propostos pelas diretrizes do enquadramento na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha. De acordo com os Planos Diretores de Recursos Hídricos da bacia do rio Jequitinhonha, há a previsão de que, por exemplo, nos trechos a montante da bacia, em áreas de nascente, seja adotado a classe 1 ou Especial (GAMA, 2010; GAMA, 2013a; GAMA, 2013b). Assim, quando forem implementados os Programas de Efetivação que contêm a definição de objetivos e metas, propostas de ação de gestão, prazos de execução e planos de investimento, as atividades antrópicas na bacia devem ser adequadas aos novos padrões de enquadramento. Neste contexto, destaca-se o papel fundamental de outros instrumentos de gestão de recursos hídricos, como a outorga quantitativa/qualitativa e a cobrança. Deve-se priorizar ações programáticas, como a preservação e/ou recomposição da vegetação ripária, nascentes (Áreas de Proteção Permanentes), uso racional da água (Outorga e Fiscalização), gestão das águas subterrâneas e regularização de vazão (IGAM, 2017).

7- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha tem acarretado na degradação dos recursos hídricos locais. A análise da influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água da bacia do rio Jequitinhonha permitiu compreender essa relação, principalmente com as variáveis que obtiveram mais associações como o Nitrato, Sólidos totais e pH. Atividades de agricultura e pecuária são as que mais influenciaram a qualidade das águas nos últimos anos na bacia.

Dentre os anos analisados os parâmetros de qualidade da água que violaram o enquadramento foram os Coliformes Termotolerantes (*E. Coli*), Oxigênio dissolvido, Turbidez e Sólidos totais. As classes de cobertura e uso da terra que aumentaram no período analisado foram Agricultura ou Pastagem, Florestas plantadas, Infraestrutura urbana, e Outras formações não florestais. Deste modo, foi possível verificar a deterioração da qualidade hídrica superficial devido ao aumento de áreas com atividades antrópicas em detrimento da diminuição de áreas com cobertura natural na bacia.

A violação dos resultados em relação ao enquadramento dos corpos hídricos superficiais na bacia em alguns pontos de monitoramento, principalmente no período de chuva, evidenciou que a qualidade da água prevista para a região do Jequitinhonha não está em conformidade aos objetivos propostos. Deste modo, usos como abastecimento público após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação, pesca podem ser comprometidos em função das atividades antrópicas desenvolvidas na bacia.

Devido ao tamanho da área da bacia do rio Jequitinhonha e à complexidade de fatores que interferem em uma análise de poluição hídrica em escala de bacia hidrográfica, a pesquisa conseguiu apontar alguns fatores, associados à poluição difusa, que podem estar influenciando na qualidade da água na região do Jequitinhonha. A busca por fatores associados a pressões antrópicas e respostas ambientais pode deixar de considerar variáveis importantes que tenha pouca variabilidade na amostra e reduzida capacidade de explicação na análise estatística.

Deste modo, são necessárias pesquisas em escalas de sub-bacias, por exemplo, visando identificar os fatores preponderantes que contribuem na poluição hídrica local. O aumento na quantidade de pontos de monitoramento do IGAM ao longo do período analisado na bacia, a amostragem dos parâmetros de água em datas diferentes entre os anos, foram fatores limitantes da pesquisa e que podem ter influenciado no resultado. A quantidade maior de pontos de monitoramento no segundo período de amostragem (2013 a 2015) gerou um maior banco de dados de parâmetros de água que podem ter interferido no modelo. Além disso, a frequência das amostragens do IGAM, restritas a quatro campanhas anuais, consiste em um outro fator limitante, haja vista a influência de fatores sazonais e possíveis problemas nas amostragens.

Não obstante, este estudo é pioneiro ao abordar a relação do uso e ocupação do solo com a qualidade da água para toda a região da bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais, demonstrando o declínio da qualidade das águas devido à intensificação e expansão geográfica das atividades agropecuárias relacionadas principalmente a agricultura e pastagem. Nestas situações, há a dificuldade e a complexidade de conciliar a gestão do uso do solo com a gestão das águas devido ao modelo vigente de gerenciamento do uso do solo em nível municipal, com a gestão das águas por bacia hidrográfica. Portanto, esta dissertação instiga a necessidade de desenvolvimento de novas pesquisas na região, subsidiando ações dos comitês de bacia hidrográficas e a gestão integrada de recursos hídricos com o uso do solo.

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFED ULLAH, K.; JIANG, J.; WANG, P. Land use impacts on surface water quality by statistical approaches. **Global Journal of Environmental Science and Management**, v. 4, n. 2, p. 231-250, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos: informe 2015**. Agência Nacional de Águas. Brasília, 88 p., 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos: informe 2016**. Agência Nacional de Águas. Brasília, 95 p., 2016.

ARAÚJO, P. O. L.C; LOPES, F. W. A; MACEDO, R. L. G.; PEREIRA, J. A. A. Avaliação da qualidade das águas superficiais na Fazenda da Escola Agrotécnica Federal de Barbacena-MG. **Revista Geografias**, v.2, n.5, p. 93-106, 2009.

ASSIS, E.; LOPES, F. W. A. Avaliação da qualidade das águas na bacia do Ribeirão das Araras, Córrego Danta (MG). **Caminhos de Geografia**, 18(63), p. 133-152, 2017.

BARBIERI, A. F.; GUERRA, C. B.; TORRES, H. G.; SIMÕES, R. F.; REIS, A. V.; SCLIAR, C.; ABDO, R. O. O.; LINS, S. Atividades antrópicas e impactos ambientais. In: **Biodiversidade, população e economia: uma região de mata atlântica**, p. 271-344, 1997.

BRASIL. **Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Publicada no Diário Oficial da União, de 09/01/1997.

BRASIL. **Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Publicada no Diário Oficial da União, de 18/07/2000.

BRASIL. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicada no Diário Oficial da União, de 18/03/2005.

BRASIL. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Publicada no Diário Oficial da União, de 16/05/2011.

BRIERLEY, G. J. Landscape memory: the imprint of the past on contemporary landscape forms and processes. **Area**, v. 42, n. 1, p. 76-85, 2010.

BU, H.; MENG, W.; ZHANG, Y.; WAN, J. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China. **Ecological Indicators**, ed. 41, p. 187-197, 2014.

BUCK, O.; NIYOGI, D. K.; TOWNSEND, C. R. Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments. **Environmental Pollution**, v. 130, n. 2, p. 287-299, 2004.

BUENO, L. F.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do Horto Ouro Verde - Conchal - SP. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v. 25, n. 3, p. 742-748, 2005.

CARNEIRO, P. R. F.; CARDOSO, A. L.; ZAMPRONIO, G. B.; MARTINGIL, M. C. A Gestão Integrada de Recursos Hídricos e do Uso do Solo em bacias urbano-metropolitanas: o controle de inundações na bacia dos rios Iguaçú/Sarapuí, na Baixada Fluminense. **Ambiente & Sociedade**. Campinas v. XIII, n. 1, p. 29-49., 2010.

CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, p. 618-622., 2000.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Índices de Qualidade das Águas, Critérios de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos e Indicador de Controle de Fontes**. São Paulo, Apêndice B, Série Relatórios, 28 p., 2008.

COSKUN, G. H.; ALPARSLAN, E. Environmental modelling of Omerli catchment area in Istanbul, Turkey using remote sensing and GIS techniques. **Environmental Monitoring & Assessment**, v. 153 Issue 1-4, p. 323-332, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Shapefiles**. DNIT, 2015. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>>. Acesso em 10 outubro de 2018.

FERREIRA, D. F. **Análise multivariada**. Lavras: Universidade Federal de Lavras – UFLA, 394 p., 1996

FERREIRA, V. O. **Paisagem, recursos hídricos e desenvolvimento econômico na bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais**. Tese (Doutorado em Geografia) –

Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 291 p., 2007.

FERREIRA, V. O.; SAADI, A. Paisagens culturais da bacia do rio Jequitinhonha, em Minas Gerais. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia – UFU. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v.5, n.14, p. 2-26, 2013

FERREIRA, V. O.; SILVA, M. M. O clima da Bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais: Subsídios para a gestão de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 302-319, 2012.

GALIZONI, F. M.; RIBEIRO, E. M.; SANTOS, I. F.; CHIODI, R. E.; LIMA, V. M. P. Água e aglomeração espacial da população rural do alto Jequitinhonha, Minas Gerais. Associação Brasileira de Estudos Populacionais – ABEP, **Anais do XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais**, 18 p., 2006.

GAMA ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Araçuaí – Relatório Síntese**. Gama Engenharia. Novembro, 2010. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/downloads/publicacoes-tecnicas/bacia-hidrografica-do-rio-jequitinhonha/8200-upgrhj2rio-aracuai>>. Acesso em: 05 de outubro de 2017.

GAMA ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório Diagnóstico dos Afluentes do alto rio Jequitinhonha (JQ1) RT2**. Gama Engenharia. Setembro, 2013a. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/downloads/publicacoes-tecnicas/bacia-hidrografica-do-rio-jequitinhonha/upgrhj1alto-rio-jequitinhonha/8864-diagnostico>>. Acesso em 05 de outubro de 2017.

GAMA ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório Diagnóstico dos Afluentes do médio e baixo Jequitinhonha (JQ3) RT2**. Gama Engenharia. Setembro, 2013b. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/downloads/publicacoes-tecnicas/bacia-hidrografica-do-rio-jequitinhonha/upgrhj3medio-e-baixo-rio-jequitinhonha/8867-diagnostico>>. Acesso em 05 de outubro de 2017.

GYAWALI, S.; TECHATO, K.; MONPRAPUSSORN, S.; YUANGYAI, C. Integrating Land use and Water quality for Environmental based land use planning for U-tapao River Basin, Thailand. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, ed. 91, p. 556 - 563, 2013.

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em ecologia**. 1ª Edição, Artmed Editora, 2011.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise Multivariada de Dados**. 5ª Edição, Editora Bookman, Porto Alegre, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Bases Cartográficas, Malhas Digitais. IBGE, 2015.** Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/UFs/MG/>. Acesso em 10 outubro de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico 2000.** IBGE, 2000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/saude/9663-censo-demografico-2000.html?edicao=9771&t=sobre>>. Acesso em 10 de novembro de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico 2010.** IBGE, 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em 10 de novembro de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jequitinhonha. Diretrizes gerais para a ordenação territorial. Ministério do Planejamento e Orçamento.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1ª Divisão de Geociências do Nordeste. Salvador, 1997.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Bases Cartográficas digitais. IGAM, 2014.** Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=90&Itemid=147>. Acesso em 10 outubro de 2018.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Boletim Anual da Qualidade das Águas na bacia hidrográfica do Alto rio Jequitinhonha.** Gerência de Monitoramento de Qualidade das Águas. Belo Horizonte, 5 p., 2016b.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Dados de monitoramento. Portal InfoHidro. IGAM, 2018.** Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/serie-historica>>. Acesso em 12 de janeiro de 2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia do rio Jequitinhonha em 2009.** Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte, 154 p., 2010.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Portal InfoHidro. Bacia do rio Jequitinhonha. IGAM, 2019.** Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/unidades-de-planejamento/bacia-do-rio-jequitinhonha>>. Acesso em 15 de janeiro de 2019.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Proposta de instituição do Comitê da bacia hidrográfica Afluentes Mineiros do Alto Jequitinhonha (UPGRH-JQ1). Diagnóstico Sócio-Econômico ambiental apresentado ao Conselho Estadual**

de Recursos Hídricos, como pré-requisito de aprovação do Comitê. Comissão Pró-Comitê 2009. Minas Geras, 56 p., 2009.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2015: resumo executivo.** Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte, 179 p., 2016a.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Relatório anual de gestão e situação dos recursos hídricos de Minas Gerais – 2015.** Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte, 198 p., 2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Relatório Anual de Gestão e Situação dos Recursos Hídricos de Minas Gerais - 2014.** Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte, 142 p., 2015.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Sistema de cálculo da qualidade da água (SCQA): estabelecimento das equações do Índice de Qualidade das Águas (IQA). Relatório 1.** 2005. Disponível em: <http://aguas.igam.mg.gov.br/aguas/downloads/SCQA_final.pdf>. Acesso em 10 outubro de 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Freshwater Resources. In: **Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report.** Cambridge University Press, p. 229-270, 2014.

JULIAN, J. P.; BEURS, K. M. D.; OWSLEY, B.; DAVIES-COLLEY, R. J.; AUSSEIL, A. G. E. River water quality changes in New Zealand over 26 years: response to land use intensity. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 21, n. 2, p. 1149-1171, 2017.

LANNA, A. E. Gestão dos recursos hídricos. In: Tucci, C. E. M. (org). **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Editora UFRGS, 3ª edição, p. 727-768, 2002.

LEE, S. W., HWANG, S. J., LEE, S. B., HWANG, H. S.; SUNG, H. C. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. **Landscape and Urban Planning**, v. 92, n. 2, p. 80-89, 2009.

LOPES, F. W. A.; DAVIES-COLLEY, R. J.; VON SPERLING, E.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. A water quality index for Brazilian freshwaters. **Journal of Water and Health**, 14(2), p. 243-254, 2016.

LOPES, F. W. A.; MAGALHÃES JR; A.P.; PEREIRA, J.A. Avaliação da qualidade das águas e condições de balneabilidade na bacia do Ribeirão de Carrancas-MG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.13, n.4, p.111-119, 2008.

LOPES, F. W. A.; MAGALHÃES JR; A.P. Influência das condições naturais de pH sobre o Índice de Qualidade das Águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. **Revista Geografias**, v. 6, n. 2, p. 134-147, 2010.

MAILLARD, P.; SANTOS, N. A. P. A spatial-statistical approach for modelling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed - Brazil. **Journal of Environmental Management**, Estados Unidos, v. 86, p. 158-170, 2008.

MAPBIOMAS. **Coleção 2.3 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Projeto MapBiomass. 2018. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 10 de Junho de 2018.

MENESES, B. Os incêndios florestais e a qualidade da água. **Anais do 8º Congresso Ibérico de Gestão e Planeamento da Água**, Lisboa, p. 977-984, 2013.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. D. S.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. D. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 519-534, 2016.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicada no Diário Executivo de Minas Gerais, de 13/05/2008.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa CERH - MG nº 06, de 04 de outubro de 2002**. Estabelece as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. Publicada no Diário Executivo de Minas Gerais, de 05/10/2002.

MINAS GERAIS. **Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Publicada no Diário Executivo de Minas Gerais, de 21/06/1994.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Publicado no Diário Oficial da União nº 239, de 14/12/2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Sistema de Cálculo da Qualidade da Água (SCQA) Estabelecimento das Equações do índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Programa Nacional do Meio Ambiente–PNMA II, Relatório 1, 16 p., 2005.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C.; CALADO, V. **Estatística Aplicada e Probabilidade Para Engenheiros**. 6 Edição, Grupo Gen-LTC, 2016.

NONATO, E. A.; VIOLA, Z. G. G.; ALMEIDA, K. C. B.; SCHOR, H. H. R. Tratamento Estatístico dos Parâmetros da Qualidade das Águas da Bacia do Alto Curso do rio das Velhas. **Química Nova**. v. 30, nº4, p. 797-804, 2007.

PIAZI, J.; LOPES, F. W. A; AZEVEDO, Ú. R. Correlação entre qualidade das águas e outorgas superficiais no trecho alto da bacia do médio rio das Velhas, Minas Gerais, Brasil/Water quality and granting of permits for water use in the middle course of Velhas river basin, Minas Gerais, Brazil. **Caderno de Geografia**, v. 28, n. 55, p. 828-844, 2018.

PINTO, D. B. F.; SILVA, A. M. D.; MELLO, C. R. D.; COELHO, G. Qualidade da água do Ribeirão Lavrinha na região do Alto Rio Grande - MG, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1145-1152, 2009.

PRODANOFF, J. H. **Avaliação da Poluição Difusa Gerada por Enxurradas em Meio Urbano**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 266 p., 2005.

RIBEIRO, E. M.; GALIZONI, F. M.; SILVESTRE, L. H.; CALIXTO, J. S.; ASSIS, T. P.; AYRES, E. B. Agricultura familiar e programas de desenvolvimento rural no Alto Jequitinhonha. **Revista Economia Sociologia Rural**, v. 45, nº 4, p.1075-1102, 2007.

RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Planaltina: Embrapa Cerrados - Documentos (INFOTECA-E), 29 p., 2002.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água. Tecnologia atualizada**. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 332 p., 1991.

SANTOS, J. P.; MARTINS, I.; CALLISTO, M.; MACEDO, D. R. Relações entre qualidade da água e uso e cobertura do solo em múltiplas escalas espaciais na bacia do Rio Pandeiros, Minas Gerais. **Revista Espinhaço, UFVJM**, p. 36-46, 2017.

SHRESTHA, S. KAZAMA, F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. Environmental Modelling & Software: **Environmental Risk and Emergency Management**, v. 22, Issue 4, p. 464-475, 2007.

SLIVA, L.; WILLIAMS, D., D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality. **Water research**, v. 35, n. 14, p. 3462-3472, 2001.

SMITH, D. G. A better water quality indexing system for rivers and streams. **Water Research**, v. 24(10), p.1237-1244, 1990.

SUTADIAN, A. D.; MUTTIL, N.; YILMAZ, A. G.; PERERA, B. J. C. Development of a water quality index for rivers in West Java Province, Indonesia. **Ecological Indicators**, v. 85, p. 966-982, 2018.

TCHOBANOGLIOUS, G.; SCHROEDER, E. D. **Water quality: characteristics, modeling, modification**. Addison-Wesley, Reading, MA., 768 p., 1985.

TOLEDO, L. G. de; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agricola**, v. 59, n.1, p.181-186, 2002.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n.63, p.1-16, 2008.

VANZELA, L.; HERNANDEZ, 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-Agriambi**, v. 14, n. 1., 2010.

VON SPERLING, M. **Autodepuração dos cursos d'água**. Dissertação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 366 p., 1983.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 4ª edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 472 p., 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3ª edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, Volume 1, 452 p., 2005.

VON SPERLING, M.; HELLER, L.; NAGHETTINI, M.; NASCIMENTO, N. O. Análise preliminar de dados experimentais e de monitoramento. In: **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 4ª edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, p. 417-456, 2014.

VON SPERLING, M.; VON SPERLING, E. Challenges for bathing in rivers in terms of compliance with coliform standards. Case study in a large urbanized basin (das Velhas River, Brazil). **Water Science and Technology**, v. 67, n. 11, p. 2534-2542, 2013.

WORLD HEALTH ORGANISATION - WHO. **Guidelines for drinking-water quality**. Recommendations. WHO, Geneva, 2 edition, v. 1, 188 p., 1993.

9- ANEXOS

Anexo I - Códigos da legenda para os valores de pixel na Coleção 2.3 das imagens MapBiomas

| Categorias da Imagem | Valor do Pixel |
|-------------------------------------------|-----------------------|
| 1. Floresta | 1 |
| 1.1. Florestas naturais | 2 |
| 1.1.1. Formações florestais | 3 |
| 1.1.2. Formações savânicas | 4 |
| 1.1.3. Mangue | 5 |
| 1.2. Florestas plantadas | 9 |
| 2. Formações naturais não florestais | 10 |
| 2.1. Áreas Úmidas Naturais não florestais | 11 |
| 2.2. Vegetação campestre (Campos) | 12 |
| 2.3. Outras formações não florestais | 13 |
| 3. Uso Agropecuário | 14 |
| 3.1. Pastagem | 15 |
| 3.2. Agricultura | 18 |
| 3.3. Agricultura ou Pastagem | 21 |
| 4. Áreas não vegetadas | 22 |
| 4.1. Praias e dunas | 23 |
| 4.2. Infraestrutura Urbana | 24 |
| 4.3. Outras áreas não vegetadas | 25 |
| 5. Corpos d'água | 26 |
| 6. Não observado | 27 |

Fonte: Adaptado de MapBiomas (2018).

Anexo II - Distribuição das estações de monitoramento do IGAM e seus respectivos rios na bacia do rio Jequitinhonha

| UPGRH | Estação | Data de Estabelecimento da Estação | Localização |
|-------|---------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| JQ1 | JE001 | 21/07/1997 | Rio Jequitinhonha a jusante da localidade de São Gonçalo do Rio de Pedras |
| | JE002 | 22/03/2013 | Rio Congonhas a montante do rio Itacambiruçu |
| | JE003 | 21/07/1997 | Rio Jequitinhonha na localidade de Mendanha |
| | JE004 | 22/03/2013 | Rio Itacambiruçu a jusante do rio Congonhas |
| | JE005 | 22/07/1997 | Rio Jequitinhonha próximo a localidade de Caçaratiba |
| | JE007 | 22/07/1997 | Rio Jequitinhonha a jusante da confluência com o rio Itacambiruçu |
| | JE008 | 24/01/2013 | Rio Vacaria próximo ao município de Padre Carvalho. |
| | JQ2 | JE012 | 15/02/2009 |
| JE013 | | 22/07/1997 | Rio Araçuaí à jusante da confluência com o Rio Itamarandiba |
| JE014 | | 15/02/2009 | Rio Fanado em Minas Novas |
| JE015 | | 22/07/1997 | Rio Araçuaí, à jusante da cidade de Berilo |
| JE016 | | 15/02/2009 | Rio Gravatá próximo a sua foz no rio Araçuaí |
| JE017 | | 23/07/1997 | Rio Araçuaí na cidade Araçuaí |
| JE018 | | 15/02/2009 | Rio Setúbal na localidade de Setúbal |
| JQ3 | JE006 | 24/01/2013 | Rio Salinas à montante da cidade de Salinas. |
| | JE009 | 23/07/1997 | Rio Salinas à jusante da cidade de Rubelita |
| | JE010 | 17/02/2009 | Rio Salinas na cidade de Salinas |
| | JE011 | 23/07/1997 | Rio Jequitinhonha a montante da confluência com o Rio Araçuaí |
| | JE019 | 24/07/1997 | Rio Jequitinhonha a montante da confluência com o Rio Itinga |
| | JE020 | 17/02/2009 | Rio São Miguel próximo de sua foz no rio Jequitinhonha |
| | JE021 | 25/07/1997 | Rio Jequitinhonha na cidade de Jequitinhonha |
| | JE022 | 17/02/2009 | Rio São Francisco próximo de sua foz no rio Jequitinhonha |
| | JE023 | 25/07/1997 | Rio Jequitinhonha na cidade de Almenara |
| | JE024 | 18/02/2009 | Rio Rubim do Sul próximo a sua foz no rio Jequitinhonha |
| | JE025 | 25/07/1997 | Rio Jequitinhonha no município de Salto da Divisa |

Fonte: Adaptado de IGAM (2017).