

MARIA FERNANDA ANTUNES COLLARES

**QUALIDADE DA ÁGUA DA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA DO RIO PARANAÍBA
A PARTIR DE DADOS DE MONITORAMENTO E DE USO E OCUPAÇÃO DO
SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: André Pereira Rosa

Coorientadores: Alisson Carraro Borges
Micael de Souza Fraga

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

C697q
2021 Collares, Maria Fernanda Antunes, 1995-
Qualidade da água da porção mineira da bacia do rio
Paranaíba a partir de dados de monitoramento e de uso e
ocupação do solo / Maria Fernanda Antunes Collares. – Viçosa,
MG, 2021.

1 dissertação eletrônica (91 f.): il. (algumas color.).

Orientador: André Pereira Rosa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.146>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Sistemas de
informação geográfica. 3. Análise multivariada. 4. Economia
regional. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 333.91

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578

MARIA FERNANDA ANTUNES COLLARES

**QUALIDADE DA ÁGUA DA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA DO RIO PARANAÍBA
A PARTIR DE DADOS DE MONITORAMENTO E DE USO E OCUPAÇÃO DO
SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de julho de 2021.

Assentimento:



Maria Fernanda Antunes Collares

Autora



André Pereira Rosa

Orientador

A Deus.
Aos meus pais Magno e Tânia.
À minha irmã e família.
Ao meu esposo.
Sem vocês nada teria acontecido.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos concedidas e por sempre iluminar os meus caminhos me dando sabedoria para concluir mais uma etapa. Aos meus pais, Magno e Tânia, por todo apoio e por não medirem esforços para me ajudar a realizar mais um sonho. Agradeço ao meu esposo Kêuron por todo amor, paciência, apoio, dedicação e ajuda nas planilhas (sei que não foi fácil). A minha irmã Isabela, meu cunhado Diogo e minha afilhada Angelina pelos conselhos e amizade. A toda minha família. Vocês foram fundamentais!

Ao meu orientador, professor Dr. André Pereira Rosa, pela orientação, pela paciência, confiança e oportunidade de crescimento ao longo deste trabalho. Aos meus coorientadores, professor Dr. Alisson Carraro Borges e Dr. Micael de Souza Fraga pelo conhecimento compartilhado. A professora Sílvia e ao professor Cristiano pela disponibilidade e contribuições.

Agradeço aos amigos do Laboratório da Qualidade Ambiental (LQA), em especial Iza, Cris, Rubinho, Ana e Pri por toda amizade, companheirismo e auxílio, mesmo que a distância. Ao professor Dr. Fernando Colen por toda ajuda, apoio e por ter me mostrado o caminho da ciência. Aos amigos Mariana, Bruna, Adriane, Cássio e Athos por todos os conselhos e por sempre estarem presentes na minha vida. Às amigas de república Tiffany, Yasmin e Karla por terem me acolhido em Viçosa. Aos meus filhos de quatro patas, Tody e Théo, por me ensinarem a ter calma, atenção, amor e por entenderem minha ausência.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do mestrado. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos. Ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), pela concessão dos dados que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Muito obrigada!

RESUMO

COLLARES, Maria Fernanda Antunes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2021. **Qualidade da água da porção mineira da bacia do rio Paranaíba a partir de dados de monitoramento e de uso e ocupação do solo.** Orientador: André Pereira Rosa. Coorientadores: Alisson Carraro Borges e Micael de Souza Fraga.

A avaliação e o monitoramento da qualidade da água são fundamentais para uma gestão eficiente dos recursos hídricos, pois permitem inferir a respeito das principais influências que acarretam na mudança da qualidade dos corpos hídricos. Entretanto, o monitoramento da qualidade da água pode gerar extensos bancos de dados que, na maioria das vezes, dificultam as tomadas de decisão. Técnicas de estatísticas multivariadas e não-paramétricas permitem a seleção dos parâmetros de qualidade da água mais relevantes, o agrupamento das estações de tratamento de acordo com suas similaridades e a análise das tendências espaço temporais. O objetivo geral deste estudo foi identificar os parâmetros que interferem na qualidade da água na porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba em função do uso e ocupação do solo por meio de técnicas de estatísticas multivariadas e não-paramétricas, bem como apresentar resultados como auxílio para as agências de água e órgãos gestores de recursos hídricos, a fim de otimizar o monitoramento da qualidade da água. No capítulo 1 foram identificados os pontos mais críticos da bacia e os principais parâmetros que exercem influência na qualidade da água a partir de técnicas estatísticas multivariadas. Foram identificados quatro grupos de estações de monitoramento que sofrem influências da agricultura, esgoto sanitário e atividades de pecuária e mineração. Além disso, foi possível identificar a importância das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) nos municípios que pertencem a região estudada, além dos parâmetros que apresentaram maior percentual de violação à luz da legislação vigente. No capítulo 2, foram avaliadas as tendências espaço-temporais dos parâmetros, e a relação com as atividades econômicas, desenvolvimento populacional e indicadores de saneamento ambiental da bacia. A bacia hidrográfica foi estudada, considerando-se três de unidades de gestão: afluentes mineiros do baixo Paranaíba, rio Araguari e afluentes mineiros do alto Paranaíba. Como resultados, foi possível identificar o crescimento da classe de infraestrutura urbana, do índice de abastecimento de água e da produção de cana-de-açúcar e soja. Apesar do esgoto sanitário ainda ser um problema na bacia, o parâmetro de indicador de contaminação de origem fecal apresentou tendência de redução ao longo dos anos estudados. Os parâmetros associados às atividades de agricultura e pecuária apresentaram tendência de elevação, o que condiz com os

aumentos das áreas de agropecuária nas regiões da bacia. A aplicação de técnicas estatísticas mostrou-se eficaz na identificação dos parâmetros que mais se destacaram na bacia, assim como auxiliou de maneira geral no monitoramento da qualidade da água e na identificação das possíveis fontes de poluição e dos principais parâmetros de qualidade da água violados.

Palavras-chave: Estatística multivariada. Georreferenciamento. Atividades econômicas.

ABSTRACT

COLLARES, Maria Fernanda Antunes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2021. **Water quality in the mining portion of the Paranaíba river basin based on monitoring and soil use and occupation data.** Adviser: André Pereira Rosa. Co-advisers: Alisson Carraro Borges and Micael de Souza Fraga.

The assessment and monitoring of water quality are essential for an efficient water resources management, once they allow inferences about the main influences that lead to changes in the quality of water bodies. However, the water quality monitoring can generate extensive databases which, in most cases, make decision-making difficult. Thereby, multivariate and non-parametric statistical techniques emerge in order to assist the selection of the most important water quality parameters in the basin, cluster the wastewater treatment plants according to their similarities and analyze the spatiotemporal trends of the parameters. Thus, the general aim of this study was to identify the parameters that interfere in the water quality of a stretch of the Paranaíba watershed according to land use and occupation through multivariate and non-parametric statistical techniques, as well as to present tools for water agencies and water resources management organs to optimize water quality monitoring. In the chapter 1, different multivariate statistical techniques were applied in order to identify the most critical points in the basin and the main parameters that influence the water quality. Four groups of monitoring stations were characterized as being influenced by agriculture, wastewater, livestock and mining activities. In addition, it was possible to verify the importance of Wastewater Treatment Plants (WWTP) in the municipalities belonging to the region under study and the parameters that presented the highest percentage of violations according to the current legislation. In the chapter 2, the spatio-temporal trends of the parameters were evaluated, and the relationship with economic activities, population development and environmental sanitation indicators in the watershed. The basin was studied considering three management units: tributaries of the lower Paranaíba river, Araguari river and tributaries of the upper Paranaíba river. As a result, it was possible to identify the growth of the urban infrastructure, water supply index and production of sugarcane and soy. Although sanitary sewage is still a problem in the basin, the parameter of indicator of fecal contamination showed a tendency to decrease over the years studied. However, some parameters associated with agriculture and livestock activities showed an upward trend, which is consistent with the increases in agricultural areas in the basin regions. Thereby, the application of statistical techniques proved to be effective in identifying the

parameters that stood out in the basin, as well as helping to monitor the water quality and identify possible pollution sources and main parameters violated within the watershed.

Keywords: Multivariate statistics. Georeferencing. Economic activities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	25
Figura 2 - Localização das estações de monitoramento da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	26
Figura 3 - Resumo da metodologia correspondente à organização dos dados e definição dos parâmetros.....	28
Figura 4 - Resumo indicando a metodologia proposta correspondente à análise de violação das amostras.....	29
Figura 5 - Resumo contendo as etapas metodológicas referente ao estudo de à estatística multivariada.....	31
Figura 6 - Estações de tratamento de esgoto (ETE) distribuídas na porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	32
Figura 7 - Dendrograma das estações de monitoramento da porção mineira agrupadas de acordo com os percentuais de violação.....	37
Figura 8 - Distribuição espacial das estações de monitoramento da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba classificadas de acordo com a análise de Cluster.....	39
Figura 9 - Mapa de localização das estações de monitoramento PB022 e PB023.....	40
Figura 10 - Comparação dos parâmetros das estações a montante e a jusante da cidade de Uberlândia.....	41
Figura 11 - Bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	62
Figura 12 - Estações de monitoramento pertencentes a porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	63
Figura 13 - Resumo da metodologia correspondente à análise de tendência dos dados trimestrais de monitoramento da qualidade da água.....	65
Figura 14 - Resumo da metodologia correspondente tendência espacial.....	66
Figura 15 - Definição dos resultados da análise de tendência temporal.....	67

Figura 16 - Evolução populacional dos municípios pertencentes à porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	68
Figura 17 - Índice de atendimento de água nos municípios do trecho mineiro da bacia hidrográfica à porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	69
Figura 18 - Índice de tratamento de esgotos dos municípios pertencentes à porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	70
Figura 19 - Relação do número de pessoal ocupado assalariado com a concentração industrial dos municípios pertencentes à porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	71
Figura 20 - Concentração de bovinos nos municípios da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba	72
Figura 21 - Concentração de suínos nos municípios da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba	73
Figura 22 - Concentração da produção de milho e cana-de-açúcar nos municípios da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	74
Figura 23 - Concentração da produção de soja e feijão nos municípios da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	75
Figura 24 -Uso e ocupação do solo da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	76
Figura 25 - Análise de Cluster na porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba para o ano de 2010.....	78
Figura 26 - Análise de Cluster na porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba para o ano de 2019.....	79
Figura 27 - Distribuição espacial dos grupos da análise de Cluster.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhamento das estações de monitoramento localizadas na porção mineira da bacia do rio Paranaíba.....	27
Tabela 2 - Parâmetros de qualidade de água analisados nas estações de monitoramento.....	33
Tabela 3 - Quantidade de estações de monitoramento que violaram os limites vigentes para os parâmetros de qualidade da água.....	34
Tabela 4 - Percentual de violação aos limites preconizados pela DN COPAM/CERH-MG nº 01/08, para as estações de monitoramento da porção mineira da bacia do rio Paranaíba nos períodos de 2010 a 2019.....	35
Tabela 5 - Caracterização em termos de parâmetros de qualidade da água violados para os grupos obtidos na análise de cluster.....	38
Tabela 6 - Caracterização dos municípios contidos no Grupo 1.....	39
Tabela 7 - Caracterização dos municípios contidos no Grupo 3.....	43
Tabela 8 - Caracterização dos municípios contidos no Grupo 4.....	43
Tabela 9 - Resultado da AF, com as cargas obtidas para cada fator Grupo 1.....	45
Tabela 10 - Resultado da AF, com as cargas obtidas para cada fator do Grupo 3.....	47
Tabela 11 - Resultado da AF, com as cargas obtidas para cada fator do Grupo 4.....	48
Tabela 12 - Informações das variáveis que exercem influência na qualidade da água na porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.....	64
Tabela 13 - Áreas das classes do uso e ocupação do solo na porção mineira da bacia do rio Paranaíba.....	76
Tabela 14 - Análise de fatorial dos parâmetros de monitoramento da qualidade da água dos anos de 2010 e 2019.....	81
Tabela 15 - Avaliação de tendência temporal dos parâmetros de qualidade de água.....	83

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- AC Análise de Cluster.
- AF Análise Fatorial.
- Al Alumínio.
- Al_{diss} Alumínio Dissolvido.
- ANA Agência Nacional das Águas.
- Ca Cálcio.
- CAPES Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil.
- CE Condutividade Elétrica.
- CERH-MG Conselho Estadual De Recursos Hídricos Do Estado De Minas Gerais.
- CH Circunscrições Hidrográficas.
- Cl_T^- Cloreto Total.
- Coli. T. Coliformes Totais.
- COPAM Conselho Estadual De Política Ambiental.
- DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio.
- DN Deliberação Normativa Conjunta.
- DQO Demanda Química de Oxigênio.
- E. coli *Escherichia coli*.
- ETA Estação de Tratamento de Água
- ETE Estações de Tratamento de Esgoto.
- FAD Flotação por ar dissolvido.
- Fe Ferro.
- Fe_{diss} Ferro Dissolvido.
- Fen_T Fenóis Totais.
- Fv Fator de variação.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- ICF Indicador de contaminação fecal.
- IGAM Instituto Mineiro de Gestão das Águas.
- IQA Índice de Qualidade da Água.
- KMO *Kaiser-Meyer-Olkin*.
- LQA Laboratório da Qualidade Ambiental.

Mn Manganês.
 Mn_T Manganês Total.
N.amo Nitrogênio amoniacal.
 NH_4^+ Amônio.
 Ni_T Níquel Total.
 NO_2 Dióxido de nitrogênio.
 NO_3^- Nitrato.
OD Oxigênio dissolvido.
PARH Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba.
pH Potencial Hidrogeniônico.
 P_T Fósforo Total.
 S_2^- Sulfeto.
SDT Sólidos dissolvidos totais.
SIG Sistemas de Informações Geográficas.
SNIS Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.
 SO_4T Sulfato Total.
SST Sólidos Solúveis Totais.
UASB *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*.
ZnT Zinco Total.

LISTA DE SÍMBOLOS

*	Asterisco
>	Maior que
<	Menor que
\leq	Menor que ou igual
%	PORCENTAGEM

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	17
2. OBJETIVO	19
Objetivo geral	19
Objetivos específicos	19
REFERÊNCIAS	20
3. AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA DO RIO PARANAÍBA EM FUNÇÃO DO USO DO SOLO	21
RESUMO	21
3.1. INTRODUÇÃO	22
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.2.1. Área de Estudo	24
3.2.2. Seleção das estações de monitoramento	26
3.2.3. Organização dos dados de monitoramento de qualidade das águas.....	27
3.2.4. Avaliação do atendimento do padrão da qualidade da água na bacia à luz da DN COPA/CERH-MG 01/2008.....	28
3.2.5. Estatística multivariada	29
3.2.6. Estações de tratamento de Esgoto (ETE).....	31
3.3. RESULTADO E DISCUSSÃO	32
3.3.1. Organização dos dados de monitoramento de qualidade das águas.....	32
3.3.2. Avaliação do atendimento ao padrão de qualidade da água dos corpos hídricos da bacia à luz da DN COPAM/CERH-MG 01/2008.....	33
3.3.3. Análise de Cluster.....	36
3.3.4. Análise Fatorial (AF)	44
3.4. CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS	53
4. TENDÊNCIAS ESPAÇO TEMPORAIS DOS PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA NA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA E SUAS RELAÇÕES COM O USO E A OCUPAÇÃO DO SOLO	59
RESUMO	59
4.1. INTRODUÇÃO	60
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	61
4.2.1. Área de Estudo	61
4.2.2. Estações de monitoramento de qualidade da água.....	62
4.2.3. Diagnóstico do uso e ocupação do solo da bacia do rio Paranaíba	63

4.2.4. Avaliação das tendências espaço temporais dos dados de monitoramento da qualidade da água	64
4.2.4.1. Análise da tendência espacial	65
4.2.4.2. Análise de tendência temporal	66
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.3.1. Uso e ocupação do solo	67
4.3.1.1. Dados demográficos	67
4.3.1.2. Dados de Saneamento	69
4.3.1.3. Atividades econômicas	70
4.3.1.4. Uso e Ocupação do Solo	76
4.3.2. Análise de tendência espaço temporal	77
4.3.2.1. Análise espacial.....	77
4.3.2.1. Análise temporal.....	82
4.4. CONCLUSÃO	85
REFERÊNCIAS	86
5. CONCLUSÕES GERAIS	90
6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	91

1. INTRODUÇÃO GERAL

As atividades antrópicas perturbam o estado natural dos recursos hídricos gerando efeitos prejudiciais para o ambiente e para a própria população (RIMOLDI *et al.*, 2018). A atenuação dos níveis de qualidade de água nas bacias ocasiona um desequilíbrio nesses ecossistemas, causando problemas como a eutrofização dos corpos hídricos (SOUZA, 2017). Nesse contexto, o monitoramento e a avaliação da qualidade da água são essenciais para a gestão dos recursos hídricos, principalmente para os rios, que são indispensáveis na vida dos seres humanos (USTAOĞLU e TEPE, 2019).

A qualidade da água é influenciada pelos processos de precipitação, processos de sedimentação e atividades antrópicas incluindo o desenvolvimento das práticas agrícolas, expansão urbana e industrial (MUANGTHONG e SHRESTHA, 2015). Alterações no uso e ocupação do solo podem resultar no aumento do aporte de esgotos sanitários e industriais, além de escoamento agrícola, contribuindo para a liberação de fertilizantes para os corpos hídricos (RIMOLDI *et al.*, 2018).

Os valores dos parâmetros de qualidade de água são altamente variáveis no espaço e no tempo, pois os mesmos geralmente são influenciados pelas características locais e pelas atividades desenvolvidas no entorno da bacia e, muitas vezes, estas variações dos dados podem gerar confusão na interpretação da análise (CARRASCO *et al.*, 2019; LIU *et al.*, 2018) Com isso, a complexidade do estudo de qualidade de água requer alternativas simples para identificar os parâmetros mais importantes para o processo (CARRASCO *et al.*, 2019).

O uso das técnicas de estatística multivariada pode permitir determinar a qualidade da água por meio de indicadores biológicos, físicos e químicos. Essas técnicas permitem identificar fatores e fontes que apresentam influência nos sistemas hídricos e funcionando como uma ferramenta robusta e confiável para o gerenciamento dos parâmetros de qualidade de água (SOTOMAYOR *et al.*, 2020; MUANGTHONG e SHRESTHA, 2015).

O conhecimento acerca da qualidade da água está relacionado à interpretação de grandes conjuntos de dados numéricos e as diversas características químicas, físicas e biológicas, as quais apresentam interpretações e relações complexas. Com isso, ferramentas estatísticas como análise fatorial (AF) e de Cluster (AC) tem sido cada vez mais empregadas para interpretar complexas e extensas bases de dados (SOTOMAYOR *et al.*, 2020).

A Análise de Cluster permite classificar as unidades de acordo com um critério de seleção predeterminado resultante de alta homogeneidade interna (dentro do cluster) e alta heterogeneidade externa (entre os clusters) (MUANGTHONG e SHRESTHA, 2015). A análise

fatorial (AF) tem como objetivo auxiliar na transformação das variáveis originais em novas variáveis, chamados de fatores. Os fatores apresentam informações sobre os parâmetros mais expressivos, descrevendo assim todo o conjunto de dados com perda mínima de informações dos dados originais ficando mais fácil a interpretação (MUANGTHONG e SHRESTHA, 2015).

A mensuração das cargas potenciais de nutrientes nas bacias hidrográficas é extremamente importante para a avaliar os impactos na qualidade da água em corpos de hídricos. Essa mensuração deve levar em consideração as variações espaciais e temporais na qualidade da água indispensáveis para a devida interpretação dos dados de monitoramento (MUANGTHONG e SHRESTHA, 2015). Nesse contexto, estudos que considerem essas variações com o uso e ocupação do solo podem contribuir para tomadas de decisões de organismos de gestão de recursos hídricos, como comitês e agências técnicas da bacia.

A bacia do rio Paranaíba está localizada na região central do Brasil e ocupa aproximadamente 2,6% do território brasileiro, incluindo importantes estados: Minas Gerais (31,7%), Goiás (63,3%) e Mato Grosso do Sul (3,4%), além do Distrito Federal (1,6%). A bacia abrange 197 municípios e o território onde se localiza apresenta uma diversidade de ambientes, como vegetação de Cerrado e área de Mata Atlântica, revelando assim a sua importância sob o ponto de vista de manancial de água e serviços ambientais. Sua ocupação começou no século XVII com a mineração do ouro, e atualmente se destaca como uso do solo a agricultura irrigada e a produção de cana-de-açúcar (ANA, 2013).

O crescimento populacional desordenado e a ocupação urbana desorganizada no entorno da bacia, vêm provocando diversos problemas ambientais e sobretudo alterações na sua qualidade da água (ANA, 2013). De acordo com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba, a bacia enfrenta conflitos pelo uso dos recursos hídricos, devido a expansão das atividades agrícolas e pecuária. A elevada captação de água para irrigação e a poluição de corpos hídricos pelo aporte de esgotos sanitários vêm causando distúrbios importantes no ciclo hidrológico que implica em uma séria redução da disponibilidade da água para qualquer uso (CARRASCO *et al.*, 2019).

Diante disso, o objetivo geral do presente trabalho foi identificar os fatores que interferem na qualidade da água da bacia do rio Paranaíba em função do uso e ocupação do solo por meio de técnicas de estatísticas multivariadas, assim como apresentar ferramentas para as agências responsáveis pela gestão do recurso a fim de se otimizar o monitoramento da qualidade da água.

O primeiro capítulo, intitulado “Avaliação do monitoramento da qualidade da água da bacia do rio Paranaíba em função do uso do solo” aborda o uso de diversas técnicas estatísticas

multivariadas com o objetivo de se identificar os pontos mais críticos da bacia, as principais fontes de poluição e os principais fatores que influenciam na qualidade da água.

O segundo capítulo, intitulado “Tendências espaço temporais dos parâmetros da qualidade da água na bacia hidrográfica e suas relações com o uso e a ocupação do solo” apresenta a relação entre dados de atividades econômicas, saneamento básico e uso e ocupação do solo e as tendências espaço-temporais dos parâmetros de qualidade da água. Com isso, identificaram-se quais atividades econômicas causam mais impactos na qualidade da água.

2. OBJETIVO

Objetivo geral

Identificar os fatores que interferem na qualidade da água da porção mineira da bacia do rio Paranaíba em função do uso e ocupação do solo.

Objetivos específicos:

- Avaliar o atendimento ao padrão de qualidade da água dos corpos hídricos da bacia à luz da DN COPAM/CERH-MG 01/2008;
- Identificar os pontos mais críticos da bacia e as principais fontes de poluição da qualidade da água;
- Avaliar a relação entre os dados de atividades econômicas, saneamento básico e uso do solo com os parâmetros de qualidade da água;
- Avaliar as tendências espaço temporais dos parâmetros da qualidade da água na bacia hidrográfica e suas relações com o uso e a ocupação do solo.

REFERÊNCIAS

- CARRASCO, G.; MOLINA, J.L.; ALONSO, M.C.P.; CASTILHO, M.D.C.; GALINDO, M..P.V.; VILLARDÓN, M.P.G. Water quality evaluation through a multivariate statistical HJ-Biplot approach. **Journal of Hydrology**. v. 577, 2019.
- LIU, S.; RYU, D.; WEBB, J.A.; LINTERN, A.; WATERS, D.; GUO, D.; WESTERNS, A.W. Characterisation of spatial variability in water quality in the Great Barrier Reefcatchments using multivariate statistical analysis. **Marine Pollution Bulletin**, v.137, p. 137-151, 2018.
- MOLINARI, B. S. **Modelagem espacial da qualidade de água na bacia do rio Piabanha/RJ**. 225f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- MUANGTHONG, S.; SHRESTHA, S. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: case study of the Nampong River and Songkhram River, Thailand. **Environ Monit Assess**. v.187 , 2015.
- RIMOLDI, F., PELUSO, L., BULUS ROSSINI, G., RONCO, A. E., & DEMETRIO, P. M. Multidisciplinary approach to a study of water and bottom sediment quality of streams associated with mixed land uses: Case study Del Gato Stream, La Plata (Argentina). **Ecological Indicators**, v. 89, p.188–198, 2018.
- SOTOMAYOR, G.; HAMPEL, H.; VÁZQUEZ, R. F.; GOETHALS, P. L. M. Multivariate-statistics based selection of a benthic macroinvertebrate index for assessing water quality in the Paute River basin (Ecuador). **EcologicalIndicators**.v.111 ,2020.
- SOUZA, Felipe Rodrigues Abrantes. **Modelagem espacial da qualidade da água usando geotecnologias na bacia hidrográfica de Santana-RJ**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.
- USTAOĞLU, F., & TEPE, Y. Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators. **International Soiland Water Conservation Research**, v.7, n.1, p. 47–56, 2019.

3. AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA DO RIO PARANAÍBA EM FUNÇÃO DO USO DO SOLO

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar o atendimento dos parâmetros de qualidade da água a partir da legislação vigente buscando-se apontar os parâmetros com maior influência na qualidade da água levando em conta o uso e ocupação do solo, bem como a presença das estações de tratamento de esgoto (ETE). Para isto, foram avaliadas 42 estações de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paranaíba compreendendo campanhas trimestrais e semestrais no período de 2010 a 2019. As análises estatísticas multivariadas foram aplicadas para complementar a análise de violação dos parâmetros de enquadramento de acordo com a legislação pertinente. Com os resultados da análise de violação, os parâmetros que apresentaram os piores resultados foram: indicador de contaminação de origem fecal e fósforo total, indicando uma possível contaminação por esgoto sanitário. Os parâmetros níquel, manganês, sulfeto e alumínio também apresentaram violação indicando uma possível contaminação por efluentes de atividades industriais. Com a Análise de Cluster, as estações foram agrupadas em 4 conjuntos distintos, sendo que o Grupo 1 apresentou uma menor violação por parâmetros de esgoto sanitário e apresentou o maior número de município com estações de tratamento de esgoto (ETE). O Grupo 4 foi o grupo mais preocupante em relação aos parâmetros de esgoto sanitário e o que apresentou o menor número de municípios com ETE. O Grupo 2 constituiu-se apenas da estação PB023 que teve 14 parâmetros violados indicando forte influência de atividades agropecuárias e do grande processo de urbanização do município de Uberlândia. A Análise Fatorial e os estudos sobre as estações de tratamento de esgoto reforçaram os resultados obtidos pela AC. No Grupo 1, os parâmetros do Fator 1 indicaram contaminação por efluentes industriais. No Grupo 3, os parâmetros indicaram uma contaminação por efluentes resultantes de atividades agropecuárias e minerárias e o Grupo 4 apresentou parâmetros que indicavam contaminação da água devido ao esgoto sanitário. Os resultados reforçam a importância de os municípios possuírem estações de tratamento de esgoto de modo a se buscar a melhoria da qualidade dos corpos hídricos da bacia. Este trabalho pode ser usado para auxiliar nas tomadas de decisões dos gestores da bacia estudada, embasando uma gestão mais eficaz, a partir da identificação das principais fontes de poluição nos diferentes pontos da bacia. O método utilizado para a avaliação do monitoramento da qualidade da água a partir do uso e ocupação do solo foi capaz de identificar diversas fontes de poluição e analisar a qualidade da água nas estações de monitoramento.

3.1. INTRODUÇÃO

Com o avanço contínuo da urbanização e do desenvolvimento industrial, a gestão dos recursos hídricos vem ganhando destaque, desta forma as agências reguladoras têm buscado realizar de forma mais eficiente o monitoramento e a gestão dos corpos hídricos (COSTA *et al.*, 2017). De acordo com Finkler *et al.* (2015) as bacias hidrográficas localizadas próximas às áreas urbanizadas são caracterizadas pela vulnerabilidade no que se refere ao despejo de efluentes industriais e sanitários. Portanto, a caracterização e o monitoramento das águas superficiais são fatores primordiais para a gestão dos recursos, com vista a uma maior compreensão da qualidade da água e das fontes de poluição (pontuais e difusas) dos corpos hídricos (TRINDADE, 2017).

O monitoramento da qualidade das águas das bacias hidrográficas é uma prática que consiste em avaliar diversos parâmetros em diferentes estações por longos períodos de análises, obtendo-se extensos bancos de dados, os quais por vezes são difíceis de serem interpretados (MOSTAFAEI, 2014), implicando no limitado uso dos dados de práticas de gestão do próprio recurso (TRINDADE, 2017; FINKLER *et al.*, 2015). Com essa grande quantidade de dados obtidos pelos órgãos que monitoram a qualidade de água em corpos hídricos busca-se cada vez mais o emprego de ferramentas que permitam a interpretação destes dados, tendo como premissas a otimização dos custos e redução do tempo na resolução de problemas e tomada de decisão aos aspectos relacionados à gestão dos recursos hídricos (ZHANG *et al.*, 2020).

Técnicas estatísticas vêm sendo utilizadas por diversos pesquisadores para identificar as possíveis fontes de variabilidade na qualidade da água (MITRA *et al.*, 2018), mudanças temporais na qualidade da água no interior e no litoral (LIU *et al.*, 2018), calcular os riscos relativos da qualidade da água permitindo identificar os corpos hídricos mais degradados dentro de uma bacia (SOARES, PINTO e OLIVEIRA, 2020), determinar a relação das distribuições espaciais dos parâmetros com as atividades que influenciam na área (SOUZA, 2017), além de otimizar redes de monitoramento (CALAZANS *et al.*, 2018) favorecendo a interpretação dos dados e permitindo a tomada de decisão dos órgãos ambientais.

Dentre diversas análises estatísticas, as análises de Cluster (AC) e de análise fatorial (AF) se destacam nos estudos de qualidade da água (CARRASCO, 2019; FRAGA, 2019; CASTRO, 2018; TRINDADE, 2017). Tais métodos são usados para combinar grandes conjuntos de dados que contém diversas variáveis e permitir interpretações simplificadas, sem que ocorra perda de informações (ACHIENG, *et al.*, 2017).

A compreensão das principais variáveis que explicam a variabilidade da qualidade da água, as principais fontes de poluição, assim como a determinação da melhor frequência de amostragem é de grande interesse para a gestão dos recursos hídricos (FRAGA, 2019).

Ademais, a avaliação das séries de dados pode auxiliar na identificação e na análise das relações entre a qualidade da água e uso e ocupação do solo identificando as variáveis com maior influência (MOSTAFAEI, 2014; RAVIKUMAR e SOMASHEKAR, 2017), o que permite a compreensão dos fatores que interferem na qualidade dos corpos hídricos, sejam eles de origem antropogênica ou advindos de processos naturais (COSTA *et al.*, 2017).

A ocupação do solo de forma não planejada pode ocasionar impactos negativos na qualidade da água, como atividades agrícolas, pecuária, exploração desordenada dos recursos hídricos, desmatamentos, usos excessivos de fertilizantes e agrotóxicos (MELLO *et al.*, 2020). A influência direta do uso e da cobertura do solo na qualidade das águas em bacias hidrográficas é apontada em estudos que tratam dos impactos negativos em áreas urbanas (SHI *et al.*, 2017), dos efeitos de práticas agrícolas (CROOKS *et al.*, 2021) e da relação com classes de uso do solo (GORGOGNONE *et al.*, 2020).

Silva *et al.* (2019) ao avaliarem o Índice de Qualidade da Água e do Estado trófico na sub-bacia hidrográfica Cabosol concluíram que houve redução no IQA decorrente da intensificação das atividades antrópicas. Menezes *et al.* (2016) estudando a bacia do rio Vermelho em Minas Gerais indicaram que as fontes de poluição de corpos hídricos no período seco foram oriundas dos despejos de esgoto sanitário. Santy, Mujumdar e Bala (2020) ao avaliarem a interferência do uso do solo na qualidade da água no rio Ganga na Índia, concluíram que o aumento de cultivos agrícolas produziu um maior aporte de nutrientes nos corpos hídricos e maior contaminação por coliformes termotolerantes.

Devido ao monitoramento da qualidade da água pela agência, são gerados extensos bancos de dados que muitas vezes são complexos de interpretar. Diante disso, o uso de métodos estatísticos multivariados pode auxiliar na interpretação do conjunto de dados, permitindo uma melhor compreensão das variações dos indicadores físicos, químicos e biológicos; estas ferramentas têm sido consideradas de suma importância para a gestão dos recursos hídricos (CARRASCO, 2019; TRINDADE, 2017; JUNG *et al.*, 2016).

A bacia hidrográfica do rio Paranaíba é uma das principais sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Paraná, apresentando uma grande extensão, abrangendo o Distrito Federal e os estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. A bacia tem apresentado um expressivo desenvolvimento nos últimos anos, sendo conhecida por sua fronteira agrícola em expansão, em especial a cadeia da cana-de-açúcar, assim como pela intensa atividade industrial

e elevada densidade populacional em seus centros urbanos, abrigando certa de 8,5 milhões de habitantes, o equivalente a 4% da população brasileira (PARH, 2015). O monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia vem sendo realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), pelo Projeto Águas de Minas.

A avaliação da qualidade da água das bacias hidrográficas em função do uso e ocupação do solo auxilia as agências ambientais na identificação dos pontos de poluição pontual e difusa. Além disso, a interferência das estações de tratamento de esgoto contribui de maneira positiva na diminuição dos impactos causados pelo uso e ocupação do solo fora dos padrões de lançamento. Assim, por meio da aplicação de técnicas estatísticas multivariadas pode-se avaliar a interação dos parâmetros de qualidade da água com o uso e ocupação do solo, bem como a importância das ETE na melhoria da qualidade ambiental. Apesar da influência desses fatores, os estudos que avaliam a influência do uso e ocupação do solo por meio de técnicas estatísticas multivariadas, bem como os trabalhos que avaliam a influência da ETE na qualidade da água ainda são escassos (SOARES, PINTO, OLIVEIRA 2020, TRINDADE *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2017; PINTO, CALAZANS, OLIVEIRA 2019; CALAZANS *et al.*, 2018).

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o atendimento dos parâmetros de qualidade da água a partir dos padrões de lançamento definidos pela legislação pertinente buscando apontar os principais parâmetros que influenciam na qualidade da água à luz do uso e ocupação do solo incluindo a presença das estações de tratamento de esgotos via técnicas de estatística multivariadas.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Área de Estudo

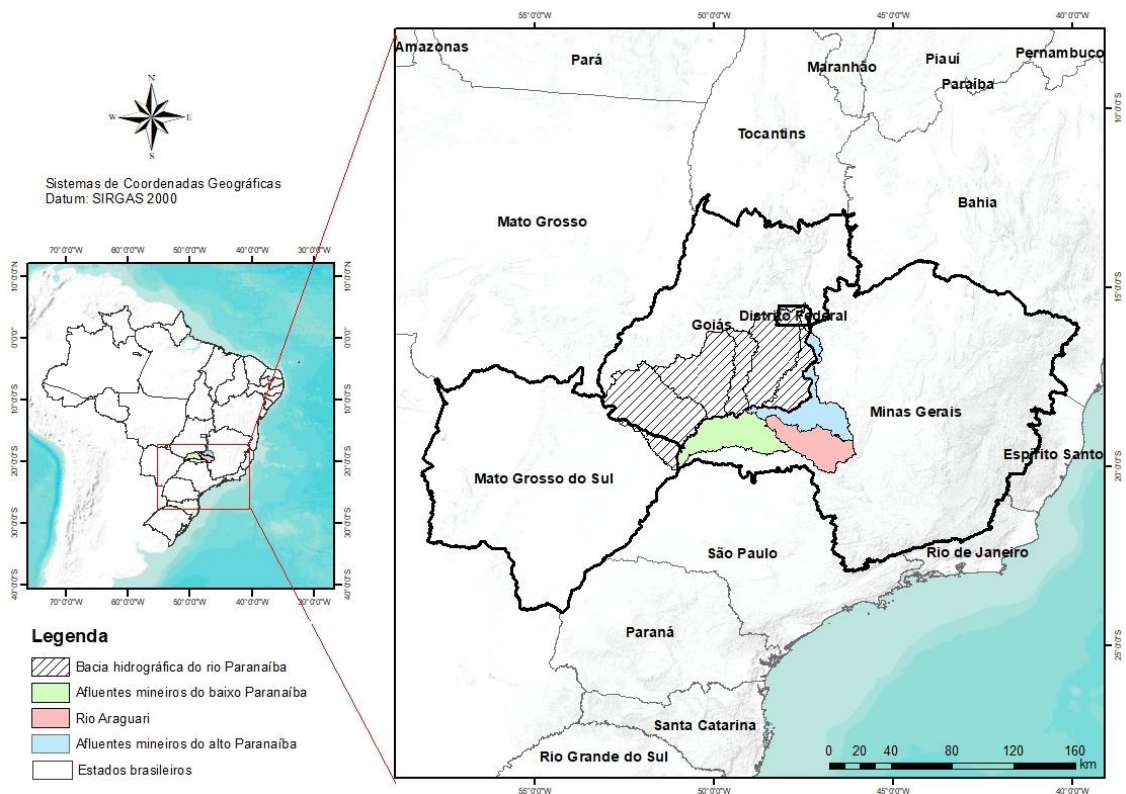
A área de estudo do presente trabalho corresponde a bacia hidrográfica do rio Paranaíba, considerada a segunda maior unidade da região hidrográfica do rio Paraná. De acordo com o ANA (2013), o rio Paranaíba drena uma área de aproximadamente 222,6 mil km², abrangendo três estados e o Distrito Federal (Figura 1). O rio recebe contribuições de efluentes sanitários e industriais, eutrofização e assoreamento (PARH, 2015). O aumento da demanda pelo uso da água na bacia do rio Paranaíba vem gerando sérios impactos ambientais e conflitos pelo uso dos recursos hídricos.

Dentro do estado de Minas Gerais, a bacia é subdividida em três Circunscrições Hidrográficas (CH): afluentes mineiros do alto Paranaíba, rio Araguari e afluentes mineiros do baixo Paranaíba. Para este estudo considerou-se toda a parte mineira da bacia hidrográfica englobando as três CH. A bacia hidrográfica do rio Paranaíba dispõe de uma diversidade de

atividades econômicas e de um grande potencial de expansão. Apresenta como vocação econômica as atividades industriais, agrícolas, pecuária e de mineração, associado a um dos maiores produtos internos brutos do Brasil (ANA, 2013).

O clima da bacia é tropical em todas as estações do ano e o inverno é seco (classificação climática de Köppen tipo Aw). As temperaturas médias mensais são maiores ou iguais a 18° C e as variações das precipitações médias mensais ficam entre 0 e 400 mm, havendo uma acentuada sazonalidade que separa os meses secos (maio a setembro), onde os valores se aproximam de zero, e os meses úmidos (outubro a abril), onde a precipitação varia de 100 a 400 mm (ANA, 2013). O bioma da bacia é caracterizado principalmente por Cerrado e Mata Atlântica, no entanto, em virtude das ações antrópicas, parte desse bioma vem sendo devastado (ANA, 2013).

Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Paranaíba



A bacia vem apresentando mudanças no uso do solo devido à expansão da indústria do etanol com a cana-de-açúcar substituindo pastagens, soja e milho. Além disso, a irrigação é de grande relevância para a gestão dos recursos hídricos da bacia do Paranaíba sendo que os 89,4% da água consumida na bacia é para irrigação, e a expansão da cana-de-açúcar intensificou este consumo (BATISTA, 2019).

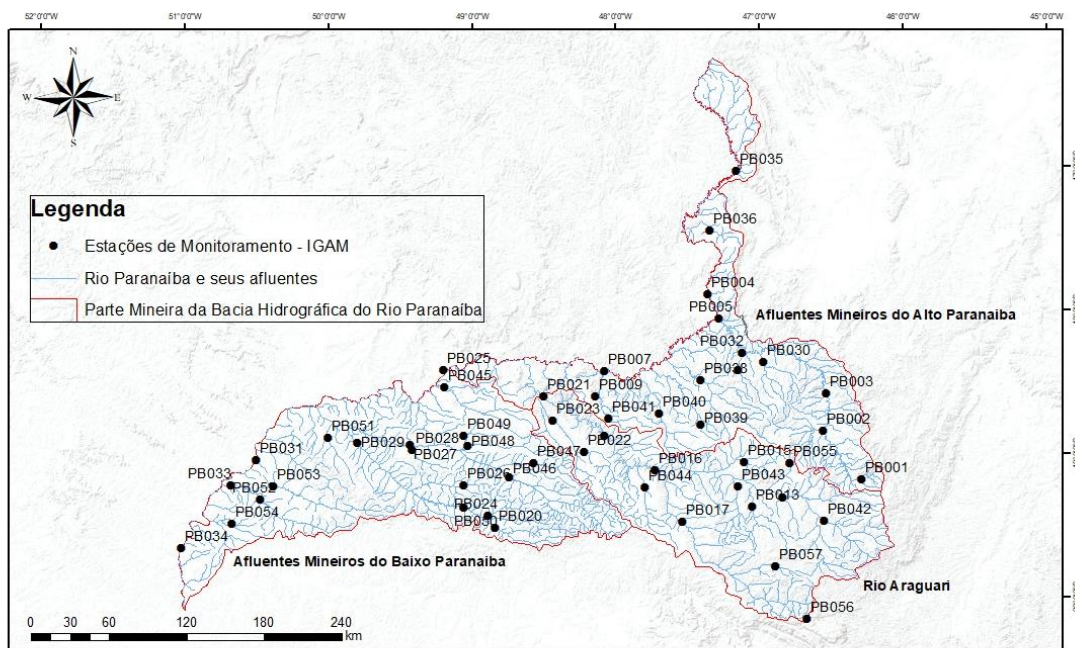
3.2.2. Seleção das estações de monitoramento

Os dados de monitoramento de qualidade de água da porção mineira da bacia do rio Paranaíba foram obtidos por meio do Projeto Águas de Minas, disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), com campanhas de monitoramento desde 1997 em 51 estações de monitoramento de qualidade de água em Minas Gerais.

Para o presente estudo foram selecionadas 42 estações de monitoramento indicadas e detalhadas nas Figura 2 e Tabela 1 referentes às coletas trimestrais e semestrais realizadas no período de 2010 a 2019. A seleção das estações foi necessária devido a implantação recente de estações de monitoramento, que possuem uma pequena quantidade de dados, inviabilizando a aplicação de técnicas estatísticas. Considerando os efeitos adversos de dados faltantes nas análises foram excluídas estações implementadas entre os anos de 2010 e 2019.

Figura 2 - Localização das estações de monitoramento da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

Estações de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paranaíba



Sistemas de Coordenadas Geográficas
Datum: SIRGAS 2000

Tabela 1 - Detalhamento das estações de monitoramento localizadas na porção mineira da bacia do rio Paranaíba.

ESTAÇÃO	CURSO D'ÁGUA	Latitude	Longitude	Município
PB001	Rio Paranaíba	-19° 10' 34"	-46°17'16,001"	Rio Paranaíba (MG)
PB002	Rio Paranaíba	-18° 50' 19"	-46°17'16,001"	Patos De Minas (MG)
PB003	Rio Paranaíba	-18° 34' 30,734"	-46°32'39,068"	Patos De Minas (MG)
PB005	Rio Paranaíba	-18° 3' 46,354"	-47°16'58,329"	Coromandel (MG)
PB007	Rio Paranaíba	-18° 25' 46,999"	-48°4'39"	Araguari (MG), Cumari (GO)
PB009	Rio Jordão	-18° 35' 43,001"	-48°8'11"	Araguari (MG)
PB011	Rio Quebra Anzol	-19° 18' 19,001"	-46°50'26,002"	Perdizes (MG), Serra Do Salitre (MG)
PB013	Rio Capivara	-19° 22' 7"	-47°3'38,002"	Perdizes (MG)
PB015	Ribeirão Santo Antônio (PN2)	-19° 3' 23"	-47°6'38,002"	Patrocínio (MG)
PB017	Rio Araguari	-19° 29' 1,626"	-47°32'31,151"	Sacramento (MG), Santa Juliana (MG)
PB019	Rio Araguari	-18° 52' 40,825"	-48°4'51,725"	Araguari (MG), Uberlândia (MG)
PB021	Rio Araguari	-18° 35' 48,782"	-48°51'11,6"	Araguari (MG), Tupaciguara (MG)
PB022	Rio Uberabinha	-18° 59' 12,224"	-48°13'11,774"	Uberlândia (MG)
PB023	Rio Uberabinha	-18° 46' 17"	-48°26'24"	Uberlândia (MG)
PB025	Rio Paranaíba	-18° 25' 7"	-49°12'6,998"	Araporã (MG), Itumbiara (GO)
PB027	Rio Tijuco	-18° 54' 43,2"	-49°26'24"	Ituiutaba (MG)
PB029	Rio da Prata (PN3)	-18° 55' 59,635"	-49°48'7,026"	Gurinhata (MG), Ituiutaba (MG)
PB031	Rio Paranaíba	-19° 3' 2,999"	-50°30'10,001"	Santa Vitória (MG), São Simão (GO)
PB033	Rio São Domingos (PN3)	-19° 13'11,834"	-50°41'5,87"	Limeira Do Oeste (MG), Santa Vitória (MG)
PB035	Rio São Marcos	-17° 2' 2,9"	-47°9'44,798"	Paracatu (MG)
PB036	Ribeirão da Batalha	-17° 26' 44,3"	-47°20'42,202"	Paracatu (MG)
PB037	Rio Santo Inácio	-18°24'55,591"	-47°20'42,202"	Coromandel (MG)
PB038	Rio Dourados	-18°29'28,298"	-47°24'22,799"	Abadia Dos Dourados (MG)
PB039	Rio Perdizes	-18°39'48,8"	-47°29'12,9"	Monte Carmelo (MG)
PB040	Rio Bagagem	-18°43'9,998"	-47°29'12,9"	Estrela Do Sul (MG)
PB041	Rio Piçarrão	-18°45'43,801"	-48°2'51,9"	Araguari (MG)
PB042	Rio Misericórdia	-19°27'57,2"	-46°33'10,699"	Ibiá (MG)
PB043	Córrego da estação ambiental CEMIG	-19°13'49,501"	-47°8'56,699"	Perdizes (MG)
PB044	Rio Claro	-19°14'15,101"	-47°48'4,601"	Uberaba (MG)
PB045	Rio Piedade	-18°32'17,902"	-49°11'34,3"	Araporã (MG)
PB046	Rio Tijuco	-19°9'58,298"	-48°44'10,9"	Uberlândia (MG)
PB047	Rio Dourado (PN3)	-19°4'2,302"	-48°34'17,101"	Uberlândia (MG)
PB048	Rio Babilônia	-18°56'48,7"	-49°1'30,4"	Monte Alegre De Minas (MG)
PB049	Ribeirão Monte Alegre	-18°52'39,299"	-49°3'24,502"	Monte Alegre De Minas (MG)
PB050	Rio da Prata (PN3)	-19°22'37,301"	-49°3'38,2"	Prata (MG)
PB051	Rio São Jerônimo	-18°53'24,5"	-49°59'59,798"	Gurinhata (MG)
PB052	Rio São Domingos (PN3)	-19°19'28,6"	-50°28'15,1"	Limeira Do Oeste (MG)
PB053	Rio Arantes	-19°13'40,901"	-50°22'54,901"	União De Minas (MG)
PB054	Ribeirão Volta Grande	-19°29'39,199"	-50°40'16,399"	Limeira Do Oeste (MG)
PB055	Ribeirão Salitre	-19°4'12,601"	-46°47'17,999"	Patrocínio (MG)
PB056	Rio Araguari	-20°8'50,662"	-46°40'12,799"	São Roque De Minas (MG)
PB057	Ribeirão do Inferno	-19°47'21,03"	-46°53'36,308"	Tapira (MG)

3.2.3. Organização dos dados de monitoramento de qualidade das águas

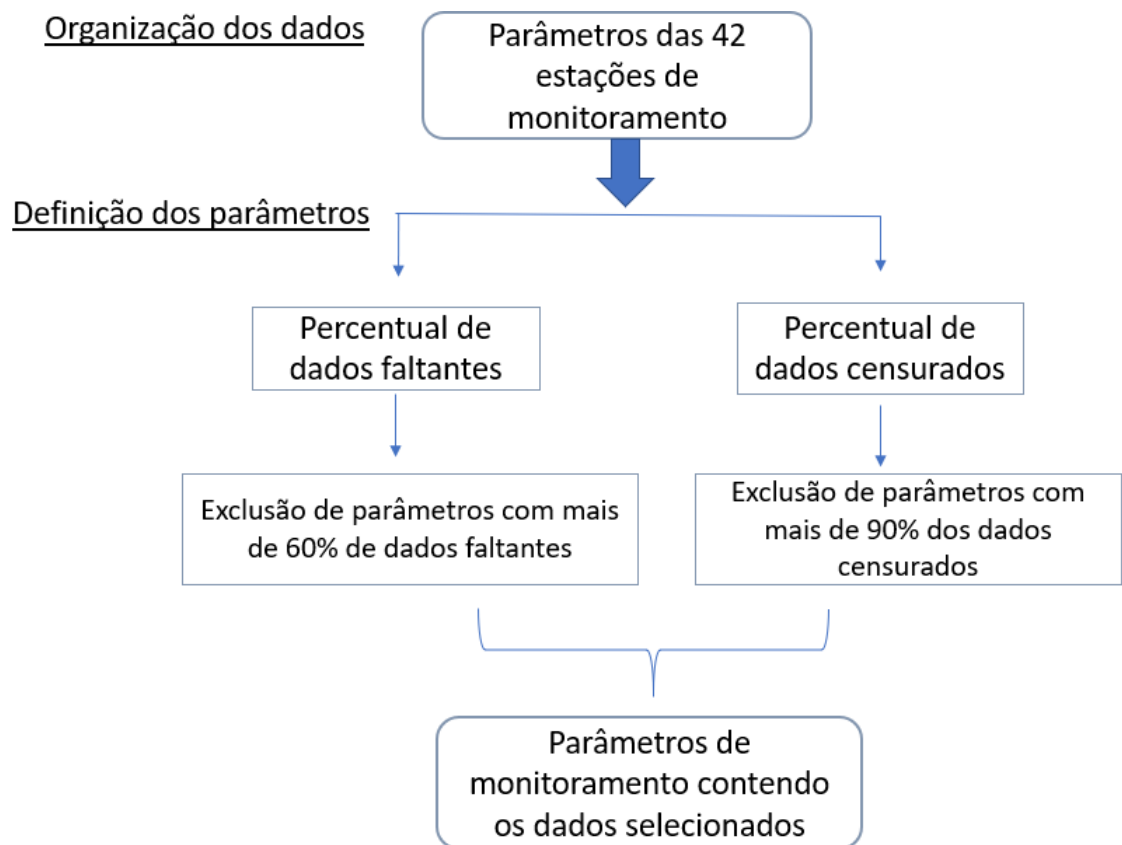
O banco de dados de qualidade da água para a bacia do rio Paranaíba foi avaliado no período de 2010 e 2019. O período foi escolhido por contemplar um maior número de estações com séries de dados completas, além de representar dados recentes de qualidade da água da bacia em estudo. Os parâmetros da qualidade da água foram obtidos a partir de frequência semestral e trimestral, com o intuito de se obter um maior número de parâmetros de qualidade da água para que as comparações sejam mais confiáveis e homogêneas entre as estações de monitoramento, conforme apontado por Fraga (2019).

Para a seleção dos parâmetros de qualidade da água identificados no monitoramento foi aplicada a metodologia de Soares (2017) que consiste exclusão das análises os parâmetros com mais de 60% de dados faltantes levando em consideração que mais da metade das campanhas não foram executadas no ano, os parâmetros com dados faltantes que não foram excluídos

foram substituídos pelo próprio limite de detecção, conforme também realizado por Fraga (2019). Em adição, os parâmetros com mais de 90% dos dados censurados também foram excluídos, pois apresentam valores muito baixos e não influenciam na análise da qualidade da água (FRAGA, 2019).

Em suma, depois destas análises os dados foram sistematizados sendo possível escolher os parâmetros estudados estatisticamente e assim, confrontá-los com o uso e ocupação do solo. A síntese da metodologia empregada nesta primeira etapa é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Resumo da metodologia correspondente à organização dos dados e definição dos parâmetros



3.2.4. Avaliação do atendimento do padrão da qualidade da água na bacia à luz da DN COPA/CERH-MG 01/2008

Os parâmetros de qualidade da água que apresentam limites legais (COPAM, 2008) foram avaliados em termos da violação dos limites estabelecidos para os corpos hídricos enquadrados de acordo com o como classe 2. Somente a nascente do rio Uberabinha e do rio Araguari no Parque da Serra da Canastra que apresentam classe 1 como proposta (PRH Paranaíba, 2015). No entanto, para o estudo, foram consideradas a classe 2, pois não apresentam estações de monitoramento no curso hídrico de classe 1.

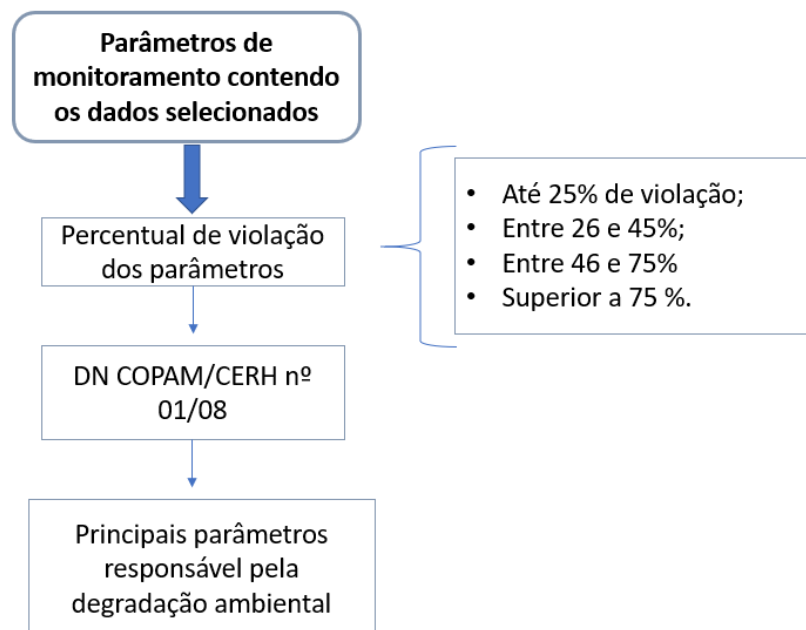
Com o objetivo de se identificar os parâmetros responsáveis pela maior degradação ambiental da bacia do rio Paranaíba adotou-se a metodologia de Soares, Pinto e Oliveira (2020), onde são estabelecidos quatro intervalos de percentuais de violação do total de amostras, a saber:

- Baixo percentual de violação até 25 %;
- Médio percentual de violação entre 26% e 49%;
- Alto percentual de violação entre 50% e 74%; e
- Altíssimo percentual de violação superior a 75%.

Após a classificação dos parâmetros em termos do percentual de violação, foram confeccionados mapas identificando as áreas mais críticas da bacia de acordo com a violação dos parâmetros analisados e relacionando com o uso do solo naquele local. Na Figura 4 apresenta-se uma síntese da metodologia empregada na segunda etapa da metodologia.

Figura 4 - Resumo indicando a metodologia proposta correspondente à análise de violação das amostras.

Avaliação do atendimento do padrão da qualidade da água na bacia



3.2.5. Estatística multivariada

A análise multivariada foi aplicada para auxiliar na interpretação dos parâmetros de violação da qualidade de água. A primeira comparação de qualidade da água dos dados de monitoramento foi realizada por meio da análise de cluster (AC) com o objetivo de avaliar a similaridade das estações de monitoramento em relação ao percentual de violação dos parâmetros da qualidade de água estudados. Os dados foram padronizados na escala Z (média

0 e desvio padrão 1) que busca evitar distorções das diferentes ordens de magnitude dos valores numéricos e das unidades dos parâmetros analisados conforme a Equação 1.

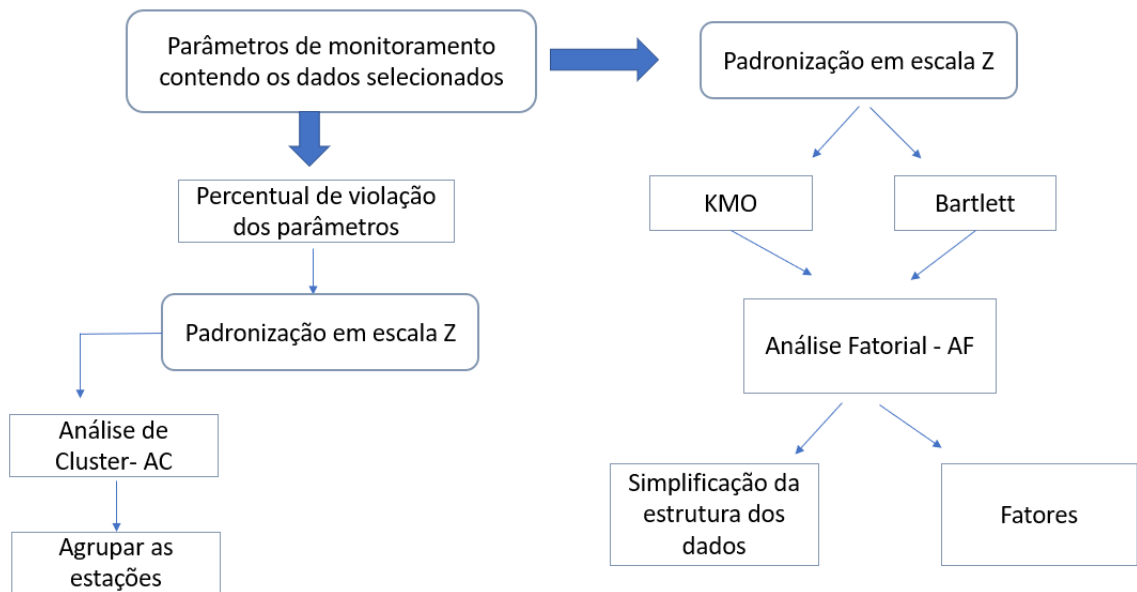
$$Z = \frac{(X-\mu)}{\sigma} \quad \text{Equação 1}$$

No presente estudo, a AC foi realizada por meio do método de Ward, usando a distância euclidiana quadrada como uma medida de similaridade (MUANGTHONG e SHRESTHA, 2015). Muangthong e Shrestha (2015) afirmam que o método de Ward utiliza uma abordagem de análise de variância para avaliar a distância entre os clusters.

Previamente à aplicação da Análise Fatorial (AF), aplicou-se o teste de esfericidade de Bartlett para verificar a existência de relações significativas entre as variáveis para os conjuntos de dados considerando o nível de significância (α) = 0,05, seguido do teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) para considerar a adequação dos dados antes de executar a AF. O resultado do teste de Bartlett precisa apresentar p-valor $\leq 0,05$, ou seja, significativo e o teste de KMO é considerado aceitável entre 0,5 e 0,7 e acima de 0,7 é considerado bom (USTAOGLU, TEPE e TAS, 2020; LI *et al.*, 2018). A obtenção dos fatores foi obtida pelo método de componentes principais, levando em consideração o critério de Kaiser (ou critério da raiz latente) em que os fatores com autovalores iguais ou maiores que 1 foram estudados. As variáveis com peso superior a 0,75 foram estudados (ARRUDA, KNOPIK, SOTTOMAIOR, 2017).

Além disso, de acordo com Tripathi e Singal (2019), uma das etapas gerais do procedimento de AF é realizar o cálculo da covariância/ matriz de correlação. Se a correlação observada entre os indicadores individuais for alta, o conjunto de dados é adequado para realizar a AF, se a correlação for baixa, não é adequado realizar a AF.

Figura 5 - Resumo contendo as etapas metodológicas referente ao estudo de à estatística multivariada.

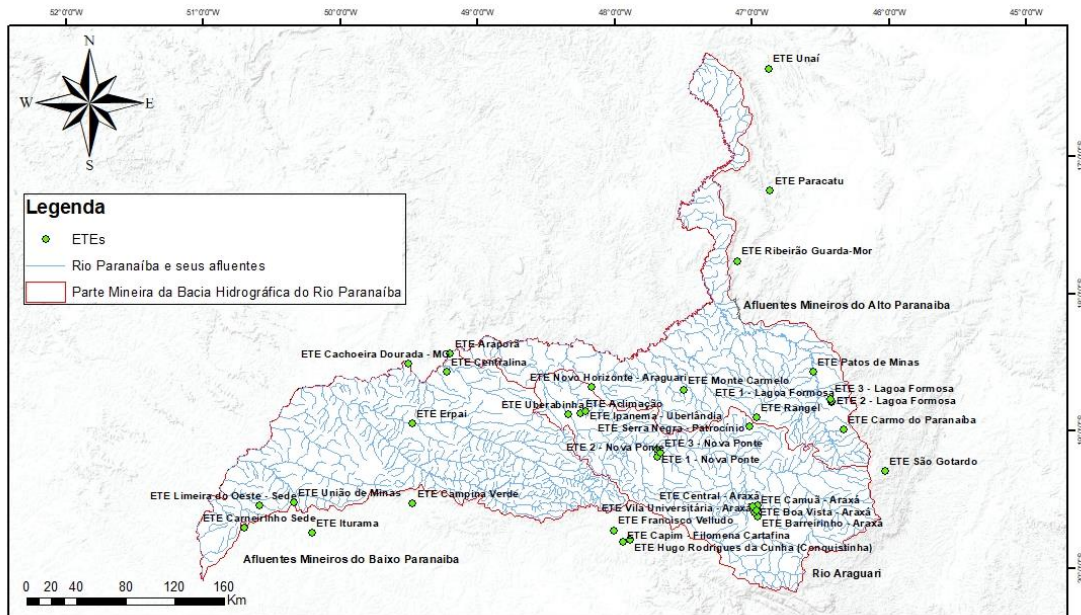


3.2.6. Estações de tratamento de Esgoto (ETE)

Com o propósito de explicar os padrões de atendimento na bacia de acordo com a legislação pertinente, avaliou-se ainda a influência das estações de tratamento de esgoto na qualidade da água como um elemento associado ao uso e ocupação do solo, com vistas à melhoria da qualidade ambiental. O levantamento das estações de tratamento de esgoto na bacia hidrográfica do rio Paranaíba e seus dados de remoção de DBO e vazão de efluente, foram obtidos no Atlas de Esgotos: Despoluição das bacias hidrográficas da Agência Nacional das Águas (ANA, 2017). Ao todo, foram identificadas 38 ETE, conforme indicado na Figura 6.

Figura 6 - Estações de tratamento de esgoto (ETE) distribuídas na porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

Estações de tratamento de esgotos (ETEs) que influenciam na bacia hidrográfica do rio Paranaíba



Sistemas de Coordenadas Geográficas
Datum: SIRGAS 2000

3.3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.3.1. Organização dos dados de monitoramento de qualidade das águas

Após a triagem dos parâmetros a partir dos dados de monitoramento semestrais e trimestrais obteve-se um grupo de 42 estações de monitoramento e 40 parâmetros de qualidade da água considerados no período de 2010 a 2019.

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros de qualidade de água utilizados no estudo.

Tabela 2 - Parâmetros de qualidade de água analisados nas estações de monitoramento.

Parâmetros	
Alcalinidade de Bicarbonato ($\text{mg L}^{-1}\text{CaCO}_3$)	Ferro dissolvido (mg L^{-1})
Alcalinidade Total ($\text{mg L}^{-1}\text{CaCO}_3$)	Fósforo total (mg L^{-1})
Alumínio dissolvido (mg L^{-1})	Magnésio Total (mg L^{-1})
Bário Total (mg L^{-1})	Manganês total (mg L^{-1})
Cálcio Total (mg L^{-1})	Níquel total (mg L^{-1})
Cianeto livre (mg L^{-1})	Nitrogênio - nitrato (mg L^{-1})
Cloreto total (mg L^{-1})	Nitrogênio - nitrito (mg L^{-1})
Clorofila a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Nitrogênio amoniacal total (mg L^{-1})
Coliformes totais (NMP 100mL ⁻¹)	Nitrogênio orgânico (mg L^{-1})
Condutividade elétrica ($\mu\text{mho cm}^{-1}$)	Oxigênio dissolvido (mg L^{-1})
Cor verdadeira (mg . L^{-1})	pH <i>in loco</i>
Dureza de Cálcio ($\text{mg L}^{-1}\text{CaCO}_3$)	Potássio Dissolvido (mg L^{-1})
Dureza de Magnésio ($\text{mg L}^{-1}\text{CaCO}_3$)	Sólidos dissolvidos totais (mg L^{-1})
Dureza Total ($\text{mg L}^{-1}\text{CaCO}_3$)	Sólidos em suspensões totais (mg L^{-1})
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L^{-1})	Sólidos totais (mg L^{-1})
Demanda Química de Oxigênio (mg L^{-1})	Sulfato Total (mg L^{-1})
Escherichia coli (NMP 100mL ⁻¹)	Sulfeto (mg L^{-1})
Estreptococos fecais	Temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$)
Fenóis totais (mg L^{-1})	Turbidez (UTN)
Feoftina a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Zinco Total (mg L^{-1})

Cabe destacar que o parâmetro de Coliformes Termotolerantes foi substituído na rede de monitoramento do IGAM pelo parâmetro *Escherichia Coli* desde o primeiro trimestre do ano de 2013 (IGAM, 2013), portanto tais parâmetros foram usados em conjunto para completar a série histórica do indicador de contaminação de origem fecal nos anos de 2010 até 2013 passando a se chamar indicador de contaminação fecal (ICF).

3.3.2. Avaliação do atendimento ao padrão de qualidade da água dos corpos hídricos da bacia à luz da DN COPAM/CERH-MG 01/2008

Os cálculos referentes ao percentual de violação dos parâmetros foram realizados a partir das estações de monitoramento de qualidade da água, sendo analisados os 24 parâmetros que possuem limites referentes ao padrão de qualidade de água conforme estabelecido pela DN COPAM/CERH 01/08.

Na Tabela 3 é apresentada a quantidade de estações e os parâmetros de qualidade de água violados pelo menos uma vez ao longo do período de análise (2010-2019).

Tabela 3 - Quantidade de estações de monitoramento que violaram os limites vigentes para os parâmetros de qualidade da água

Parâmetros	Violação dos Parâmetros		Parâmetros	Violação dos Parâmetros	
	Quantidade de estações	% das estações		Quantidade de estações	% das estações
Alumínio dissolvido	30	71,4	Níquel total	4	9,5
Bário Total	0	0	Nitrato	0	0
Cianeto Livre	42	100	Nitrito	0	0
Cloreto total	0	0	N amon.	3	7,1
Clorofila a	6	14,3	Oxigênio dissolvido	10	23,8
Cor verdadeira	30	71,4	pH in loco	33	78,6
DBO	12	28,6	SDT	1	2,4
Indicador de contaminação fecal (ICF)	41	97,6	SST	27	64,3
Fenóis Totais	18	42,9	Sulfato Total	0	0
Ferro dissolvido	29	69,1	Sulfeto	42	100
Fósforo total	34	81,0	Turbidez	27	64,3
Manganês total	30	71,4	Zinco	2	4,8

De acordo com os resultados apresentados, observa-se que apenas os parâmetros cloreto total, nitrato, nitrito e sulfato dentre os 24 analisados, não apresentaram padrões violados em nenhuma das estações estudadas ao longo do período monitorado. Os parâmetros alumínio dissolvido, cianeto livre, cor verdadeira, indicador de contaminação fecal, fósforo total, manganês total e pH obtiveram um índice de violação superior a 70,0% nas estações analisadas.

Em alguns corpos hídricos, os parâmetros como indicador de contaminação fecal, sólidos, DBO, OD, fósforo e nitrogênio apresentaram violações em várias estações o que pode estar associado à contaminação por esgoto sanitário nos corpos hídricos. Dimri *et al.* (2021) observaram durante o monitoramento da qualidade da água no rio Ganga na Índia que as violações destes parâmetros foram decorrentes da contaminação fecal de humanos ou de animais. A violação do fósforo indica contaminação intensa pelo descarte de efluentes

sanitários não tratados ou com alguma deficiência em seu tratamento (COSTA *et al.*, 2017) e em solos agrícolas pode indicar presença de fertilizantes. Segundo Soares, Pinto e Oliveira (2020), o mesmo padrão de parâmetros violados foi identificado nas bacias do Paraopeba e do Piracicaba, concluindo que o fósforo total presente nos corpos hídricos foi oriundo do lançamento de efluentes e de fertilizantes agrícolas.

Outros parâmetros críticos identificados na Tabela 3 foram os parâmetros resultantes de atividades industriais, como manganês, níquel, sulfeto, ferro e alumínio. Quinatto (2017) avaliando a qualidade da água do rio Carahá em Lages encontrou valores de manganês acima do valor máximo permitido concluindo que o aporte destes elementos esteve associado a efluentes agroindustriais. Nascimento *et al.* (2018) encontraram valores de Fe e Mn acima do valor de referência previsto na legislação e explica que, estes valores possuem relação direta com as atividades antropogênicas como rejeitos de mineração. Além disso, Barbosa (2015) destaca que o parâmetro de sulfeto teve uma diminuição no limite de detecção, portanto a porcentagem de violação desse parâmetro não pode ser levada em consideração.

A classificação do nível de violação dos parâmetros dos dados selecionados foi realizada de acordo com o percentual de violação descrito por Soares, Pinto e Oliveira (2020) Tabela 4.

Tabela 4 - Percentual de violação aos limites preconizados pela DN COPAM/CERH-MG nº 01/08, para as estações de monitoramento da porção mineira da bacia do rio Paranaíba nos períodos de 2010 a 2019

Parâmetro	PB01	PB02	PB03	PB05	PB07	PB09	PB11	PB13	PB15	PB17	PB19	PB21	PB22	PB23	PB25	PB27	PB29	PB31	PB33	PB35	PB36	
Al_{diss}	21,1	33,3	34,2	7,9	2,6	5,3	2,6	60,5	10,5	5,3	0,0	0,0	2,6	21,1	0,0	15,8	31,6	5,3	2,6	0,0	0,0	
BaT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CN^-	10,5	5,6	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	15,8	7,9	7,9	5,3	5,3	7,9	21,1	10,5	5,3	7,9	5,3	10,5	5,6	8,3	
Cl_T^-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cl_{-a}	0,0	0,0	0,0	7,9	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	0,0	
Cor	13,2	5,6	7,9	5,3	2,6	2,6	2,6	7,9	5,3	2,6	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	15,8	23,7	0,0	21,1	0,0	2,8	
DBO	5,3	0,0	7,9	0,0	0,0	7,9	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ICF	68,4	47,2	94,7	18,4	15,8	89,5	55,3	68,4	34,2	28,9	0,0	5,3	21,1	94,7	34,2	34,2	47,4	21,1	10,5	13,9	11,1	
Fe_{rT}	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	2,6	0,0	5,3	2,6	5,3	2,6	7,9	2,6	0,0	2,8	
Fe_{diss}	21,1	25,0	23,7	2,6	0,0	10,5	0,0	10,5	10,5	2,6	0,0	0,0	0,0	34,2	0,0	52,6	50,0	0,0	52,6	0,0	0,0	
P_T	34,2	33,3	68,4	39,5	5,3	73,7	15,8	84,2	5,3	15,8	7,9	5,3	0,0	94,7	7,9	10,5	15,8	2,6	15,8	2,8	0,0	
Mn_{rT}	57,9	44,4	55,3	34,2	7,9	0,0	18,4	18,4	2,6	10,5	0,0	5,3	0,0	2,6	0,0	13,2	34,2	0,0	0,0	11,1	0,0	
Ni_{rT}	2,6	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	
NO_3^-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
NO_2^-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
NH_4^+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
OD	0,0	0,0	7,9	0,0	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	5,3	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	
pH	13,2	11,1	5,3	2,6	15,8	2,6	39,5	7,9	23,7	15,8	31,6	18,4	55,3	2,6	21,1	0,0	0,0	10,5	0,0	72,2	58,3	
SDT	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
SST	26,3	41,7	47,4	39,5	2,6	0,0	34,2	34,2	0,0	31,6	0,0	5,3	2,6	2,6	0,0	2,6	18,4	0,0	0,0	0,0	0,0	
$SO_4 T$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
S^{-2}	32,3	0,0	27,4	38,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Turb	31,6	36,1	42,1	39,5	2,6	0,0	23,7	31,6	2,6	21,1	0,0	0,0	2,6	5,3	0,0	10,5	23,7	0,0	0,0	0,0	0,0	
ZnT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
TOTAL	14,0	10,0	15,0	12,0	10,0	10,0	9,0	12,0	9,0	10,0	4,0	9,0	7,0	14,0	7,0	10,0	11,0	7,0	7,0	6,0	5,0	

Parâmetro	PB37	PB38	PB39	PB40	PB41	PB42	PB43	PB44	PB45	PB46	PB47	PB48	PB49	PB50	PB51	PB52	PB53	PB54	PB55	PB56	PB57
Al_{diss}	5,6	16,7	13,9	11,1	0,0	5,6	2,8	0,0	0,0	5,6	8,3	0,0	0,0	8,3	5,6	2,9	5,7	0,0	0,0	3,0	19,4
BaT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CN^-	2,8	2,8	13,9	5,6	5,6	8,3	8,3	5,9	2,8	5,6	2,8	2,8	5,6	5,6	8,3	5,7	2,8	8,3	2,8	6,1	5,6
Cl^-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cl^-_a	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1
Cor	8,3	11,1	16,7	13,9	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0	19,4	5,6	11,1	8,3	16,7	13,9	5,7	17,1	13,9	2,8	0,0	0,0
DBO	2,8	2,8	16,7	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0
ICF	58,3	100,0	88,9	100,0	19,4	97,2	52,8	14,7	22,2	27,8	41,7	38,9	91,7	86,1	50,0	42,9	22,8	19,4	72,2	21,2	13,9
Fen_T	0,0	0,0	2,8	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	2,8	0,0	5,6	0,0	0,0	5,7	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0
Fe_{diss}	19,4	11,1	33,3	2,8	0,0	2,8	8,3	0,0	11,1	44,4	19,4	16,7	38,9	13,9	30,6	48,6	11,4	33,3	11,1	0,0	0,0
P_T	41,7	25,0	52,8	13,9	0,0	25,0	8,3	0,0	5,6	0,0	0,0	8,3	25,0	11,1	27,8	20,0	28,5	5,6	44,4	0,0	0,0
Mn_T	8,3	16,7	16,7	5,6	0,0	11,1	0,0	0,0	2,8	8,3	13,9	8,3	11,1	11,1	11,1	22,9	17,1	19,4	8,3	0,0	0,0
Ni_T	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NO_3^-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NO_2^-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NH_4^+	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
OD	2,8	0,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	42,9	25,7	2,8	0,0	0,0	0,0
pH	2,8	2,8	5,6	5,6	69,4	16,7	36,1	55,9	8,3	2,8	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	2,8	0,0	5,6	72,7	0,0
SDT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SST	19,4	33,3	25,0	8,3	0,0	30,6	0,0	2,9	0,0	0,0	5,6	5,6	0,0	11,1	8,3	2,9	2,8	2,8	2,8	0,0	0,0
$SO_4 T$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S^{-2}	0,0	0,0	28,9	32,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Turb	19,4	25,0	22,2	11,1	0,0	27,8	0,0	0,0	0,0	2,8	8,3	8,3	2,8	16,7	8,3	5,7	2,8	0,0	2,8	0,0	0,0
ZnT	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	12,0	12,0	15,0	14,0	3,0	10,0	8,0	4,0	7,0	8,0	10,0	8,0	9,0	9,0	9,0	14,0	11,0	9,0	10,0	4,0	4,0

Classificação da violação dos parâmetros:

Baixo: percentual de violação de até 25%;

Médio: percentual de violação entre 26% e 49%;

Alto: percentual de violação entre 50% e 74%; e

Altíssimo: percentual de violação superior a 75%.

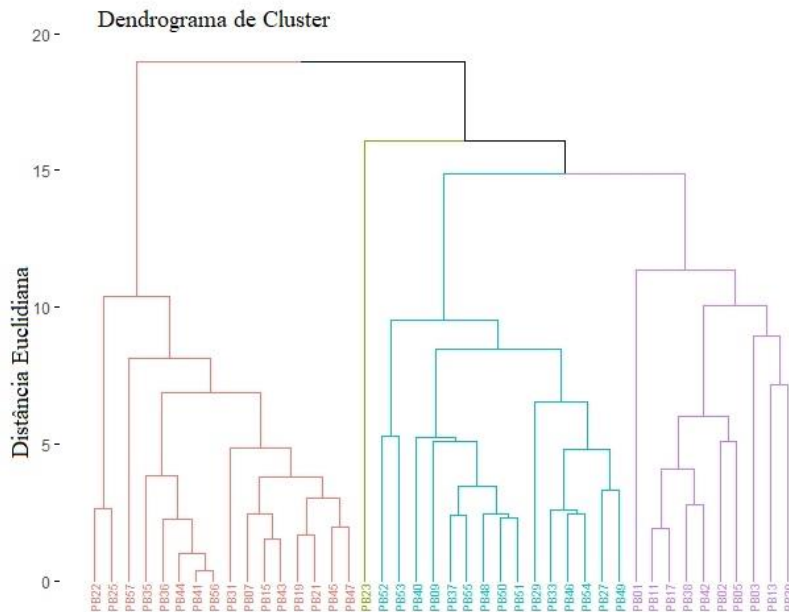
A partir da Tabela 4 observa-se que os parâmetros que mais se destacam estão relacionados a poluição por efluentes sanitários e industriais. Calazans *et al.* (2018) observaram que o lançamento de efluentes sem tratamento em rios é um problema expressivo para a realidade das bacias hidrográficas brasileiras (COSTA *et al.*, 2017). Além disso, Rosa e Ferreira (2018) observaram que a área urbana contribui para os maiores impactos ambientais devido a impermeabilização, compactação do solo e alteração da dinâmica hidrológica da qualidade das águas. Cabe destacar que o uso da terra nas cidades em que as estações estão localizadas é associado a pastagens e culturas anuais.

A violação em todas as estações de monitoramento do parâmetro sulfeto pode estar relacionada as atividades de pecuária nas regiões da bacia (ZEINALZADEH E REZAEI, 2017), ou seja, águas residuárias da suinocultura.

3.3.3. Análise de Cluster

A análise de cluster foi realizada para agrupar as estações de acordo com o percentual de violação dos parâmetros críticos, indicando o agrupamento em quatro grupos a partir de suas similaridades (Figura 7). O critério para o corte dos dendrogramas foi em relação a Distância Euclidiana quadrada de ligação entre as variáveis, ou seja, a maior distância em que os grupos são formados (VICINI, 2005; BARBOSA, 2015; TRINDADE, 2017).

Figura 7 - Dendrograma das estações de monitoramento da porção mineira agrupadas de acordo com os percentuais de violação.



O Grupo 1 contém 16 estações representado na cor rosa, o Grupo 2 constituiu-se apenas 1 estação representada na cor verde, o Grupo 3 contém 15 estações representadas na cor azul e por fim, o Grupo 4 contém 10 estações representadas na cor roxa.

Na Tabela 5 apresenta-se uma descrição detalhada dos grupos obtidos a partir da análise de cluster, com a indicação quantitativa e qualitativa dos parâmetros de qualidade de água violados (físicos, químicos e associados a esgoto sanitário) violados.

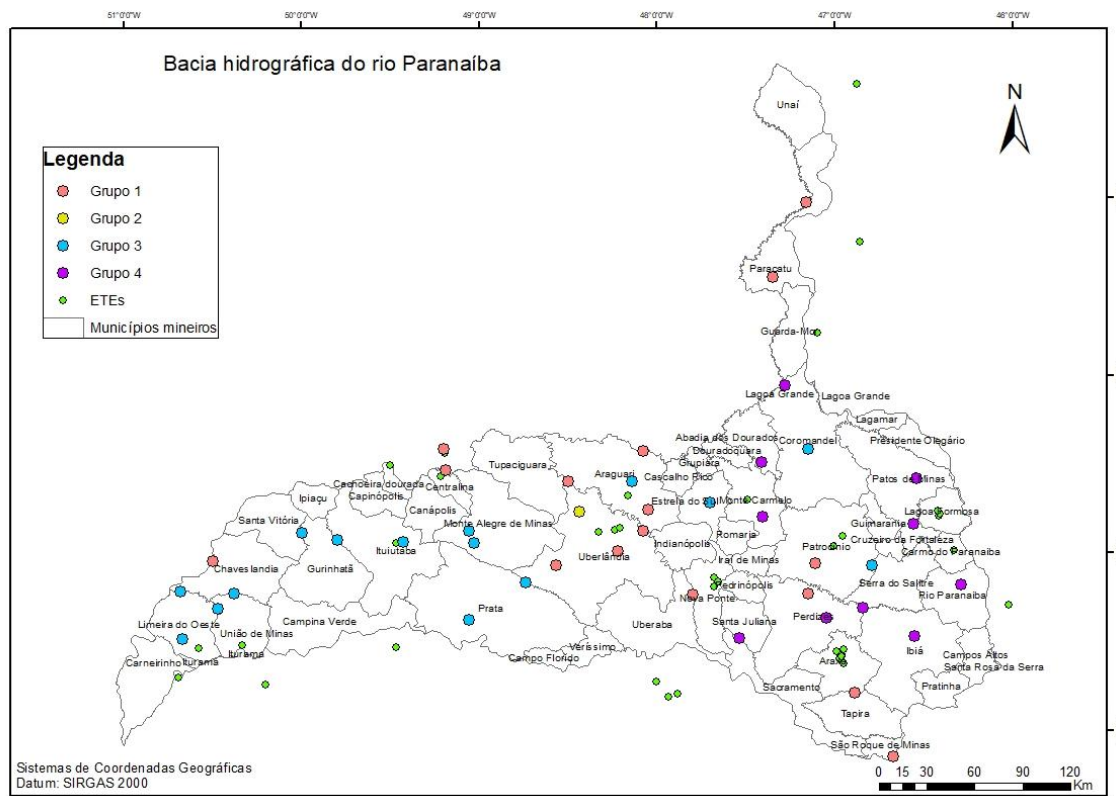
Tabela 5 - Caracterização em termos de parâmetros de qualidade da água violados para os grupos obtidos na análise de cluster.

<i>Características</i>	<i>Grupo 1</i>	<i>Grupo 2</i>	<i>Grupo 3</i>	<i>Grupo 4</i>
<i>Quantidade de estações por grupo</i>	16	1	15	10
<i>Quantidade de parâmetros estudados</i>	24	24	24	24
<i>Quantidade de parâmetros violados por estação de monitoramento</i>	Variando de 4 a 10	14	Variando de 8 a 14	Variando de 11 a 15
<i>% de parâmetros físicos violados por grupo</i>	75,0	75,0	75,0	100,0
<i>% de parâmetros químicos violados por grupo</i>	52,0	64,7	64,7	64,7
<i>% de parâmetros associados a esgoto sanitário</i>	37,0	62,5	62,5	75,0
<i>Parâmetros com violação média (Tabela 6)</i>	<i>ICF, pH</i>	<i>DBO, Fe, NH₄⁺</i>	<i>ICF, Al, Mn, P_T, Fe</i>	<i>P_T, Mn, Turb., pH, SST, Al, E. coli</i>
<i>Parâmetros com violação alta (Tabela 6)</i>	<i>pH e ICF</i>	-	<i>P_T, Fe, ICF, OD</i>	<i>ICF, P_T, Al, Mn</i>
<i>Parâmetros com violação muito alta (Tabela 6)</i>	<i>S₂⁻</i>	<i>S₂⁻, ICF, P_T</i>	<i>S₂⁻, ICF</i>	<i>S₂⁻, ICF, P_T</i>

Parâmetros físicos: cor verdadeira, SDT, SST e turbidez; Parâmetros químicos: Al_{diss} , Ba, Cl^- , DBO, Fen_T , Fe_{diss} , P_T , Mn_T , Ni_T , NO_3^- , NO_2 , $NH_4^+_T$, OD, pH, SO_4T , S_2 e ZnT; Parâmetros associados tipicamente a esgoto sanitário: NO_3^- , NO_2 , $NH_4^+_T$, P_T , DBO, indicador de contaminação de origem fecal (ICF), SDT e SST.

De acordo com a Tabela 5, observa-se que o Grupo 1 apresentou o menor número de parâmetros violados por estação de monitoramento (variando de 4 a 10). Em linhas gerais, nota-se que foi o grupo que apresentou menor porcentagem de violação dos parâmetros associados a esgoto sanitário, pois a maioria dos municípios presentes no Grupo 1 apresentam um elevado índice de coleta de esgoto (Tabela 6). Na Figura 8 visualiza-se o agrupamento das estações de acordo com a análise de Cluster, a localização das ETE com seus respectivos municípios.

Figura 8 - Distribuição espacial das estações de monitoramento da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba classificadas de acordo com a análise de Cluster



No entanto, o índice de tratamento terciário para remoção de patógenos não existe ou não é o suficiente, o que pode explicar o elevado nível de violação de indicador de contaminação de origem fecal. Xu *et al.* (2011) encontraram violações de indicador de contaminação de origem fecal semelhantes e explicam que uma maior quantidade de indicador de contaminação de origem fecal após as ETE pode ser devido ao aumento da carga de esgoto de forma clandestina.

Tabela 6 - Caracterização dos municípios contidos no Grupo 1.

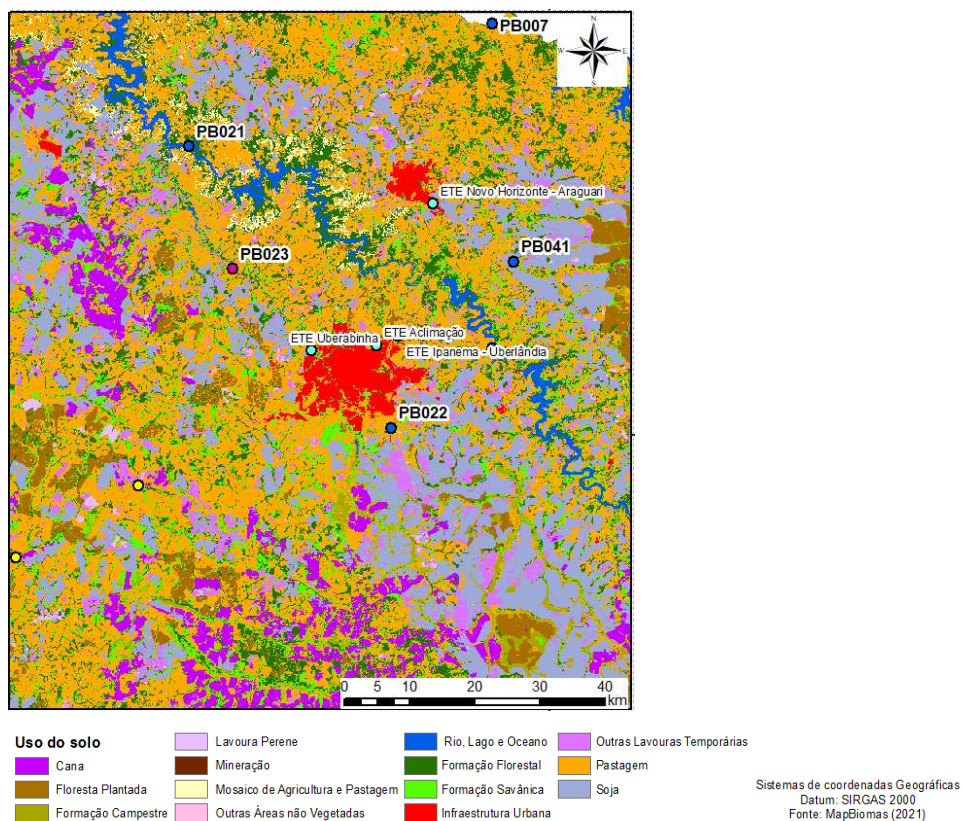
Município	Índice de coleta de esgotos (%)	Índice de tratamento de esgotos (%)	ETE no município	Vazão afluyente ($L.s^{-1}$)	Remoção de DBO (%)
Araguari	94,0	5,0	S	11,2	69
Araporã	97,4	21,7	S	9,1	60
Paracatu	91,1	87,4	S	75,8	77
Patrocínio	100,0	80,0	S*	40,8/40,8	80/80
Perdizes	0,0	0,0	N	-	-
Santa Vitória	97,0	0,0	N	-	-
São Roque de Minas	84,8	0,0	N	-	-
Tapira	0,0	0,0	N	-	-
Uberaba	93,3	77,0	S*	44/228	75/93
Uberlândia	70,0	95,0	S**	14/27/2200	94/85/94

N: não; S: sim; *duas; **três

Dentre os municípios, destacam-se positivamente em termos de tratamento de esgoto gerado, as cidades de Patrocínio, Paracatu e Uberlândia apresentando as melhores infraestruturas de esgotamento para o agrupamento, com índices de coleta de 100,0%, 91,1% e 70,0% da população urbana, e índice de tratamento de 80,0%, 87,4% e 95,0% do que é coletado, respectivamente. Além disso, a remoção de DBO das ETE de Uberlândia, Patrocínio e Paracatu se mantêm acima de 75%.

O Grupo 2 apresenta isoladamente a estação PB023 que exibiu no total 14 parâmetros violados com 62,5% de violação de parâmetros associados tipicamente à esgoto sanitário. Segundo a Tabela 5, os parâmetros violados em destaque foram: DBO, Fe, indicador de contaminação de origem fecal, P_T e NH_4^+ . Com isso, sugere-se que a violação destes parâmetros pode estar relacionada ao aporte de esgoto sanitário, visto a proximidade destas áreas com zonas urbanizadas, pois a estação PB023 encontra-se a jusante da cidade de Uberlândia. Em comparação com a estação PB022, pode-se dizer que a estação PB023 encontra-se com mais parâmetros violados, o que pode estar relacionado a impermeabilização, compactação do solo e a alterações na dinâmica hidrológica (GOUVEIA, 2020), visto que o município de Uberlândia é uma das maiores cidades da região e possui apenas 70% do esgoto coletado. Na Figura 9 apresenta-se o uso e ocupação do solo em que as estações PB022 e PB023 estão localizadas.

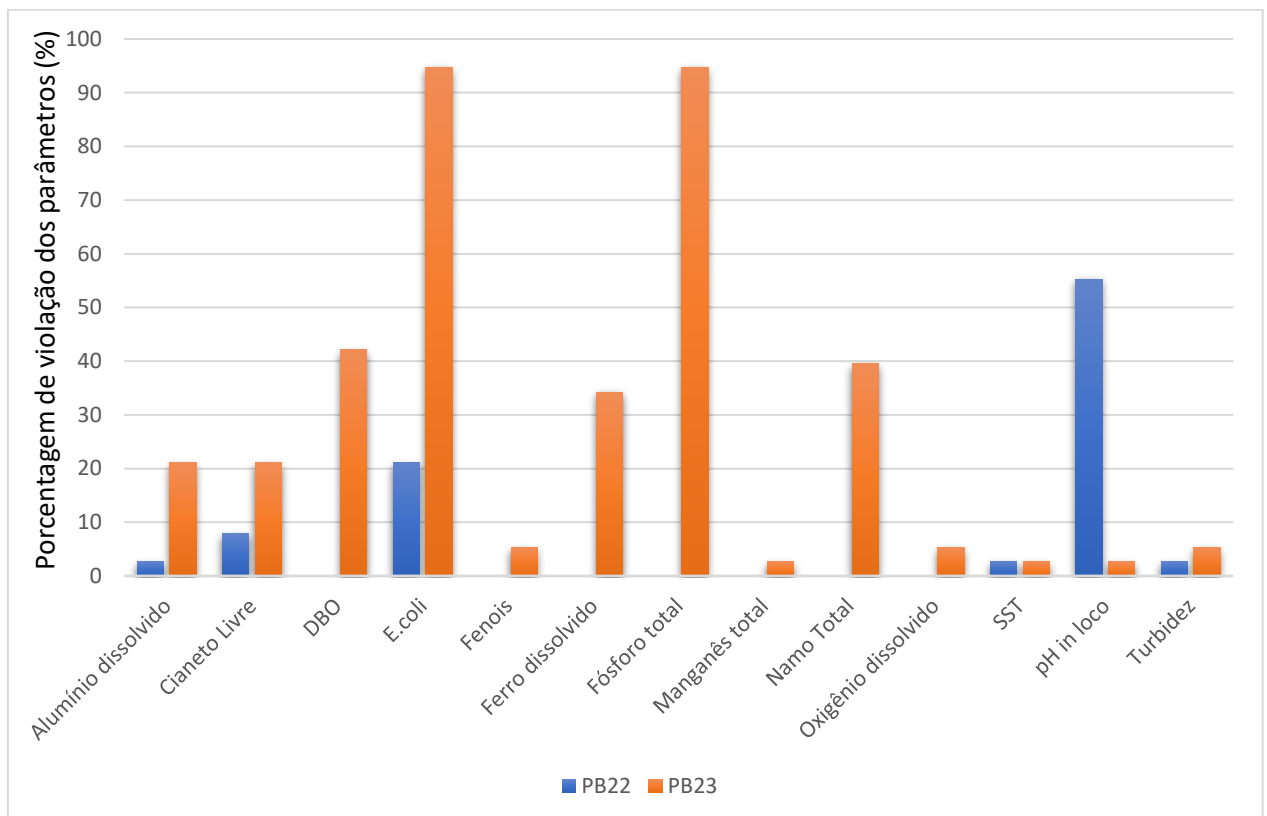
Figura 9 - Mapa de localização das estações de monitoramento PB022 e PB023.



A estação PB023 apresentou uma maior contaminação na qualidade da água e segundo Gouveia (2020), a concentração de parâmetros relacionados a esgoto sanitário na estação PB023 é maior devido ao uso do solo pela infraestrutura da cidade de Uberlândia e a estação PB022 está localizada na estação de tratamento de água (ETA) da cidade.

Na Figura 10 apresenta-se um comparativo da porcentagem de violação dos parâmetros das estações PB022 e PB023, a montante e a jusante da cidade de Uberlândia, respectivamente. O aumento expressivo da concentração de indicador de contaminação de origem fecal e de fósforo total pode estar associado a atividades agropecuárias e ao processo de urbanização, pois possui vários córregos que recebem lançamentos de efluentes, como o córrego Liso e o córrego do Óleo, apresentando assim substâncias tóxicas devido à sua proximidade com a área urbana (SANTOS, 2018).

Figura 10 - Comparação dos parâmetros das estações a montante e a jusante da cidade de Uberlândia.



Apesar da ETE Uberabinha apresentar uma eficiência de tratamento de efluentes de 94,0%, sua eficiência de remoção do fósforo é maior do que a do nitrogênio, 71,2% e 1,1% respectivamente (SANTOS, 2017). As elevadas cargas de indicador de contaminação de origem fecal, por sua vez, podem ser devido aos lançamentos clandestinos de esgoto no corpo hídrico.

Ressalta-se que, mesmo a ETE Uberabinha contendo uma unidade de tratamento com reatores UASB + flotação por ar dissolvido (FAD), seus efluentes não atingem o limite estabelecido para o lançamento em corpo hídrico de classe 2 (SANTOS, 2018), demonstrando haver problemas no tratamento de esgotos da cidade de Uberlândia (CALMON, FERREIRA e ROSA, 2020). Salla *et al.* (2014) afirmam que pelo fato do tratamento dos efluentes não serem totalmente eficientes, e o rio Uberabinha ter uma capacidade de diluição reduzida, existe o comprometimento da qualidade da água do rio a jusante do município de Uberlândia.

Estudos indicam que a autodepuração do rio Uberabinha está comprometida por consequência da quantidade de lançamento de efluentes sanitários, industriais e agrícolas (SANTOS, 2018). A vazão de referência do corpo receptor é de $7.395,1 L \cdot s^{-1}$ o que pode estar ultrapassando a capacidade de diluição do rio receptor e o tratamento de esgoto é apenas uma das ações necessárias para resolver o problema da qualidade da água.

No Grupo 3 foram incluídas 15 estações de monitoramento, com os seguintes parâmetros violados Fe, Mn, P_T , Al, OD, S_2^- e indicador de contaminação de origem fecal. Njuguna *et al.* (2020) apontam que elevados teores de Al podem estar associados ao escoamento proveniente de solos ricos neste elemento. Os mesmos autores afirmam que a presença de P é devido a composição de matéria orgânica depositada na água do rio. Além disso, o fósforo é um fator limitante da eutrofização dos corpos hídricos. Analisando as atividades econômicas da região estudada, as estações contidas no Grupo 3 estão localizadas próximas a atividades de agricultura e pecuária, tendo como fontes de poluição intensas e difusas os processos desenvolvidos nestas atividades, tais como utilização de compostos químicos como adubo e de compostos hormonais para pecuária (CAVALCANTE *et al.*, 2019). Pacheco Neto *et al.* (2020) encontraram valores semelhantes de violação de Al em corpos hídricos, o que foi associado ao processo erosivo de solos, assim como as atividades de agricultura e pecuária. Além disso, a elevada concentração de Al pode ser devida a erosão do solo com atividades de agricultura e pecuária (PACHECO NETO *et al.*, 2020) e atividades industriais. Os mesmos autores também apontam que a violação do parâmetro de Mn também está associada à agricultura, devido à presença deste elemento na composição de fertilizantes e fungicidas, o que ocorre na área de estudo.

Tabela 7 - Caracterização dos municípios contidos no Grupo 3.

Município	Índice de coleta de esgotos (%)	Índice de tratamento de esgotos (%)	ETE no município	Vazão do afluente (L/s)	Remoção de DBO (%)
<i>Araguari</i>	94,0	5,0	S	11,2	69,0
<i>Ituiutaba</i>	99,8	97,0	S	89,5	60,0
<i>Gurinhata</i>	99,2	0,0	N	-	-
<i>Coromandel</i>	88,1	0,0	N	-	-
<i>Estrela do Sul</i>	58,4	0,0	N	-	-
<i>Limeira do Oeste</i>	64,2	100,0	S	4,8	83,0
<i>Monte Alegre de Minas</i>	97,1	0,0	N	-	-
<i>Patrocínio</i>	100,0	80,0	S*	40,8 / 40,8	80/ 80
<i>Prata</i>	98,2	0,0	N	-	-
<i>Santa Vitória</i>	97,0	0,0	N	-	-
<i>Uberlândia</i>	70,0	100,0	S**	14/ 27/ 2200	94/ 85/ 94
<i>União de Minas</i>	96,5	100,0	S	4,6	69,0

Legenda: N: não ; S: sim; *duas; **três

O Grupo 3 apresentou 62,5% de violação dos parâmetros associados a esgoto sanitário (Tabela 5). Apesar dos elevados índices de coleta de esgoto, a maioria dos municípios apresentam ausência ou reduzido índice de tratamento de esgoto, sendo que das seis cidades que possuem ETE em operação, somente a cidade de Uberlândia, Patrocínio e Limeira do Oeste apresentaram remoção de DBO acima de 80% (Tabela 7). Pode-se justificar que a porcentagem de violação de parâmetros associados a esgoto sanitário é devido à falta de ETE na maioria das cidades estudadas do Grupo 3.

O Grupo 4 agrupou 10 estações e apresentou o maior percentual de violação (11 a 15 parâmetros). Os parâmetros mais violados para as estações desse Grupo foram indicador de contaminação de origem fecal, Turbidez, pH, Al, P_T , Mn e SST indicando uma possível contaminação nos corpos hídricos por escoamento superficial, lançamento de poluição devido as atividades econômicas de agricultura desenvolvidas na região. A alta violação de P_T também foi encontrada por Liu *et al.* (2018). Tal parâmetro é devido às atividades antropogênicas como uso de fertilizantes e esgoto sanitário (LIU *et al.*, 2018). Ni *et al.* (2021) e Han *et al.* (2021) afirmam que altas concentrações de P_T são oriundas de aplicações excessivas de fertilizantes nos solos cultivados.

Tabela 8 - Caracterização dos municípios contidos no Grupo 4.

Município	Índice de coleta de esgotos (%)	Índice de tratamento de esgotos (%)	ETE no município	Vazão do afluente (L/s)	Remoção de DBO (%)
<i>Abadia dos Dourados</i>	89,9	0,0	N	-	-
<i>Coromandel</i>	88,1	0,0	N	-	-
<i>Ibiá</i>	80,0	0,0	N	-	-
<i>Monte Carmelo</i>	100,0	100,0	S	62	92
<i>Patos de Minas</i>	98,4	10,2	S	20	75
<i>Perdizes</i>	0,0	0,0	N	-	-
<i>Rio Paranaíba</i>	93,1	100,0	N	-	-
<i>Santa Juliana</i>	0,0	0,0	N	-	-

N: não; S: sim

De acordo com a Tabela 5, o Grupo 4 apresentou a maior porcentagem de violação de parâmetros relacionados a esgoto sanitário, pois a maioria dos municípios contidos no grupo em questão não possuem ETE, fazendo com que o grupo 4 apresente o maior índice de violação para alguns parâmetros monitorados. Apesar das ETE apresentarem uma remoção de DBO maior que 70% no tratamento do esgoto doméstico, a maioria dos municípios não possui nenhum tipo de tratamento, o que representou o maior nível de violação de parâmetros associados ao esgoto sanitário (75%) dentre os grupos gerados, reforçando assim a importância de instalações de ETE nas cidades para a melhoria da qualidade da água.

3.3.4. Análise Fatorial (AF)

A AF foi realizada nos conjuntos conforme os grupos obtidos pela análise de cluster contendo 35 parâmetros no Grupo 1 e 36 parâmetros para os Grupos 3 e 4. O Grupo 2 apresentou apenas uma estação, tornando-se inviável a aplicação da AF. A análise fatorial foi realizada por grupo com o objetivo de identificar os principais fatores que influenciam na qualidade da água de cada grupo estudado.

Segundo Liu *et al.* (2003), as cargas dos fatores podem ser classificadas como fortes ($>0,75$), moderadas (0,75-0,50) e fracas (0,50 – 0,30). Portanto, foram avaliadas as cargas maiores que 0,75 consideradas mais importantes nas variâncias dos dados. Anteriormente à AF, o teste de Bartlett foi aplicado a fim de se concluir sobre a existência de correlações significativas entre as variáveis. O teste de KMO para o Grupo 1 foi igual a 0,74 considerado bom e o teste de Bartlett teve o p-valor $\leq 0,05$, sendo indicado a realização do teste de AF.

Foram encontrados 35 fatores para o Grupo 1, porém somente 7 fatores apresentaram autovalores maiores que 1, explicando 67% da variabilidade total dos dados (Tabela 9).

Tabela 9 - Resultado da AF, com as cargas obtidas para cada fator Grupo 1.

Variáveis	Fv1	Fv2	Fv3	Fv4	Fv5	Fv6	Fv7
Al	0,11	0,14	-0,05	0,15	0,23	-0,24	-0,20
Bário	0,02	0,22	0,82	-0,12	-0,10	-0,19	-0,01
Cianeto Livre	0,11	0,00	0,00	0,88	-0,01	0,04	0,00
Cloreto total	0,70	0,13	0,16	-0,09	-0,05	0,03	0,14
Clorofila a	0,88	0,12	0,02	0,10	-0,03	0,14	-0,03
Cor	-0,03	0,21	0,00	0,12	0,78	-0,08	-0,04
DBO	0,71	0,01	0,15	0,11	-0,04	0,03	0,00
ICF	0,09	0,02	-0,07	0,08	0,00	0,66	0,09
Fenóis totais	-0,23	0,08	0,07	-0,29	0,29	0,10	0,66
Fe	-0,04	0,10	0,16	-0,14	0,76	0,10	0,05
P	0,24	0,53	0,12	0,07	-0,25	-0,03	-0,12
Mn	0,00	0,48	0,13	0,14	0,26	0,45	0,75
Nitrato	0,09	-0,04	0,09	-0,24	0,02	-0,05	0,70
N amoniacal	0,79	0,08	-0,12	-0,12	-0,03	0,05	0,15
Nitrito	0,19	0,00	0,02	-0,04	-0,02	0,82	-0,08
OD	0,15	-0,16	0,12	-0,37	-0,03	-0,03	0,05
pH	0,05	-0,05	0,76	-0,23	-0,06	-0,06	-0,08
SDT	0,06	0,08	0,80	0,07	0,26	0,02	0,04
SST	0,15	0,85	0,04	0,00	0,34	0,02	0,04
Sulfeto	0,02	0,13	-0,01	0,84	-0,11	0,12	0,24
Turbidez	-0,01	0,85	0,04	0,00	0,34	0,02	0,04
Zn	-0,03	0,30	0,03	-0,17	-0,10	-0,01	-0,57
Autovalores	2,63	2,27	2,04	1,97	1,71	1,47	1,12
Variância explicada	0,23	0,12	0,08	0,07	0,07	0,06	0,04
Variância acumulada	0,23	0,35	0,43	0,50	0,57	0,63	0,67

De acordo com a Tabela 9, o Fv1 explica 23% da variância dos dados e apresentou cargas fortemente positivas para a Clorofila a e o Nitrogênio amoniacal. Segundo Fraga (2019), a presença de nitrogênio amoniacal indica o aporte de contaminantes como os fertilizantes. Os parâmetros que se destacaram no Fv2 indicam uma relação positiva entre parâmetros responsáveis pela detecção de sólidos na forma suspensa na água (SST e Turbidez), indicando que a principal fonte de poluição por tais parâmetros está associada ao escoamento de sólidos nas adjacências da bacia para o corpo hídrico (CALAZANS *et al.*, 2018; MUSTAPHA e ABDU, 2012).

O Fv3 explica 43% da variância dos dados e tem a contribuição positivas das variáveis: SDT, Ba e pH. Pode-se interpretar que o Fv3 é relativo à presença de material inorgânico dissolvido, estando relacionados a sais e íons dissolvidos. Segundo Trindade (2013) a presença dos íons e dos sais na água pode ser explicada devido às condições naturais da bacia, em especial às propriedades do solo, desagregação das rochas e intemperismo.

O Fv4 apresentou destaque para os parâmetros sulfeto e cianeto, tendo carga fortemente positiva o sulfeto que geralmente é oriundo de lançamentos de esgotos sanitários e efluentes industriais.

Analisando os fatores da AF e comparando-os com a Tabela 5 e com a Tabela 6, observa-se que o Grupo 1 possui pouca influência de esgoto doméstico devido as ETE presentes nos municípios, os parâmetros com maior percentual de violação foram os físicos e os químicos e os parâmetros do Fv1 estão fortemente associados a efluentes industriais. O Grupo 1 foi caracterizado por conter parâmetros que indicam material inorgânico, sólidos suspensos, sulfetos, fertilizantes e poucas características de esgoto sanitário. De acordo com o PARH (2015) da bacia, a região é fortemente caracterizada pela agricultura, contendo usinas sucroalcooleiras no município de Araguari. Já os municípios de Paracatu e Unaí (não possui sede na bacia, mas está representada pela estação PB035) são fortemente produtores de café, milho, soja e feijão. A região também é marcada pela alta concentração de pivôs centrais de irrigação o que condiz com os principais parâmetros destacados pelas AF.

O teste de KMO para o Grupo 3 foi igual a 0,72 considerado bom e o teste de Bartlett entre os parâmetros obteve o p-valor $<0,05$, sendo indicado a realização do teste de AF. Foram encontrados 36 fatores para o Grupo 3, porém somente 7 fatores apresentaram autovalores maiores que um, explicando 75% da variabilidade total dos dados (Tabela 10).

Tabela 10 - Resultado da AF, com as cargas obtidas para cada fator do Grupo 3.

Variáveis	Fv1	Fv2	Fv3	Fv4	Fv5	Fv6	Fv7
Al	0,79	-0,01	-0,03	0,02	0,03	0,04	-0,08
Cloreto total	0,00	0,61	0,08	0,55	0,19	-0,03	-0,09
Clorofila a	0,08	0,04	0,10	0,04	-0,09	0,84	0,11
Cor	0,63	-0,03	0,08	-0,03	0,52	-0,11	-0,15
DBO	-0,03	0,30	0,01	0,83	0,02	-0,10	0,01
ICF	0,08	0,03	-0,09	0,88	0,04	0,18	0,01
Fe	0,17	0,08	0,12	0,10	0,80	-0,25	-0,21
P	0,26	0,82	0,07	0,22	-0,08	-0,03	0,06
Mn	0,63	-0,01	0,46	0,10	0,00	-0,13	-0,10
Nitrato	-0,12	0,35	0,07	0,03	0,70	0,05	0,23
N amoniacal	-0,10	0,91	-0,08	0,10	0,10	0,00	-0,06
OD	0,11	-0,22	-0,50	-0,36	0,09	0,03	0,56
pH	-0,10	-0,02	0,24	0,00	-0,07	-0,21	0,80
SDT	0,05	0,01	0,84	0,01	0,30	0,00	0,11
SST	0,90	0,03	0,08	-0,01	-0,07	0,08	0,01
Turbidez	0,94	0,02	0,01	0,02	0,07	0,03	0,03
Ba	0,15	-0,14	0,83	-0,13	-0,04	0,11	0,09
Nitrito	-0,08	0,91	-0,12	0,03	0,22	0,01	-0,03
Sulfeto	-0,03	-0,08	-0,03	0,01	-0,08	0,80	-0,35
Zn	0,26	-0,03	0,02	-0,11	0,02	-0,25	-0,31
Autovalores	3,36	3,00	2,02	2,00	1,63	1,62	1,34
Variância explicada	0,17	0,15	0,10	0,10	0,08	0,08	0,07
Variância acumulada	0,17	0,32	0,42	0,52	0,60	0,68	0,75

De acordo com a Tabela 10, o Fv1 explica 17% da variância total dos dados e apresentou cargas fortemente positivas para SST, Al e Turbidez. Segundo Passos *et al.* (2021), a presença de SST e Turbidez estão relacionados às partículas em suspensão nos corpos hídricos. A Fv2 apresentou P e Nitrito com cargas fortemente positivas. Souza (2013) afirma que a presença de fósforo pode ser devida as atividades agropecuárias na região. Outro parâmetro que merece destaque foi da Fv4 que apresentou cargas positivas para DBO e indicador de contaminação de origem fecal, indicando contaminação na bacia por esgoto sanitário e pecuária.

Além disso, o Fv5 apresentou o Fe com carga fortemente positiva, sendo decorrentes de impactos de atividades minerárias ou de processos erosivos na área (BARBOSA, 2015).

Em geral, analisando a Tabela 5 e a Tabela 7, conclui-se que o Grupo 3 apresenta uma maior violação em relação a esgoto sanitário quando comparada ao Grupo 1, pois o Grupo 3 obteve 62,5% de violação dos parâmetros associados a esgoto sanitário e o parâmetro fósforo foi um dos destaques além do indicador de contaminação de origem fecal. O Grupo 3 também foi marcado por parâmetros que indicam atividades agropecuárias e minerárias. Os municípios

que constituem tal grupo possuem predominância nas áreas de pastagem, chegando a obter os maiores rebanhos bovinos e ocorrência dos maiores rebanhos de aves e suínos. Os municípios de Prata, Monte Alegre de Minas, Uberaba e Uberlândia são inclusive classificados como municípios de pecuária diversificada, por possuírem maiores rebanhos nas três categorias (bovinos, aves e suínos). Já os municípios de Limeira do Oeste e Santa Vitória possuem maiores rebanhos apenas de bovinos (PARH, 2015).

Além disso, no Grupo 3 os principais parâmetros associados à alteração da qualidade da água são associados a poluentes advindos do processo de mineração. Os municípios de Patrocínio, Lagamar (próximo à estação BP037) e Serra do Salitre (próximo à estação PB055) possuem intensa atividade minerária, o que reforça tal observação a partir da análise de fatorial. Com isso, as cargas poluidoras de origem agropecuária e da intensa atividade de mineração são os principais fatores que impactam a qualidade dos corpos hídricos na região de estudo.

O teste de KMO para o Grupo 4 foi igual a 0,79 considerado bom e o teste de Bartlett entre os parâmetros apresentou p-valor < 0,05, sendo indicado a realização do teste de AF. Foram encontrados 36 fatores para o Grupo 4, porém somente 9 fatores apresentaram autovalores maiores que um, explicando 79% da variabilidade total dos dados (Tabela 11).

Tabela 11- Resultado da AF, com as cargas obtidas para cada fator do Grupo 4.

Variáveis	Fv1	Fv2	Fv3	Fv4	Fv5	Fv6	Fv7
Al	0,00	0,28	0,02	0,17	0,81	0,08	-0,04
Cianeto Livre	0,35	0,01	0,69	0,01	-0,07	0,32	-0,12
Cloreto total	0,37	0,00	-0,05	0,75	0,06	-0,08	-0,06
Clorofila a	-0,03	0,02	0,40	0,07	0,06	-0,01	-0,69
Cor	0,11	0,38	0,35	0,09	-0,06	0,49	0,40
DBO	0,91	-0,06	-0,02	0,08	-0,01	0,04	-0,02
ICF	0,78	-0,02	0,33	0,04	0,08	-0,24	0,14
Fenóis totais	0,15	-0,02	0,01	0,05	-0,08	-0,85	-0,03
Fe	0,58	-0,08	-0,22	0,04	0,64	-0,01	0,03
P	0,82	0,24	-0,02	0,23	0,04	-0,02	-0,05
Mn	0,09	0,87	0,02	0,04	0,13	-0,03	0,08
Nitrato	0,32	0,03	-0,28	0,51	-0,12	0,25	-0,28
N amoniacal	0,92	-0,09	-0,05	0,00	-0,03	0,05	-0,06
OD	-0,88	-0,12	-0,17	-0,13	-0,07	0,14	-0,08
pH	0,13	-0,22	-0,43	0,34	-0,27	0,06	-0,10
SDT	0,51	0,53	-0,20	0,34	0,13	0,04	-0,09
SST	-0,02	0,92	0,09	-0,02	0,09	0,04	0,11
Turbidez	0,01	0,95	0,05	-0,06	0,04	0,04	0,04
Ba	-0,05	0,55	0,25	0,60	-0,08	0,22	0,16
Nitrato	-0,02	-0,01	-0,05	0,68	0,28	-0,12	0,19
Sulfeto	-0,03	0,06	0,86	-0,07	-0,09	-0,07	-0,08
Zn	0,00	0,38	0,14	0,15	0,07	0,08	0,60
Autovalores	4,48	3,60	2,09	2,02	1,33	1,31	1,23

Variância explicada	0,20	0,16	0,10	0,09	0,06	0,06	0,06
Variância acumulada	0,20	0,37	0,46	0,55	0,61	0,67	0,73

De acordo com a Tabela 11, o Fv1 explica 20% da variância e tem contribuições positivas das variáveis: DBO, P, indicador de contaminação de origem fecal, N amo e com carga negativa o OD. A oposição de sinais entre DBO e OD já era esperada pois a presença de DBO está relacionada a matéria orgânica mineralizada na água, indicando uma possível redução da presença de OD, com isso, é importante avaliar a carga orgânica lançada nos corpos hídricos (SILVA, *et al.*, 2020).

Costa (2018) afirma que a concentração de OD é importante para avaliar a capacidade de autodepuração dos corpos hídricos, e sua carga negativa pode indicar um possível impacto devido a atividades antrópicas (FINKLER *et al.*, 2015). Souza *et al.* (2014) em seu estudo, afirma que a parte urbana da bacia hidrográfica que possui um maior número de habitantes há menores concentrações de OD, sendo assim, uma fonte potencial de poluição por descarga de efluentes sanitários. Além disso, estes parâmetros são indicadores de fontes pontuais advindas do lançamento de esgoto sanitário sem o devido tratamento na bacia (MUANGTHONG e SHRESTHA, 2015).

O Fv2 foi representado pelos parâmetros de Mn, SST e turbidez. Os parâmetros de Mn e Turbidez se destacam por indicar o inadequado uso do solo, como por exemplo, em decorrência de processos erosivos (TRINDADE, 2013), em adição, os parâmetros de Turbidez e SST estão associados às partículas em suspensão presentes nos corpos hídricos (PASSOS *et al.*, 2021).

O Fv3, Fv4, Fv5, Fv6 e Fv7 apresentaram cargas fortemente positivas para os parâmetros Sulfeto, Cloreto, Alumínio, Fenóis e clorofila a respectivamente. Estes parâmetros estão associados a descargas de efluentes industriais. Em geral, observa-se que o Grupo 4 destacou-se negativamente dos demais grupos devido ao elevado percentual de violação dos parâmetros Al (Fv5), SST e Turbidez (Fv2) e indicador de contaminação de origem fecal, DBO, P e N amo (Fv1) De acordo com Soares, Pinto e Oliveira (2020), a concentração de fósforo total pode estar associada à descarga de esgoto (fecal, matéria orgânica e detergentes fosfatados), efluentes industriais (fertilizantes, indústrias de pesticidas, indústrias químicas em geral, indústrias alimentares), ou drenagem de áreas agrícolas e urbanas. Mainstone e Parr (2002) afirmam que elevadas concentrações de fósforo nos sistemas de água devido ao descarte de efluentes e escoamento de águas urbanas e áreas agrícolas também podem provocar a eutrofização dos corpos hídricos.

O elevado índice de violação da turbidez pode estar associado ao processo de erosão das margens dos rios, em especial no período da chuva, devido ao lançamento de esgoto sanitário e efluentes industriais, principalmente no município de Patos de Minas que possui alta concentração industrial, e o município de Coromandel que se destaca pela presença de atividades de mineração (COSTA *et al.*, 2017). Soares, Pinto e Oliveira (2020) descrevem que altos níveis de turbidez podem reduzir a quantidade de luz atingindo profundidades menores em corpos hídricos inibindo o crescimento de algumas formas de plantas aquáticas, o que pode afetar negativamente algumas espécies.

No Grupo 4 observou-se a forte contribuição de contaminação fecal (indicador de contaminação de origem fecal) na qualidade da água, devido a intensa contaminação dos cursos pelo lançamento de esgoto sanitário sem o devido tratamento. O Grupo 4 apresentou o maior percentual de violação dos parâmetros associados a esgoto (Tabela 5) o que pode estar relacionado ao fato de somente dois, dos oito municípios do grupo possuírem ETE.

As violações de manganês, cor, turbidez e sólidos suspensos totais (TSS) estão relacionados a processos erosivos naturais e causas antropogênicas. Esses processos podem ser promovidos pelo manejo inadequado do solo na agricultura e mineração, que faz com que o transporte de sólidos para o corpo hídrico (COSTA *et al.*, 2017). Além disso, a deficiência do esgotamento sanitário é um problema recorrente na região de abrangência do Grupo 4 da bacia (PARH, 2015).

Para a simplificação dos dados é importante pensar em todas as análises abordadas no estudo, pois cada análise auxilia na avaliação dos dados de qualidade da água de uma forma particular. A importância de dividir os dados em grupos (análise de cluster) é que cada grupo apresenta uma característica singular que influencia na qualidade da água. A análise de violação traz uma avaliação geral dos parâmetros que apresentam valores de referência, porém pode acontecer de alguns parâmetros avaliados não terem padrões legais que preconizam ou serem expressivos em alguma região específica. Portanto, o uso da AF auxilia na identificação dos parâmetros mais expressivos na bacia, ou seja, os parâmetros que melhor explicam a variabilidade dos dados daquele grupo resultante do cluster. Sendo assim, o conjunto de ferramentas estatísticas possibilitam obter informações e conclusões a partir de uma amostra do conjunto de dados de forma satisfatória e real.

3.4. CONCLUSÕES

Os percentuais de violação dos parâmetros de qualidade da água analisando os 10 anos de dados indica que a bacia hidrográfica do rio Paranaíba possui algumas semelhanças na qualidade da água observadas via análise cluster que agrupou as estações em 4 grupos. No geral, os parâmetros que apresentaram maior percentual de violação foram indicador de contaminação de origem fecal, fósforo e sulfeto, o que condiz com as análises individuais dos grupos estudados.

As estações de monitoramento do Grupo 1 apresentaram poucas violações relacionadas à esgoto sanitário o que indica uma boa qualidade da água quando comparado aos demais grupos. A AF ajudou a identificar os parâmetros responsáveis pelas variações da qualidade da água no grupo e em geral, um dos parâmetros mais expressivos no grupo estudado que se evidenciou negativamente foi decorrente de usos indiscriminados de fertilizantes na agricultura e parâmetros de efluentes industriais no qual se destacam os municípios de Araguari, Paracatu e Unaí.

O Grupo 2 apresentou uma violação dos parâmetros associados ao uso do solo e a descarga de esgoto sanitário. Destaca-se que a estação presente no Grupo 2 está localizada a jusante da cidade de Uberlândia e é o corpo hídrico que recebe os efluentes da ETE Uberabinha. Com isso, conclui-se que apesar da eficiência de remoção de DBO da ETE na disposição dos efluentes sanitários, ainda sim foi observado uma limitação na capacidade da ETE Uberabinha em melhorar a qualidade da água do curso d'água.

O Grupo 3 se destacou devido a violação de parâmetros que indicam poluição intensa e difusa oriunda de atividades de pecuária e mineração. Os municípios de Prata, Monte Alegre, Uberaba e Uberlândia são os maiores produtores de pecuária diversificada na região e os municípios de Patrocínio, Lagamar e Serra do Salitre possuem intensa atividade minerária, o que foi identificado através dos parâmetros que se destacaram na AF. Além disso, o Grupo 3 apresentou uma violação de 62,5% dos parâmetros associados a esgoto sanitário, pois 50% dos municípios presentes no grupo não possuem ETE. O Grupo 4 foi destaque negativo para o percentual de violação de parâmetros associados a esgoto sanitário (de 75%) e industrial devido as atividades econômicas desenvolvidas na região. O município de Patos de Minas se destaca pela elevada concentração agroindustrial e o município de Coromandel pela atividade de mineração. Além disso, os municípios presentes no Grupo 4 apresentam poucas ETE, o que potencializa a poluição dos corpos hídricos através do lançamento *in natura* do esgoto.

Os resultados demonstram que vários fatores e fonte de poluição pontual e difusa afetam a qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, predominando assim o lançamento de esgoto sanitário sem tratamento adequado, atividades de agricultura e pecuária. Além disso, ressalta a importância de os municípios construírem e monitorarem a ETE para que diminua a poluição dos corpos hídricos por esgoto sanitário. Este estudo pode ser usado para auxiliar nas tomadas de decisões dos gestores da bacia estudada permitindo a identificação das principais fontes de poluição nos diferentes pontos da bacia. Os agrupamentos gerados podem contribuir para o planejamento e gestão dos recursos hídricos de acordo com as especificidades regionais.

REFERÊNCIAS

- ACHIENG', A. O.; RABURU, P. O.; KIPKORIR, E. C.; NGODHE, S. O.; OBIERO, K. O.; & ANI-SABWA, J. Assessment of water quality using multivariate techniques in River Sosiani, Kenya. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.189, p.1– 13, 2017.
- ANA - AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Plano de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, Brasília, DF, 2013.
- ANA -AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas – PNQA, 2017.
- ARRUDA, N. M. B; KNOPIK, J.; SOTTOMAIOR, F.H. Avaliação da qualidade da água do rio Tibagi antes da formação do reservatório da UHE Mauá, por meio de análise fatorial. **Eng. Sanit. Ambiental**, v.22, n.6, p.1075-1083, 2017.
- BARBOSA, Thaís Baêta Costa. **Avaliação da qualidade das águas superficiais da subbacia do rio Paracatu em função do uso e ocupação do solo**. 174 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- BATISTA, João Vitor Ribeiro Dias. **O avanço da cadeia agroindustrial da cana de açúcar na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (TMAP)**. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- BORGES, R.C.; SANTOS, F.V.; CALDAS, V.G.; LAPA, C. M.F. Use of geographic information system (GIS) in the characterization of the Cunha Canal, Rio de Janeiro, Brazil: effects of the urbanization on water quality. **Environ Earth Sci**.v. 73, p.1345–1356, 2015.
- CALAZANS, G.M., PINTO, C.C., COSTA, E.P., PERINI, A.F., OLIVEIRA, S.C. The use of multivariate statistical methods for optimization of the surface water quality network monitoring in the Paraopeba river basin, Brazil. **Environ Monit Assess**, v.190, n.8, 2018.
- CALMON, M.S.; FERREIRA, V.O.; ROSA, R.M. Índice de qualidade de água e contaminação por tóxicos no rio Uberabinha, a montante e a Jusante da área urbana de Uberlândia/MG. **Revista Geoaraguaia**. v.10, n.1, p.235-260, 2020.
- CASTRO, BARBARA ALVES ARAÚJO. Análise do setor sucroenergético do Triângulo Mineiro. **Belo Horizonte: SEBRAE Minas**, v.54, 2018.
- CAVALCANTE, I. C. da S.; SILVA, R. da S.; BLANCO, C. J. C.; TEIXEIRA, L. C. G. M.; FERNANDES, L. L. Análise da qualidade da água de uma bacia hidrográfica periurbana no município de Capitão Poço/PA. **Revista AIDIS**. V.12, n.3, 413-431, 2019.
- CHAVES, V.S.; SCHNEIDER, E.H.; LIMA, A. S.P.; MENDONÇA, L.C. Desempenho das estações de tratamento do esgoto de Aracaju. **Revista DAE**. n. 209, v. 66, 2017.
- COSTA, E.P.; PINTO, C.C.; SOARES, A.L.; MELO, L.D.V.; OLIVEIRA, S.M.A.C.O. Evaluation of violations in water quality standards in the monitoring network of São Francisco River basin, the third largest in Brazil. **Environ Monit Assess**, v.189, n.11, 2017.

COSTA, Karine Andréa Da. **Avaliação da qualidade da água do rio verde, Ponta Grossa, PR, através de análise multivariada e aplicação de índices de qualidade.** Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2018.

CROOKS, E.C., I.M. HARRIS, AND S.D. PATIL. Influence of Land Use Land Cover on River Water Quality in Rural North Wales, UK. **Journal of the American Water Resources Association**, v.57, p.357 – 373, 2021.

DIMRI, D.; DAVEREY, A.; KUMAR, A.; SHARMA, A. Monitoring water quality of River Ganga using multivariate techniques and WQI (Water Quality Index) in Western Himalayan region of Uttarakhand, India. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v.15, 2021.

FINKLE, N.R., PERESIN D., COCCONI J., BORTOLIN A.A., RECH A., SCHNEIDER V.E. Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. **Rev. Ambiente & Água**, n.4, p.782-792, 2015.

FRAGA, Micael Souza. **Proposta metodológica para avaliação e otimização de redes de monitoramento de qualidade da água.** Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

GORGOGLIONE, A.; GREGORIO, J.; RÍOS, A.; ALONSO, J.; CHRETIES, C.; FOSSATI, M. INFLUENCE of Land Use/Land Cover on Surface-Water Quality of Santa Lucía River, Uruguay. **Sustainability** , v.12, 4692, 2020.

GOUVEIA, Rogerio Gonçalves Lacerda de. **Análise da influência do uso do solo na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Uberabinha – MG, utilizando técnicas de geoprocessamento.** Tese (doutorado), Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 51p, 2020

HAN, J.; XIN, Z.; HAN, F.; XU, B.; WANG, L.; ZHANG, C.; ZHENG, Y. Source contribution analysis of nutrient pollution in a P-rich watershed: Implications for integrated water quality management. **Environmental Pollution**, v. 279, 2021.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2013. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte: IGAM, 2013.

J UNG, K. Y.; LEE K.; IMA, T. H. Evaluation of water quality for the Nakdong River watershed using multivariate analysis. **Environmental Technology & Innovation**, v. 5, p. 67–82, 2016.

KHANORANGA, Sofia Khalid. An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. **Journal of Geochemical Exploration**. v.197, p. 14-26, 2019.

LI, T.; LI, S.; LIANG, C.; BUSH, R.T.; XIONG, L.; JIANG, Y. A comparative assessment of Australia's Lower Lakes water quality under extreme drought and post-drought conditions using multivariate statistical techniques. **Journal of Cleaner Production**, v.190, 2018.

LIU, Cheng-Wuing; LIN, Kao-Hung; KUO, Yi-Ming. Application of factor analysis in the assessment of ground water quality in a black foot disease area in Taiwan. **The Science of Total Environment**, n. 313, p. 77-89, 2003.

LIU, P.; HOTH, N.; DREBENSTEDT, C.; SUN, Y.; XU, Z. Hydro-geochemical paths of multi-layer ground water system in coal mining regions – Using multivariate statistics and geochemical modeling approaches. **Science of the Total Environment**, v. 601-602, p. 1-14, 2017.

LIU, S.; RYU, D.; WEBB, J.A.; LINTERN, A.; WATERS, D.; GUO, D.; WESTERNS, A.W. Characterisation of spatial variability in water quality in the Great Barrier Reef catchments using multivariate statistical analysis. **Marine Pollution Bulletin**, v.137, p. 137-151, 2018.

MAINSTONE, C. P., & PARR, W. Phosphorus in rivers—Ecology and management. **Science of the Total Environment**, v. 282-283, p. 25–47, 2002.

MARÇAL, D.A.; SILVA, C.E. Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI). **Eng. Sanit. Ambient**, v.22, n.4, Rio de Janeiro, 2017.

MELLO, K. DE; TANIWAKI, R. H., PAULA, F. R. DE, VALENTE, R. A., RANDHIR, T. O., MACEDO, D. R., LEAL C. G., RODRIGUES C. B., HUGHES, R. M. Multi scale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 270, 2020.

MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. S.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 519-534, 2019.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 5 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte: COPAM, 2008

MITRA, S.; GHOSH, S., SATPATHY, K.K.; BHATTACHARYA, B.D.; SARKAR, S.K.; MISHRA, P.; RAJA, P. Water quality assessment of the ecologically stressed Hooghly River Estuary, India: a multivariate approach. **Marine Pollution Bulletin**, v.126, p.592–599, 2018.

MOSTAFAEI, Abazar. Application of multivariate statistical methods and water-quality index to evaluation of water quality in the Kashkan River. **Environmental Management**, v. 53, p. 865-881, 2014.

MUANGTHONG, S.; SHRESTHA, S. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: case study of the Nampong River and Songkhram River, Thailand. **Environ Monit Assess**, v.189, n.9, 2015.

MUSTAPHA, A.; ABDU, A. Application of Principal Component Analysis & Multiple Regression Models in Surface Water Quality Assessment. **Journal of Environment and Earth Science**. v.2, n.2, 2012.

NI, X.; PREM B. PARAJULI; OUYANG, Y.; DASH, P.; SIEGERT, C. Assessing land use change impact on stream discharge and stream water quality in agricultural watershed, **CATENA**, v.198, 2021.

NJUGUNA, S.M.; ONYANGO, J.A.; GITHAIGA, K. B.; GITIRI, R.W.; YAN, X. Application of multivariate statistical analysis and water quality index in health risk assessment by domestic use of river water. Case study of Tana River in Kenya. **Process Safety and Environmental Protection**, v.133, p. 149-158, 2020.

NNOROM, I.; EWUZIE, U.; EZE, S.O. Multivariate statistical approach and water quality assessment of natural springs and Other drinking water sources in South eastern Nigeria. **Heliyon**, v.5, 2019.

OUYANG, Y.; FENG, G.; PARAJULI, P.; LEININGER, T.; WAN, Y.; JENKINS, J.N. Assessment of Surface Water Quality in the Big Sunflower River Water shed of Mississippi Delta Using Nonparametric Analysis. **Water Air Soil Pollut**, v.229, 2018.

PACHECO NETO, W.M.; MATOSINHOS, C.C.; BAGGIO FILHO, H. Efeito do uso e ocupação do solo sobre a concentração dos metais nas águas da sub-bacia do Rio Paraúna. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**. v.4, n.1, p. 749-759, 2020.

PARH, 2015. PARH. Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão: PARH Paranaíba. Consórcio Ecoplan-Lume Ambiental, 2010. 100p.

PASSOS, J.B.M.C.; TEIXEIRA, D.B.S.; CAMPOS, J.A.; LIMA, R.P.C.; FERNANDES FILHO, E.I.; SILVA, D.D. Multivariate statistics for spatial and seasonal quality assessment of water in the Doce River basin, South eastern Brazil. **Environ Monit Assess**, v.193, 2021.

PASTRO, M.S.; CECÍLIO, R.A.; ZANETTI, S.S.; OLIVEIRA, F.R.; FERRAZ, F.T. Estatística multivariada aplicada à análise de qualidade da água em diferentes ambientes de microbacias hidrográficas. **Nativa**, v. 8, n. 2, p. 185-191, 2020.

PERESIN, D.; BORTOLIN, T. A.; GRAEFF, R. E. N.; SCNEIDER, V.E. Influência do lançamento de efluente tratado sobre a qualidade da água de um arroio urbano. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 26 de novembro e 01 de dezembro de 2017, Florianópolis, SC.

PINTO, C.C., CALAZANS, G.M., OLIVEIRA, S.C. Assessment of spatial variations in the surface water quality of the Velhas River Basin, Brazil, using multivariate statistical analysis and nonparametric statistics. **Environ Monit Assess**, v.191, 2019.

QUINATTO, Jessica. **Avaliação da qualidade da água de um rio urbano utilizando indicadores físico-químicos e biológicos: o caso do rio Carahá em Lages/SC**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) –Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

RAVIKUMAR, P.; SOMASHEKAR, R.K.. Principal component analysis and hydrochemical facies characterization to evaluate ground water quality in Varahi river basin, Karnataka state, India. **Applied Water Science**, v. 7, p. 745-755, 2017.

ROSA, R.M.; FERRERA, V. O. Análise da paisagem e proposição de zoneamento ambiental da bacia do rio Uberabinha, Minas Gerais. **Caderno de Geografia**, v.28, n.53, p.404-427, 2018.

SALLA, M. R.; ARQUIOLA, J. P.; SOLERA, A.; ÁLVAREZ, J. A.; PEREIRA, C. E.; EDUARDO, J.; FILHO, A.; OLIVEIRA, A. L. De. Sistema de suporte à decisão em recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Uberabinha, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 189–204, 2014.

SANTOS, Bruna Mohn Terra. **Avaliação da qualidade da água do rio Uberabinha, em áreas urbanas do município de Uberlândia (Minas Gerais, Brasil), por meio de testes de citotoxicidade e genotoxicidade**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

SANTOS, Murilo Garcia. **Desempenho da ETE Uberabinha na remoção de fósforo total e nitrogênio amoniacal**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

SANTY, S., MUJUMDAR, P. & BALA, G. Potential Impacts of Climate and Land Use Change on the Water Quality of Ganga River around the Industrialized Kanpur Region. **Scientific Reports**, v.10, 2020.

SHI, P.; ZHANG, Y.; LI, Z.; LI, P.; XU, G. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. **CATENA**, v. 151, p.182-190, 2017.

SILVA C. P., VARGAS R. R., ARRUDA R. O. M., ROSINI E. F. Efeitos do uso e ocupação da terra na qualidade da água da sub-bacia hidrográfica Cabosol, Guarulhos/SP. **Revista IberoAmericana de Ciências Ambientais**, v.10 (6), p. 1- 8, 2019.

SILVA, D. P. PITALUGA, D. P. S., SCALIZE, P. S., & SANTOS, H. O. Seasonal evaluation of surface water quality at the Tamanduá stream watershed (Aparecida de Goiânia, Goiás, Brazil) using the Water Quality Index. **Open Engineering**, v.9, p. 90–98, 2019.

SILVA, S.A.; AZEVEDO, L.D.C.; LIMA, G.V.B.A.; PEREIRA, M.M.; ARAÚJO, I.R.S. Otimização estatística de parâmetros de qualidade de águas superficiais no monitoramento ambiental em atividades de mineração na Amazônia. **Research, Society and Development**, v.9, n.3, 2020.

SOARES, A.L.; PINTO C.C.; OLIVEIRA, S.C. Impacts of anthropogenic activities and calculation of the relative risk of violating surface water quality standards established by environmental legislation: a case study from the Piracicaba and Paraopeba river basins, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v.27, p.14085-14099, 2020.

SOARES, Ana Luiza Cunha. **Identificação dos corpos d'água mais impactados das bacias dos rios Piracicaba e Paraopeba e cálculo do risco relativo de violação aos limites preconizados pela legislação ambiental**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SOUZA, Felipe Rodrigues Abrantes. **Modelagem espacial da qualidade da água usando geotecnologias na bacia hidrográfica de Santana-RJ**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

SOUZA, Maria Do Carmo Fonte Boa. **Aspectos Hidrodinâmicos e Qualidade das Águas Subterrâneas nas Sub-Bacias do Rio Verde Grande, Jequitaiá e Pacuí – MG**. 179 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

TRINDADE, Ana Laura Cerqueira. **Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do rio São Francisco**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2013.

TRINDADE, Ana Laura Cerqueira et al. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v.22, n.1, p.13-24, 2017.

TRIPATHI, M.; SINGAL, S.K. Use of Principal Component Analysis for parameter selection for development of a novel Water Quality Index: A case study of river Ganga India. **Ecological Indicators**. v.96, p. 430-436, 2019.

USTAOGLU, F.; TEPE, Y.; TAS, B. Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index. **Ecological Indicators journal**, v.113, 2020.

XU, J.; LEE, J. H.W.; YIN, K.; LIU, H.; HARRISON, P. J. Environmental response to sewage treatment strategies: Hong Kong's experience in long term water quality monitoring. **Marine Pollution Bulletin**, v.62, v.11, 2011.

ZHANG, Q.; XU, P; QIAN, H. **Ground water Quality Assessment Using Improved Water Quality Index (WQI) and Human Health Risk (HHR) Evaluation in a Semi-arid Region of Northwest China**. **Expo. Health**, v. 12, p. 487-500, 2020.

ZEINALZADEH, K. AND REZAEI, E. **Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis**. *J. Hydrol. Reg. Stud.* , v.13, p.1-10, 2017.

4. TENDÊNCIAS ESPAÇO TEMPORAIS DOS PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA NA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA E SUAS RELAÇÕES COM O USO E A OCUPAÇÃO DO SOLO

RESUMO

Compreender as relações entre o uso do solo e as mudanças da qualidade da água em uma bacia hidrográfica é essencial para assegurar o desenvolvimento sustentável. Neste sentido, o objetivo do estudo foi avaliar a qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba em função do uso e ocupação do solo e das tendências espaço-temporais dos parâmetros de monitoramento da qualidade da água. Foram estudados um total de 26 parâmetros de qualidade da água e 42 estações de monitoramento para o período entre 2010 e 2019. Aplicaram-se técnicas estatísticas multivariadas, como análise de cluster, análise fatorial e análises não-paramétricas para auxiliar nas análises de tendências temporais. Além disso, foram obtidos dados de uso e ocupação do solo, densidade demográfica, saneamento ambiental, atividades econômicas, pecuária e agricultura da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba e posteriormente foram relacionados com a qualidade da água. A análise de uso e ocupação do solo mostrou que as classes de soja e cana-de-açúcar aumentaram 5163,74 km² e 2531,76 km² respectivamente com o passar dos anos e as atividades de pecuária exercem grande influência na qualidade da água. A análise estatística via da Análise de Cluster (AC) agrupou as estações em 6 grupos tanto para o ano de 2010 quanto para o ano de 2019, indicando que o uso e ocupação do solo apresenta forte influência na classificação e na divisão das estações em grupos. A análise fatorial (AF) mostrou a influência principalmente das atividades agrícolas e industriais na qualidade da água. Os resultados mostraram que o uso e cobertura da terra impactam diretamente na qualidade da água superficial. Na análise temporal, o aumento do parâmetro nitrato foi um destaque que pode ser explicado devido a ação de fertilizantes orgânicos e inorgânicos na região. Os resultados indicaram que foram constatadas mudanças expressivas no uso e ocupação do solo e tais alterações afetaram a qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

4.1. INTRODUÇÃO

A qualidade da água das bacias hidrográficas é afetada por fatores naturais e antropogênicos em diferentes escalas temporais e espaciais. Dentre os principais fatores antrópicos, destacam-se as mudanças do uso e ocupação do solo (RODRIGUES *et al.*, 2018). A deterioração da qualidade da água por meio do uso e ocupação do solo pode ocorrer devido ao crescimento desproporcional da população humana, expansão industrial e agrícola (ROSE *et al.*, 2016). A agricultura e o crescimento populacional provocam aumento no aporte dos sedimentos e de nutrientes nos corpos hídricos, contribuindo para as causas de poluição de fonte difusa na bacia (de MELLO *et al.*, 2018).

Para uma gestão eficiente da qualidade da água das bacias, é importante coletar informações confiáveis, monitorar e compreendê-las, e assim, identificar as principais alterações na qualidade da água. O monitoramento da qualidade da água das bacias hidrográficas é primordial para a gestão dos recursos hídricos e inclui a obtenção, a análise dos dados, elaborações de relatórios e publicação das informações obtidas (TRINDADE, 2017).

O monitoramento da qualidade da água em relação ao uso e ocupação do solo pode ser realizado por meio das variações dos parâmetros em escala espacial e temporal (MEDEIROS, SILVA e LINS, 2018). Teixeira *et al.* (2014) monitorou a qualidade da água avaliando a relação entre o uso da terra e os parâmetros da qualidade da água em bacias hidrográficas e Narany *et al.*, (2017) identificando os impactos sazonais na qualidade da água e avaliando a influência da poluição de fonte difusa em áreas agrícolas e urbanas, podendo ser realizadas em água de mananciais de abastecimento (PIAZZA *et al.*, 2017) e em águas superficiais (PASSOS *et al.*, 2021).

As análises estatísticas são primordiais para compreender os parâmetros de qualidade da água, pois um extenso banco de dados é gerado em decorrência do monitoramento das bacias hidrográficas o que dificulta a interpretação e o controle da poluição da água. Estas análises podem favorecer uma melhor avaliação das características físicas, biológicas e químicas (FERRER-POLONIO *et al.*, 2017) além de auxiliarem na análise dos dados de qualidade de água de superfície e subterrânea (GUO *et al.*, 2018).

As técnicas de estatística multivariadas auxiliam na identificação dos possíveis fatores e/ou fontes que apresentam influência nos sistemas hídricos. Além disso, fornecem uma ferramenta robusta e confiável para o gerenciamento dos parâmetros além de uma melhor compreensão das condições e interações existentes da qualidade da água com os problemas de poluição (SOTOMAYOR *et al.*, 2020).

Sua aplicação pode ser conjugada com técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, ampliando o alcance das interpretações dos efeitos do uso e ocupação do solo, que passam a ser representados de uma forma distribuída (SOUZA, 2017). Poucos estudos que avaliaram a influência da qualidade da água em função do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Paranaíba. Silva e Ferreira (2019) avaliaram a evolução do uso e ocupação do solo na bacia nos anos de 1985 e 2013 e Gouveia (2020) analisou a influência do uso e ocupação do solo no recurso hídrico.

Vilarinho *et al.* (2021) investigou e avaliou a cobrança pelo uso da água e sua eficácia na melhoria do Índice de Qualidade da Água (IQA) no rio Araguari pertencente a bacia do rio Paranaíba. Nesse contexto, proposição de metodologias para avaliar o monitoramento da qualidade da água da bacia do rio Paranaíba por meio de técnicas de estatística multivariada aliadas ao geoprocessamento forma atual e de baixo custo a fim de auxiliar as agências e órgão de monitoramento estaduais para uma melhor interpretação dos resultados do monitoramento com reflexos positivos na sua gestão hídrica.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi apresentar uma proposta metodológica de interpretação dos dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do rio Paranaíba em função do uso e ocupação do solo e das tendências espaço-temporais.

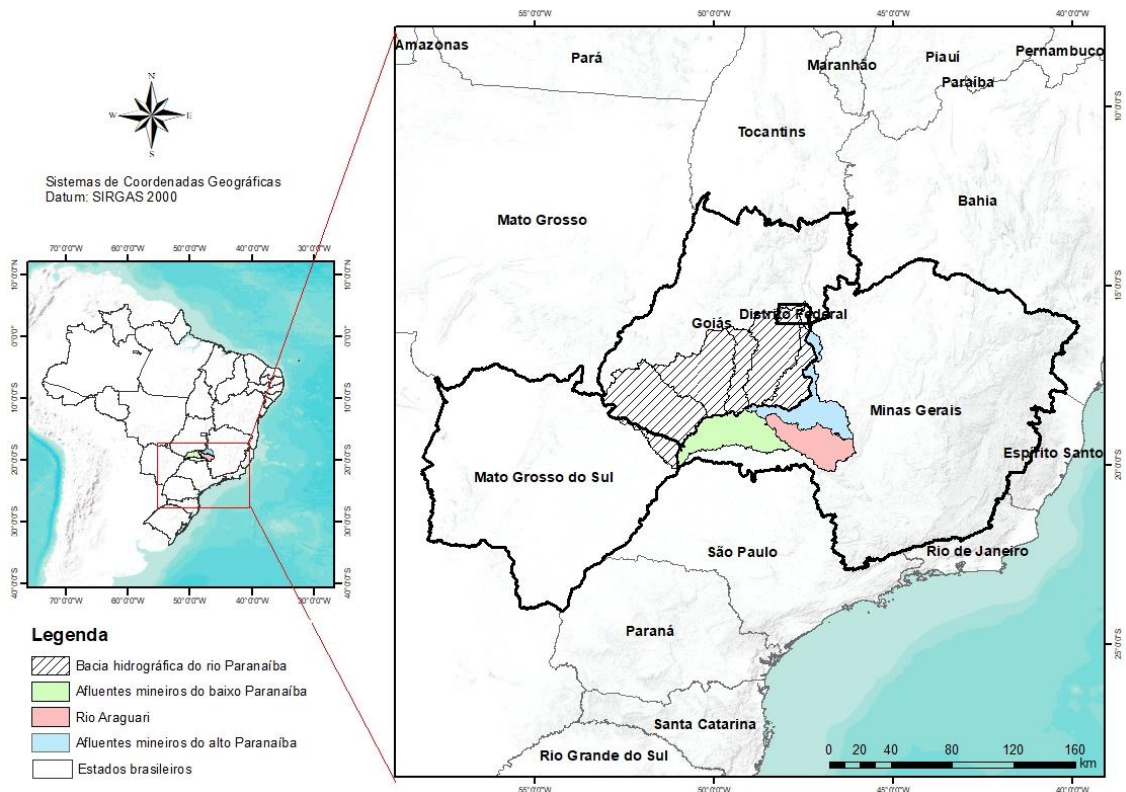
4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Paranaíba contém uma diversidade de atividades econômicas e de um grande potencial de expansão, sendo que a vocação econômica da bacia está associada às atividades industriais, agrícolas, pecuária e de mineração, com destaque para a produção agrícola de soja, milho, cana-de-açúcar e rebanho bovino de corte e leite (ANA, 2013). A atividade econômica desenvolvida na área contribui com cerca de 15% do produto interno bruto no estado de Minas Gerais, destacando o maior peso para o setor agropecuário (ANA, 2013).

A bacia hidrográfica do rio Paranaíba é subdividida em três Circunscrições Hidrográficas (CH): afluentes mineiros do baixo Paranaíba, afluentes mineiros do baixo Paranaíba e o rio Araguari (Figura 11).

Figura 11 - Bacia hidrográfica do rio Paranaíba.



Os municípios que fazem parte das regiões da bacia apresentaram um crescimento populacional, entre 2000 e 2010, superior à média nacional de 1,16%, com exceção dos municípios do afluente mineiro do alto Paranaíba que teve taxa de crescimento de 0,76% (IBGE, 2010).

A bacia apresenta mudanças no uso do solo devido à expansão da indústria do etanol com a cana-de-açúcar substituindo pastagens, soja e milho. De acordo com o estudo realizado pelo IBGE (IBGE, 2018), houve um aumento nas áreas de plantio de cana-de-açúcar, sendo a bacia considerada como um dos *hotspots* da expansão da cultura ocorrida nos últimos anos.

A irrigação é de grande relevância para a gestão dos recursos hídricos da bacia do Paranaíba sendo que os 89,4% da água consumida na bacia é utilizada para esta finalidade, sendo que a expansão da cana-de-açúcar tem intensificado este consumo (ANA, 2013). Outro fator importante na bacia é ocorrência de processos erosivos, acelerados pelas diferentes formas de manejo e uso e ocupação inadequados do solo (PARH, 2015).

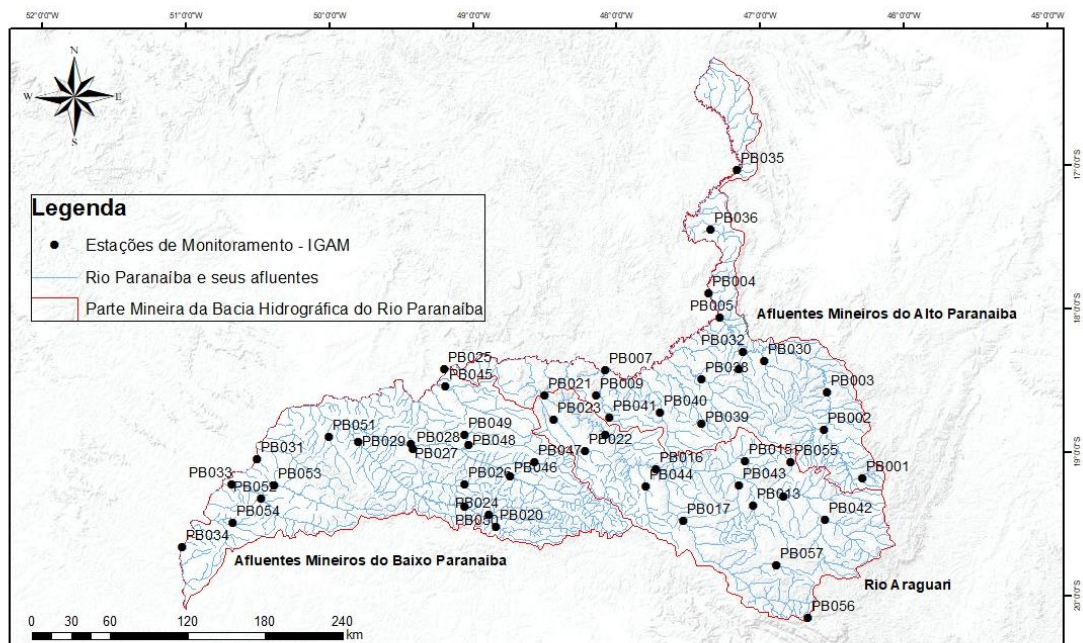
4.2.2. Estações de monitoramento de qualidade da água

A porção mineira da bacia do rio Paranaíba é monitorada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), que atualmente mantém 51 estações de monitoramento de qualidade de água na região. Considerando apenas as estações que possuíam dados completos de

parâmetros com coletas trimestrais, foram selecionadas 42 estações de monitoramento (Figura 12). O período avaliado considerou a série histórica de dez anos (2010-2019) com a finalidade de analisar uma maior quantidade de dados e, portanto, verificar a existência de tendências de elevação ou redução da concentração de cada parâmetro ao longo dos anos além de possibilitar a caracterização dos principais parâmetros que influenciam na qualidade da água.

Cabe destacar que o parâmetro de Coliformes Termotolerantes foi substituído na rede de monitoramento do IGAM pelo parâmetro *Escherichia Coli* desde o primeiro trimestre do ano de 2013 (IGAM, 2013), portanto tais parâmetros foram usados em conjunto para completar a série histórica do indicador de contaminação de origem fecal nos anos de 2010 até 2013 passando a se chamar indicador de contaminação fecal (ICF).

Figura 12 - Estações de monitoramento pertencentes a porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.



Sistemas de Coordenadas Geográficas
Datum: SIRGAS 2000

4.2.3. Diagnóstico do uso e ocupação do solo da bacia do rio Paranaíba

A bacia do rio Paranaíba abrange 197 municípios, com 57 municípios localizados na sua porção mineira. O diagnóstico do uso e ocupação do solo ocorreu nos anos de 2010 e 2019. O levantamento foi realizado por meio de informações obtidas das atividades que podem influenciar na qualidade da água da bacia. A evolução de alguns indicadores socioeconômicos foi avaliada para a área de estudo, a fim de elucidar a influência do uso e ocupação do solo na

qualidade da água da bacia. Na Tabela 12 apresentam-se os indicadores considerados e a fonte de indicação dos dados obtidos.

Tabela 12 - Informações das variáveis que exercem influência na qualidade da água na porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba

<i>Dados obtidos</i>	<i>Variáveis de estudo</i>	<i>Fonte dos dados</i>
<i>Demográficos</i>	Nº de habitantes por município	IBGE (2010)
		IBGE (2019)
<i>Saneamento</i>	Índice de atendimento urbano de água	SNIS (2010)
	Índice de tratamento de esgotos	SNIS (2019)
		ANA (2015)
<i>Atividades econômicas</i>	Nº de pessoas empregadas	
	Concentração industrial	IBGE (2010)
	Pecuária	IBGE (2019)
	Agricultura	

Para a análise de uso e ocupação do solo, foram obtidas imagens com resolução espacial de 30 m e foram escolhidas de acordo com os 10 anos do estudo por meio do MapBiomas para os anos de 2010 e de 2019. Após a obtenção das imagens, foram elaborados mapas temáticos de cobertura do solo. Os mapas de uso e ocupação do solo foram elaborados considerando as classes definidas pelo MapBiomas: floresta, agropecuária e área não vegetadas.

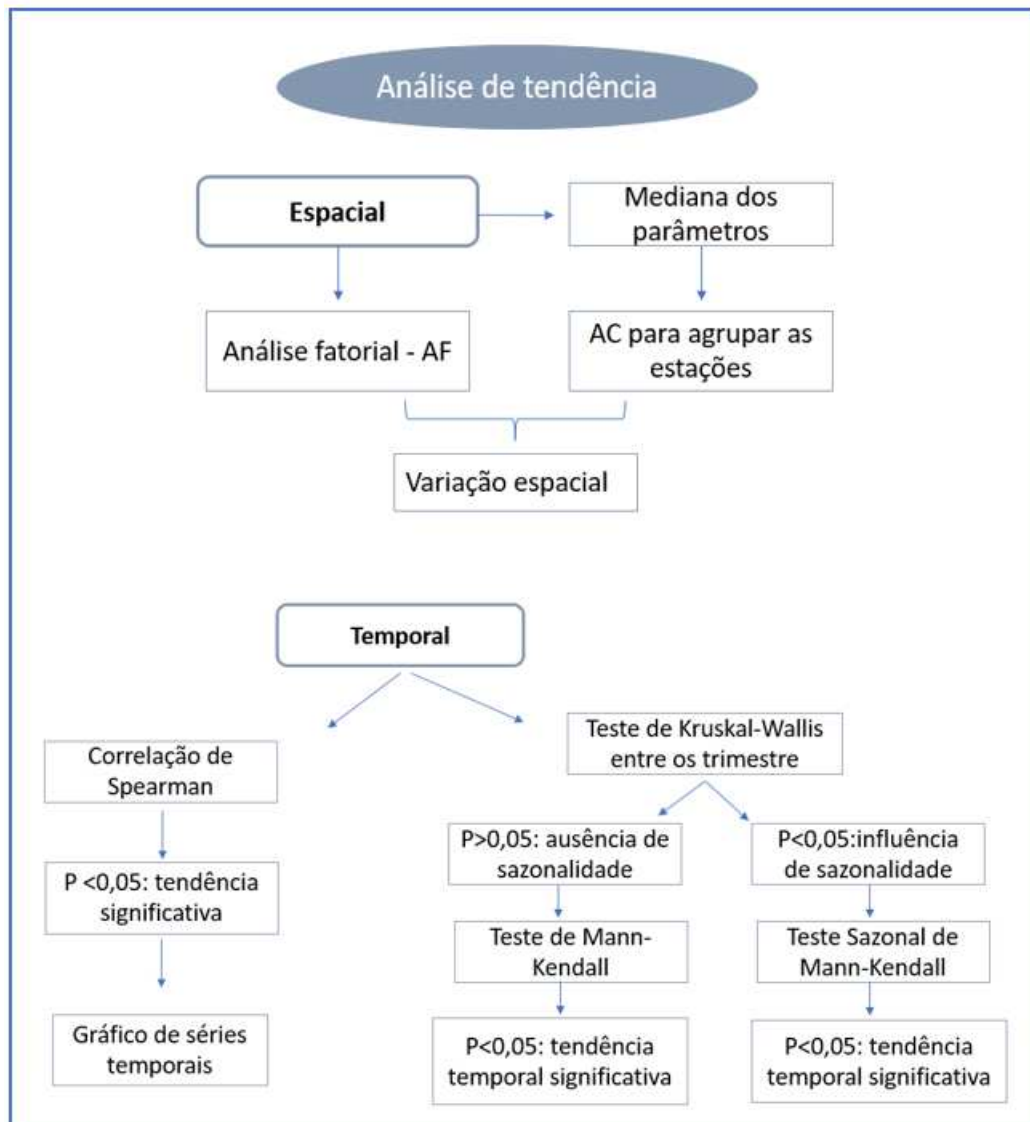
Na classe relacionada a floresta foram considerados florestas naturais, formação de floresta e formação savânica. A classe relacionada à agropecuária teve como abrangência pastagem, agricultura (lavoura temporária, soja, cana-de-açúcar, outras lavouras temporárias e lavouras perenes) e mosaico de agricultura e pastagem. Na área não vegetada, foram abrangidas as áreas de mineração, infraestrutura urbana, outras áreas não vegetadas, rio, lago e oceano.

Para relacionar os dados de monitoramento da qualidade da água com o uso e ocupação do solo na bacia empregou-se, além da estatística multivariada, o uso de sistema de informação geográfica como ferramenta para análise dos dados utilizando o programa ArcGIS/ArcMap 10.4.1. Portanto, foram elaborados mapas temáticos de uso e ocupação da bacia, assim como mapas representando dados demográficos, de saneamento ambiental e das atividades econômicas foram relacionados e discutidos considerando os resultados obtidos na estatística multivariada.

4.2.4. Avaliação das tendências espaço temporais dos dados de monitoramento da qualidade da água

Para as análises de tendência espaço temporais, utilizaram-se os dados com frequências trimestrais e todas as análises estatísticas foram realizadas no programa Rstudio. Na Figura 13 representa-se a síntese da desta etapa do trabalho, correspondendo às análises espaço-temporais dos dados de monitoramento da qualidade da água.

Figura 13 - Resumo da metodologia correspondente à análise de tendência dos dados trimestrais de monitoramento da qualidade da água.



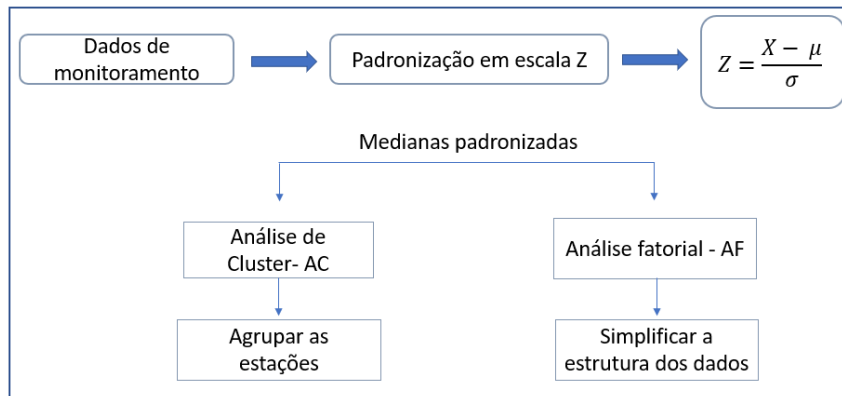
4.2.4.1. Análise da tendência espacial

Para a análise de tendência espacial dos dados de monitoramento, foram utilizados os valores das medianas para cada parâmetro selecionado e para as 42 estações de monitoramento. Os dados foram padronizados em escala Z (média 0 e desvio padrão 1) para evitar distorções dos dados. Posteriormente, a análise de cluster (AC) foi utilizada para agrupar as estações de monitoramento similares, gerando dendrogramas (diagrama de árvores) (MUANGTHONG e SHRESTHA, 2015). Para isto, foram estudadas todas as estações de monitoramento do ano de 2010 e de 2019. Utilizou-se o método de Ward, usando a distância euclidiana quadrada como uma medida de similaridade (MUANGTHONG e SHRESTHA, 2015).

A análise fatorial (AF) foi aplicada nos anos de 2010 e 2019 para reduzir a complexidade dos dados de monitoramento e identificar os principais parâmetros responsáveis pela

caracterização e maiores variabilidade da qualidade da água (CALAZANS *et al.*, 2018). Os fatores que interferem na variabilidade da qualidade da água foram classificados quanto aos seus parâmetros predominantes no que diz respeito ao uso e ocupação do solo. Na Figura 14 é representada uma síntese da estatística multivariada empregada no estudo.

Figura 14 - Resumo da metodologia correspondente tendência espacial.



O objetivo de tal análise foi verificar as variações espaciais na bacia do rio Paranaíba em função da qualidade da água de diferentes estações de monitoramento. Para cada estação de monitoramento, analisou-se a tendência de cada parâmetro, a saber: elevação, redução ou ausência de tendência seguindo-se neste caso a metodologia de Trindade (2017).

4.2.4.2. Análise de tendência temporal

Para a análise de tendência temporal dos dados de monitoramento de qualidade da água, foram analisadas 42 estações individualmente para cada parâmetro. A seleção dos parâmetros baseou-se na regularidade dos dados e na menor porcentagem de dados faltantes para o período selecionado no estudo.

Para a avaliação da tendência da qualidade da água da bacia do rio Paranaíba, testes estatísticos foram realizados de acordo com a metodologia proposta por Trindade (2013), reportada como segue abaixo:

- Primeiro, realizou-se o teste de Kruskal-Wallis seguido de um teste de comparação múltipla com o nível de significância de 5%.
- O teste de correlação de Spearman foi realizado para relacionar os dados de monitoramento dos parâmetros com o tempo, para o nível de significância de 5%.
- Após estes procedimentos, foram realizados os testes de Mann-Kendall ou o Sazonal de Mann-Kendall para corroborar os resultados encontrados na correlação, também com nível de significância de 5%.

Quando os resultados do teste de Kruskal-Wallis foram significativos ($p\text{-valor} \leq 0,05$), foi considerado que os mesmos apresentam influência da sazonalidade e isso é um pré-requisito

para a realização do teste Sazonal de Mann-Kendall. Resultados não significativos (p -valor $> 0,05$) não apresentaram influência da sazonalidade, sendo assim aplicado o teste de Mann-Kendall para a análise de tendência temporal. Quando os resultados de correlação foram significativos, ou seja, p -valor menor ou igual a $0,05$, conclui-se que houve uma tendência ao longo do tempo para o parâmetro analisado em determinada estação.

Os valores dos coeficientes Tau de Kendall e de S, calculados nos testes de Mann-Kendall ou Sazonal de Mann-Kendall e relacionados entre si, indicam o sentido da tendência do parâmetro ao longo do tempo, podendo ser de elevação (valores positivos) ou de redução (valores negativos) (BARBOSA, 2015). Na Figura 15 apresenta um resumo para a interpretação dos resultados da análise de tendência temporal.

Figura 15 - Definição dos resultados da análise de tendência temporal.

Teste de Mann-Kendall ou Sazonal de Mann-Kendall		p-valor $< 0,05$		p-valor $> 0,05$	
		$S^1 < 0$	$S^1 > 0$	$S^1 < 0$	$S^1 > 0$
Teste de Correlação de Spearman	p-valor $< 0,05$	Tendência significativa de redução	Tendência significativa de elevação	Inconclusivo com possibilidade de redução	Inconclusivo com possibilidade de elevação
	p-valor $> 0,05$	Inconclusivo com possibilidade de redução	Inconclusivo com possibilidade de elevação	Sem tendência	Sem tendência

Fonte: Barbosa (2015).

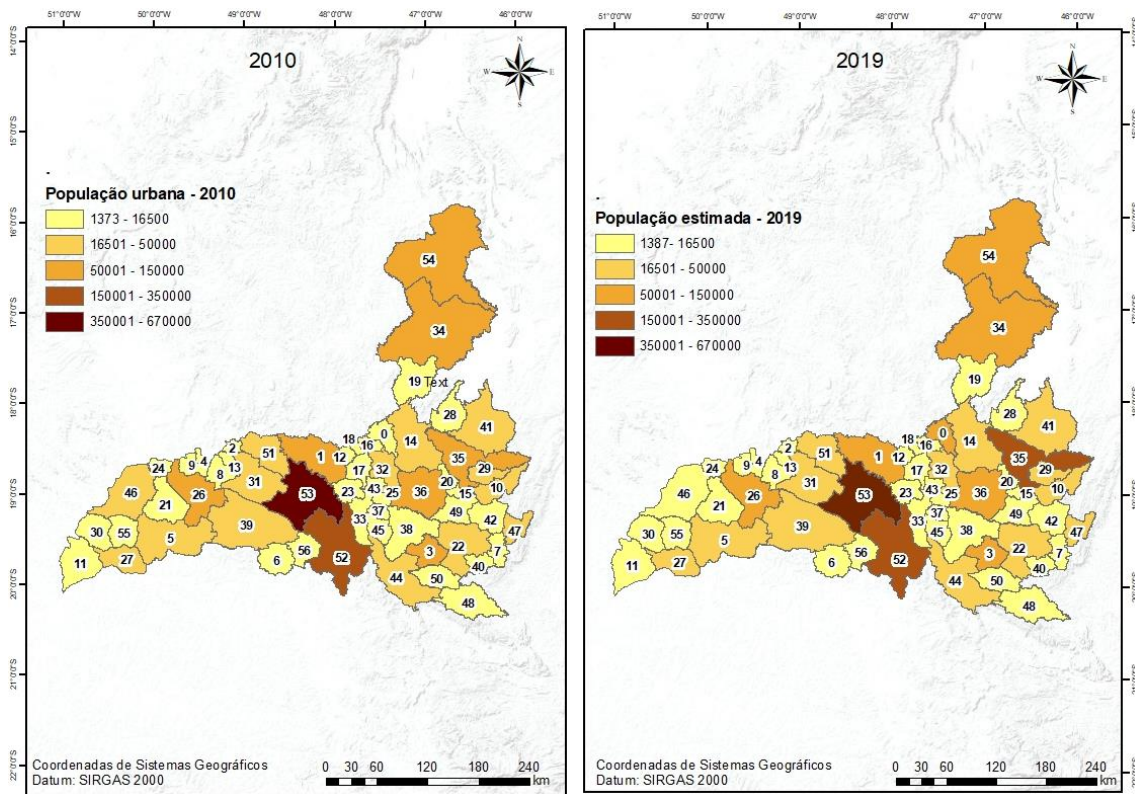
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. Uso e ocupação do solo

4.3.1.1. Dados demográficos

Os dados demográficos foram obtidos do último censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do ano de 2010 e da estimativa da população para o ano de 2019. Assim, foram obtidos dados de população e área territorial para os 57 municípios da porção mineira da bacia do rio Paranaíba apresentados na Figura 16.

Figura 16 - Evolução populacional dos municípios pertencentes à porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.



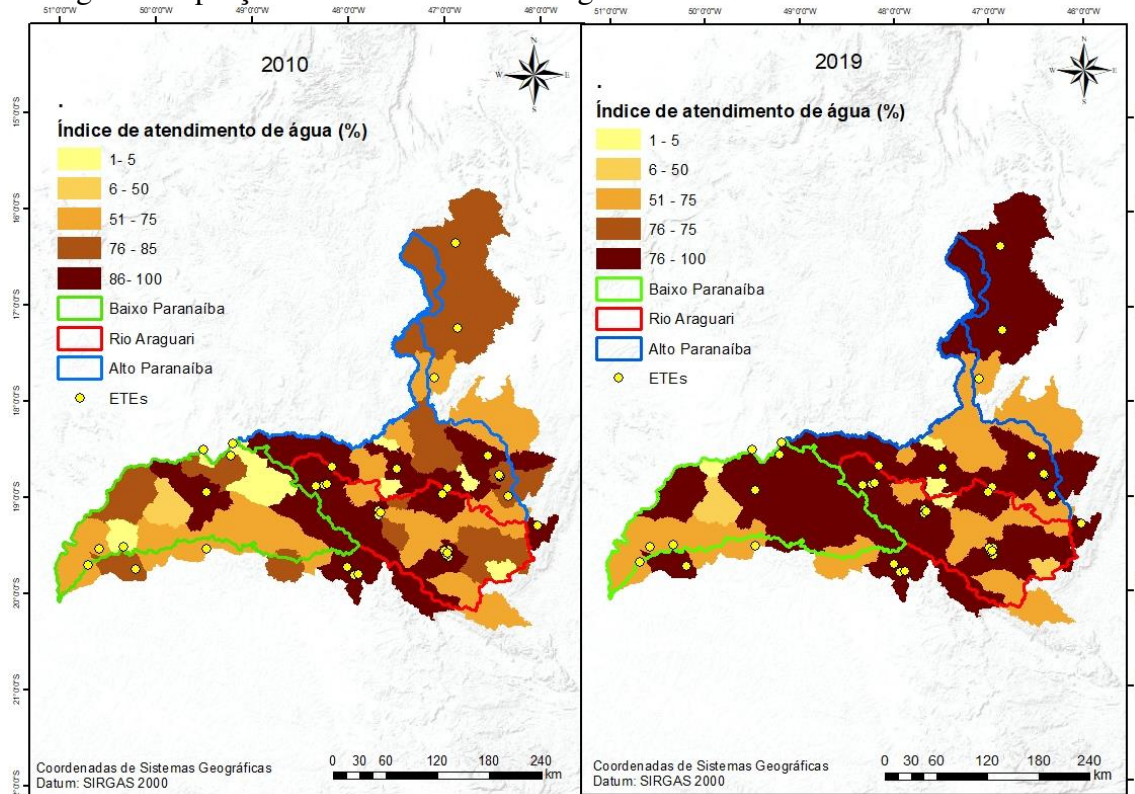
0- Abadia dos Dourados; 1- Araguari; 2- Araporã; 3- Araxá; 4- Cachoeira Dourada; 5- Campina Verde; 6- Campo Florido; 7- Campos Altos; 8- Canápolis; 9- Capinópolis; 10- Carmo do Paranaíba ; 11- Carneirinho ; 12- Cascalho Rico ; 13- Centralina ; 14- Coromandel ; 15- Cruzeiro da Fortaleza; 16- Douradoquara; 17- Estrela do Sul; 18- Grupiara; 19- Guarda-Mor; 20- Guimarães; 21- Gurinhatã; 22- Ibiá; 23- Indianópolis; 24- Ipiacú 25- Iraí de Minas; 26- Ituiutaba; 27- Iturama; 28- Lagamar; 29- Lagoa Formosa; 30- Limeira do Oeste; 31- Monte Alegre de Minas; 32- Monte Camerlo; 33- Nova Ponte; 34- Paracatu; 35- Patos de Minas; 36- Patrocínio; 37- Pedrinópolis; 38- Perdizes; 39- Prata; 40- Pratinha; 41- Presidente Olegário; 42- Rio Paranaíba; 43- Romaria; 44- Sacramento; 45- Santa Juliana; 46- Santa Vitória ; 47- São Gotardo; 48- São Roque de Minas; 49- Serra do Salitre; 50- Tapira; 51- Tupaciguara; 52- Uberaba; 53- Uberlândia; 54- Unaí; 55- União de Minas; 56- Veríssimo.

Municípios como Uberlândia (53) e Uberaba (52) se destacam na bacia por se manterem na maior faixa tanto para o ano de 2010 quanto para 2019. Em alguns municípios como Abadia Dourados (0), Patos de Minas (35) é visível o aumento da população do ano de 2010 para o ano de 2019 e o município de Santa Vitória (46) houve uma diminuição da população. Mais da metade dos municípios que compõem a bacia do rio Paranaíba têm população superior a 10.000 habitantes, inclusive para a população estimada para o ano de 2019. O município com menor número de habitantes é Grupiara (18) com 1.373 habitantes em 2010 e 1.387 habitantes para o ano de 2019 e o município com maior número de habitantes é Uberlândia com 604.013 habitantes em 2010 e 699.097 habitantes no ano de 2019 (Figura 16).

4.3.1.2. Dados de Saneamento

Nas Figuras 17 e Figura 18 são apresentados os índices de atendimento de água e índice de tratamento de esgotos, respectivamente, para os anos de 2010 e 2019.

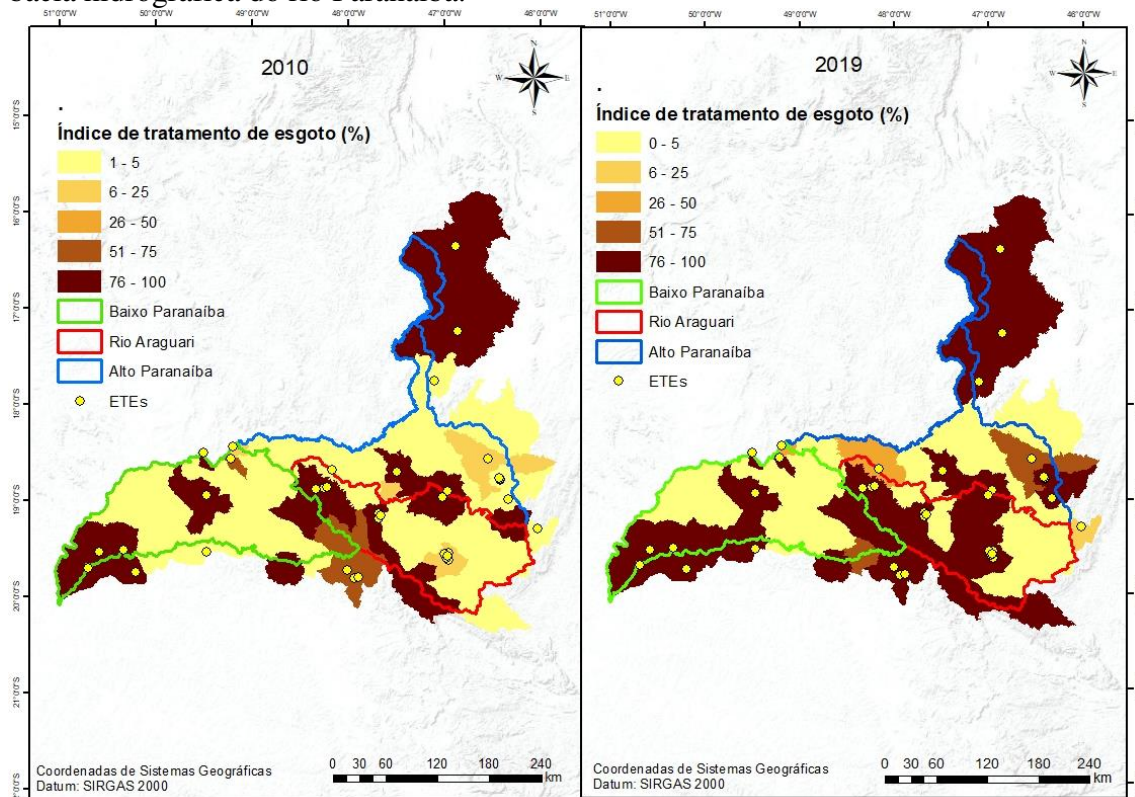
Figura 17 - Índice de atendimento de água nos municípios do trecho mineiro da bacia hidrográfica à porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.



A Figura 17 permite visualizar o aumento nos municípios da bacia em relação ao índice de abastecimento. Os municípios de Araporã (2), Monte Alegre de Minas (31) e União de Minas (55) apresentavam baixo atendimento de água no ano de 2010 e passaram a ter mais de 60% de atendimento de água no ano de 2019. Em geral, os municípios são bem atendidos em relação ao atendimento de água, sendo válido ressaltar que alguns municípios apresentam poucos habitantes, como foi identificado por meio dos mapas demográficos, posto isso, muitos deles possuem poços como mananciais sendo suficiente para atender a população do município. A região do baixo Paranaíba apresenta um menor atendimento no índice de abastecimento de água.

Analisando os índices de tratamento de esgotos dos anos de 2010 e 2019 (Figura 18), verifica-se que houve um aumento expressivo no atendimento do tratamento de esgoto em alguns municípios da bacia hidrográfica do Paranaíba.

Figura 18 - Índice de tratamento de esgotos dos municípios pertencentes à porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

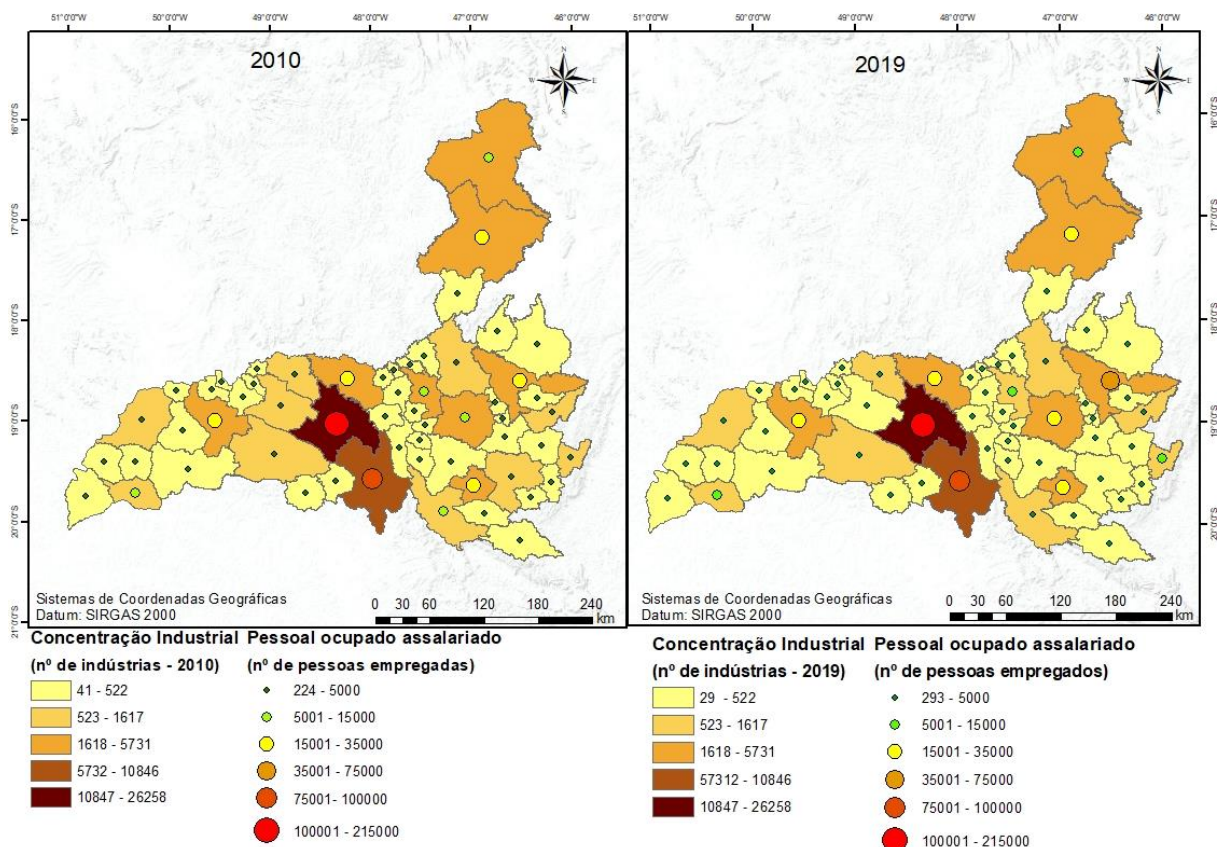


As três regiões da bacia apresentaram municípios com aumento no índice de tratamento de esgoto, porém ainda é preocupante o baixo índice de tratamento de esgotos em algumas cidades. Nota-se que todos os municípios que possuem Estações de tratamento de esgoto (ETE) apresentaram melhorias no índice de tratamento de esgoto nos municípios, mostrando assim a importância da implantação das ETE na região da bacia hidrográfica estudada. No entanto, é válido mencionar que a carga aportada de DBO é extremamente importante, uma vez que, podem existir ETE com alta porcentagem de tratamento de esgoto e muitos habitantes o que aportaria uma maior carga de DBO que uma cidade com poucos habitantes e média ou baixa porcentagem de tratamento de esgoto.

4.3.1.3. Atividades econômicas

A Figura 19 mostra a relação do número de estabelecimentos industriais com o número de pessoal ocupado assalariado para os anos de 2010 e 2019, conforme IBGE (2010) e IBGE (2019).

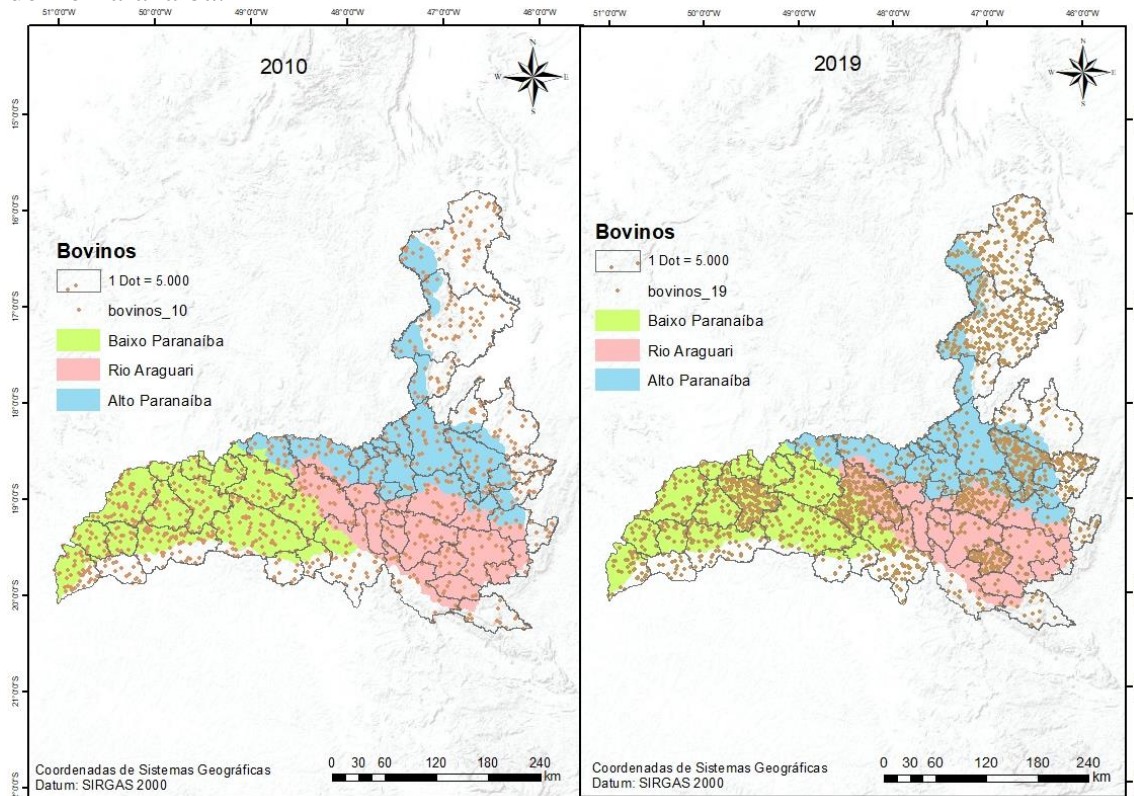
Figura 19 - Relação do número de pessoal ocupado assalariado com a concentração industrial dos municípios pertencentes à porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.



Analisando-se a Figura 19, infere-se que os municípios de Uberlândia, Uberaba e Patos de Minas apresentam uma maior concentração de indústrias e conseqüentemente um maior número de pessoas empregadas. No entanto, comparando-se a evolução da bacia no ano de 2010 para o ano de 2019, conclui-se que os municípios de Sacramento e Patos de Minas apresentaram uma diminuição no número de pessoas ocupadas assalariadas. De acordo com a Agência de Notícias do IBGE, o número de trabalhadores autônomos aumentou cerca de 4% o que pode ter influenciado na diminuição do número de empregados assalariados das indústrias. Os municípios de Patrocínio e Sacramento apresentaram um aumento no número de pessoas empregadas, o que pode ser explicado devido ao aumento do número de empresas que abriram nos municípios no período estudado.

Em relação à pecuária, foram confeccionados dois mapas, sendo a Figura 20 composta pelo rebanho de bovinos da região e a Figura 21 composta pelo rebanho de suínos, ambos comparando a evolução do ano de 2010 para o ano de 2019.

Figura 20 - Concentração de bovinos nos municípios da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

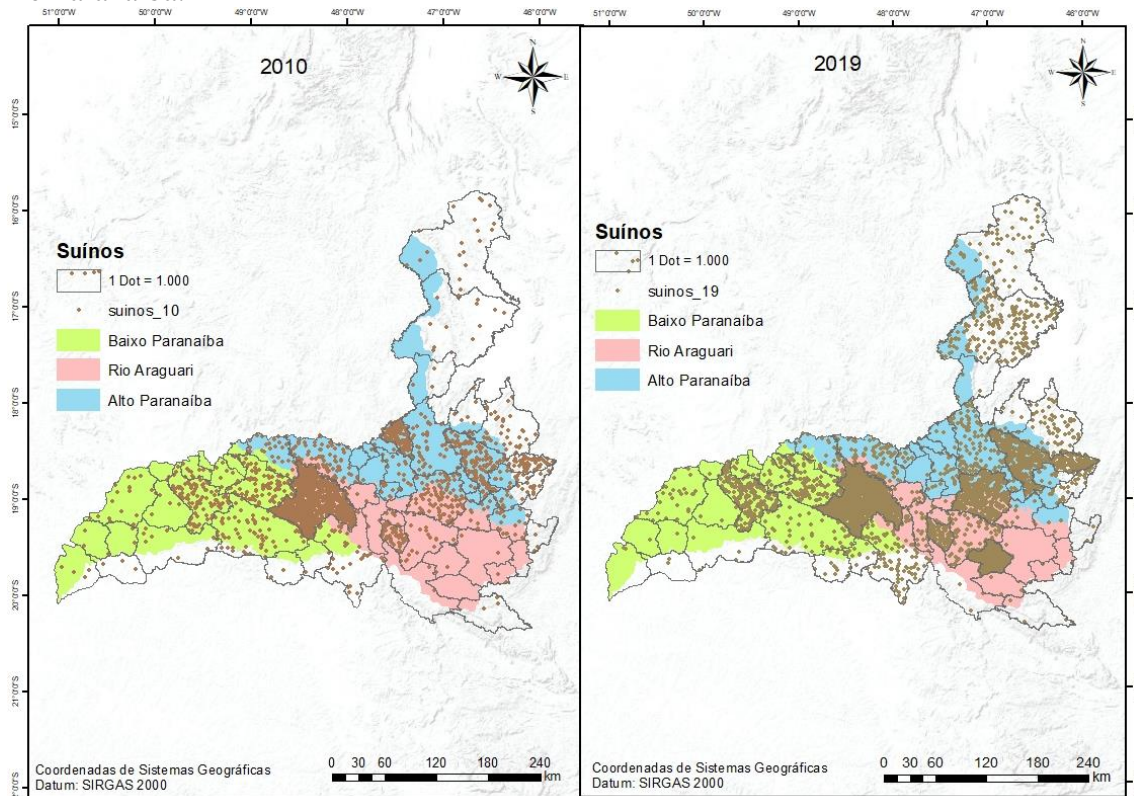


1 Dot = 5.000 cabeças de bois.

Observa-se que em relação aos bovinos, os municípios de Uberlândia, Ituiutaba, Patos de Minas, Patrocínio e Araxá se destacam pelo aumento na criação. Segundo o plano de ação da bacia hidrográfica, Uberlândia se destaca pelos maiores rebanhos de bovinos da região. Segundo Barbosa *et al.* (2019), a mesorregião do Triângulo Mineiro em que o município de Uberlândia está localizado, diferencia-se dos outros municípios de Minas Gerais pelo maior volume de produção de leite. Houve um aumento na criação de bovinos de forma bem distribuída nas três regiões da bacia.

Os rebanhos de suínos na bacia hidrográfica do rio Paranaíba foram destaques de aumento de criação em alguns municípios como Patos de Minas, Araxá, Santa Juliana, Patrocínio e Uberlândia quando comparado os anos de 2010 e 2019. Os municípios de Monte Carmelo e Tupaciguara apesar de não se destacarem visualmente, são referências na produção de suínos na região, porém tais municípios não apresentaram grandes variações para o período estudado. O município de Santa Juliana destaca-se pelos maiores rebanhos suínos na região.

Figura 21 - Concentração de suínos nos municípios da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.



1 Dot = 1.000 de cabeças de suínos.

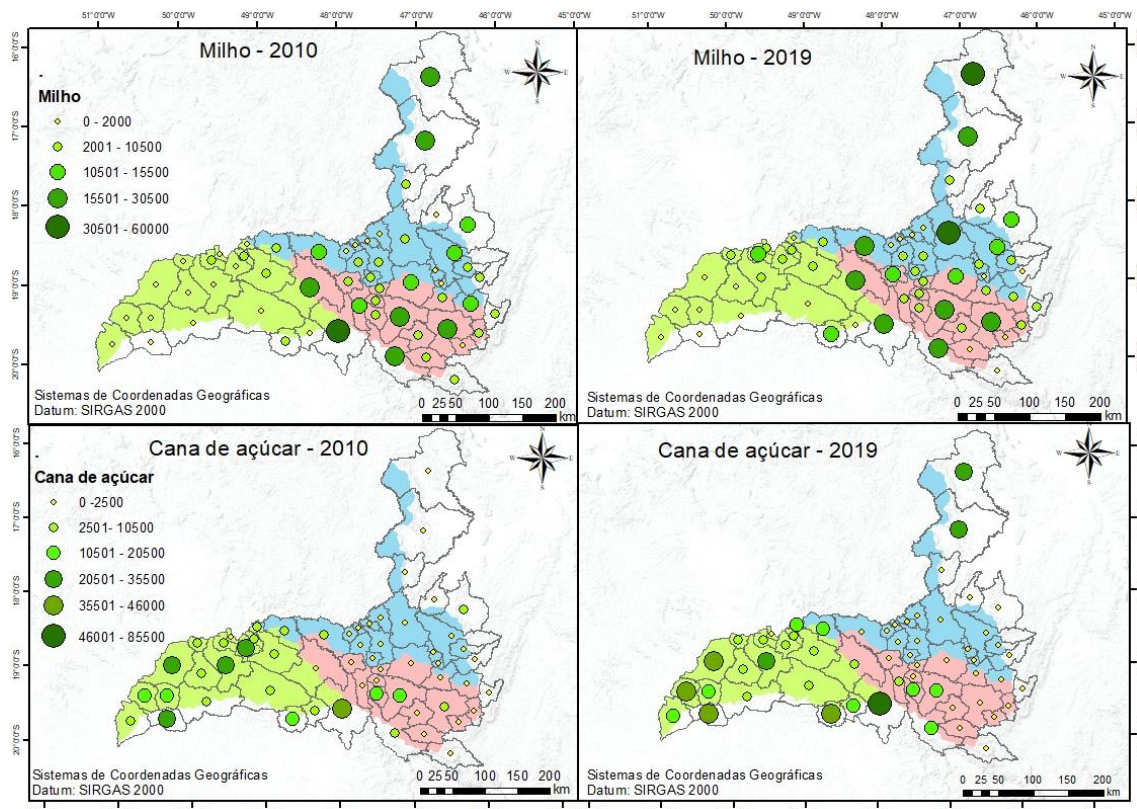
Ao observar as Figuras 20 e a Figura 21, pode-se destacar os municípios que apresentaram aumento na produção tanto de suínos como bovinos. Apesar da região do alto Paranaíba apresentar um maior aumento na criação de suínos, alguns municípios da região do baixo Paranaíba e do rio Araguari também foram destaque na criação. Os municípios de Patrocínio, Unaí, Paracatu, Araguari, Patos de Minas, Prata, Monte Alegre de Minas, Ituiutaba, Uberaba e Uberlândia são classificados como municípios de pecuária diversificada, por possuírem maiores rebanhos nas categorias de bovinos e suínos.

A grande preocupação em relação a atividade de pecuária é a quantidade de dejetos produzidos e a forma que eles são descartados, pois uma granja de suínos com modelo de sistema de produção de ciclo completo produz um volume de dejetos de $47,1 \text{L} \cdot \text{animal}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ (SOUZA, 2016). De acordo com Souza *et al.* (2020), a região do Triângulo Mineiro apresenta 126 propriedades de criação de suínos que possuem biodigestores, mas ainda não se sabe ao certo o destino final da água residuária destas propriedades. Além disso, a aplicação da água residuária da suinocultura em lavouras de forma excessiva, podem causar a poluição das águas devido ao excesso de nitrogênio, fósforo, potássio e outros nutrientes que as plantas não conseguem absorver (CABRAL, 2011).

As Figuras 22 e 23 representam a evolução das principais culturas desenvolvidas na região de estudo, sendo cana-de-açúcar, milho, feijão e soja. A principal cultura presente na região de estudo é a cana-de-açúcar que está associada a grandes indústrias sucroalcooleiras da região, cuja expansão se observa desde a década de 1990 (PARH, 2015). Segundo Castro (2018), as principais indústrias sucroalcooleiras de Minas Gerais estão localizadas na região do Triângulo Mineiro, com destaque as cidades de Araporã, Campo Florido, Tupaciguara, Santa Juliana, Ituiutaba, Iturama, Araguari, Limeira do Oeste, Canápolis e Uberaba.

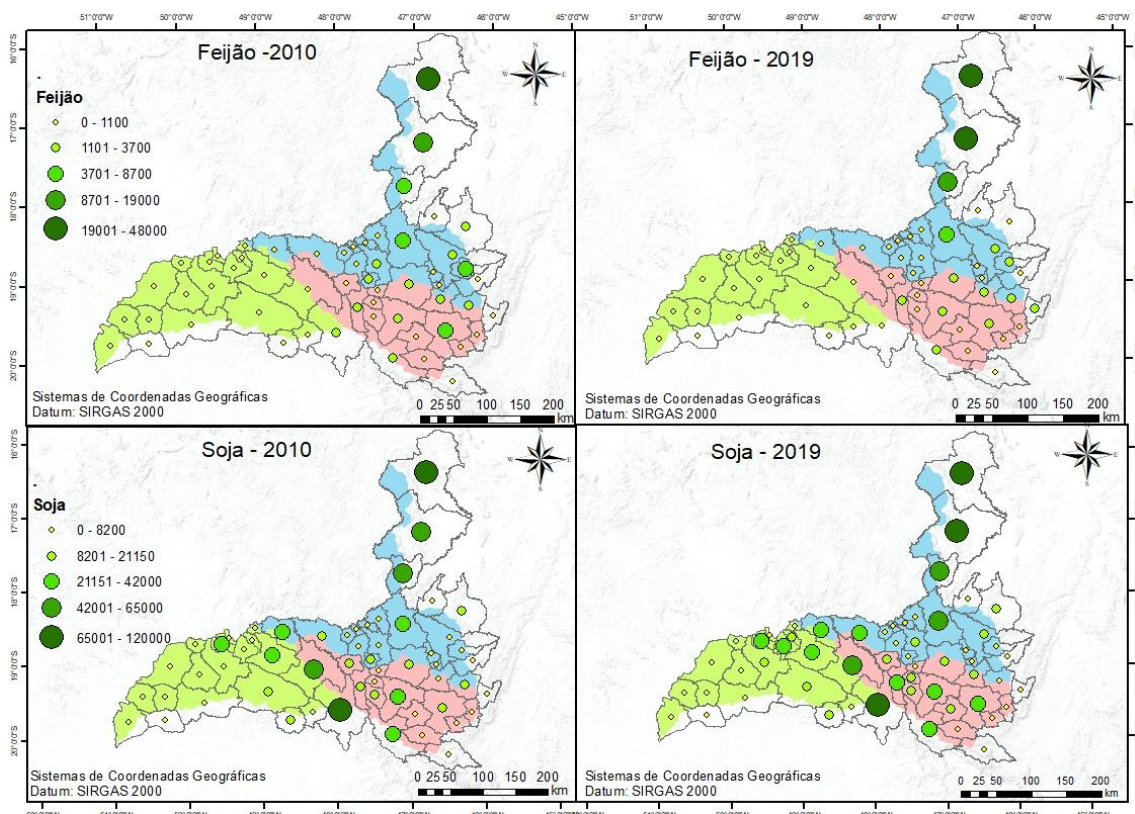
Outra cultura amplamente produzida na região da bacia é o milho. As principais regiões produtoras de milho no estado de Minas Gerais são o Alto Paranaíba, Sul de Minas, Triângulo e o Noroeste. Os municípios que lideram a produção no estado são: Uberaba, Perdizes, Unaí e Sacramento. Sacramento destaca-se pela produção em grande escala tanto de soja como de milho, assim como Uberaba. A região do baixo Paranaíba (cor verde) se destaca como a maior produtora de cana-de-açúcar da bacia, já a cultura do milho é mais difundida na região do rio Araguari (rosa), porém houve um aumento de na área plantada na região do alto Paranaíba (azul).

Figura 22 - Concentração da produção de milho e cana-de-açúcar nos municípios da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.



A cultura do feijão ainda é pouco difundida na região da bacia, destacando os municípios da faixa do noroeste de Minas (Unaí e Paracatu) que produzem também feijão em grande escala. O feijão se destaca principalmente no município de Ibiá e na região do alto Paranaíba (Unaí e Paracatu). A cultura da soja apresentou um grande desenvolvimento em alguns municípios da bacia com destaque aos municípios: Capinópolis, Canápolis, Monte Alegre de Minas, Guarda-Mor, Paracatu e Unaí. A região do alto Paranaíba apresentou um aumento na produção de soja assim como a região do rio Araguari e uma pequena parte da região do baixo Paranaíba.

Figura 23 - Concentração da produção de soja e feijão nos municípios da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

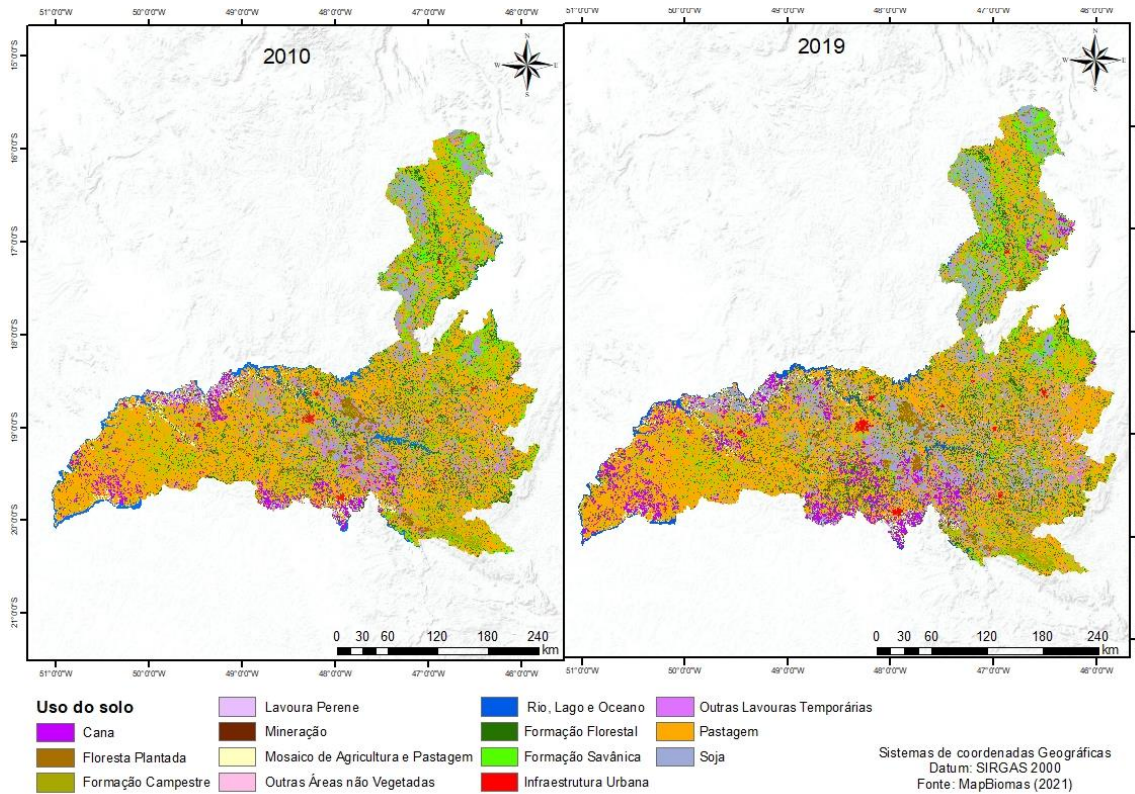


Alguns municípios da bacia são classificados com uma agricultura diversificada como os municípios: Araguari, Paracatu e Unaí que são destaques na produção de milho, soja e feijão. Os municípios de Uberlândia, Nova Ponte de Perdizes produzem com destaque cana-de-açúcar. Por produzirem em grande escala em três culturas, Araguari, Paracatu e Unaí são classificados como áreas de agricultura diversificada, o primeiro se destacando em café, milho e soja e os demais em feijão, milho e soja. Uberlândia, Nova Ponte e Perdizes produzem as culturas de soja, cana-de-açúcar e milho em grande escala, enquanto Ibiá apresenta produção em grande escala tanto de milho como de feijão.

4.3.1.4. Uso e Ocupação do Solo

Os mapas temáticos de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Paranaíba foram obtidos do MapBiomas para o ano de 2010 e 2019 (Figura 24).

Figura 24 - Uso e ocupação do solo da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba.



As áreas das classes identificadas nos mapas temáticos foram obtidas por meio de cálculos no ArcGis e estão apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Áreas das classes do uso e ocupação do solo na porção mineira da bacia do rio Paranaíba.

<i>Classe do uso do solo</i>	<i>Área (km²) - 2010</i>	<i>Área (km²) - 2019</i>
<i>Cana-de-açúcar</i>	3123,4875	5655,2432
<i>Floresta Plantada</i>	1713,0179	2079,343430
<i>Floresta Campestre</i>	4507,6009	4030,9672
<i>Lavoura Perene</i>	135,8205	795,1183
<i>Mineração</i>	41,2800	40,4574
<i>Mosaico de Agricultura e Pastagem</i>	1573,9826	1339,1719
<i>Outras Áreas não vegetadas</i>	96,7555	125,1267
<i>Rio, lago e oceano</i>	1973,8949	1824,5681
<i>Formação Florestal</i>	10976,7082	11345,1339
<i>Formação Savânica</i>	12576,3897	11159,2365
<i>Infraestrutura urbana</i>	426,1886	539,0009
<i>Outras lavouras temporárias</i>	5466,5849	4633,6279
<i>Pastagem</i>	54022,3985	47903,5439
<i>Soja</i>	7307,6143	12471,3521

Analisando a variação entre os anos de 2010 e 2019, observa-se um crescimento na classe urbana, soja e cana-de-açúcar. As demais classes: rio, lago e floresta campestre, apresentaram uma redução da área entre os anos estudados.

As classes de agricultura e área urbana apresentaram um aumento expressivo, o que era esperado devido ao crescimento populacional e das áreas de culturas apresentadas nas Figuras anteriores. É válido ressaltar que as atividades de agricultura e pecuária são as principais atividades econômicas de muitos municípios da bacia. A redução da área de mata está relacionada ao desmatamento das áreas para agricultura, pastagem e devido ao crescimento dos centros urbanos.

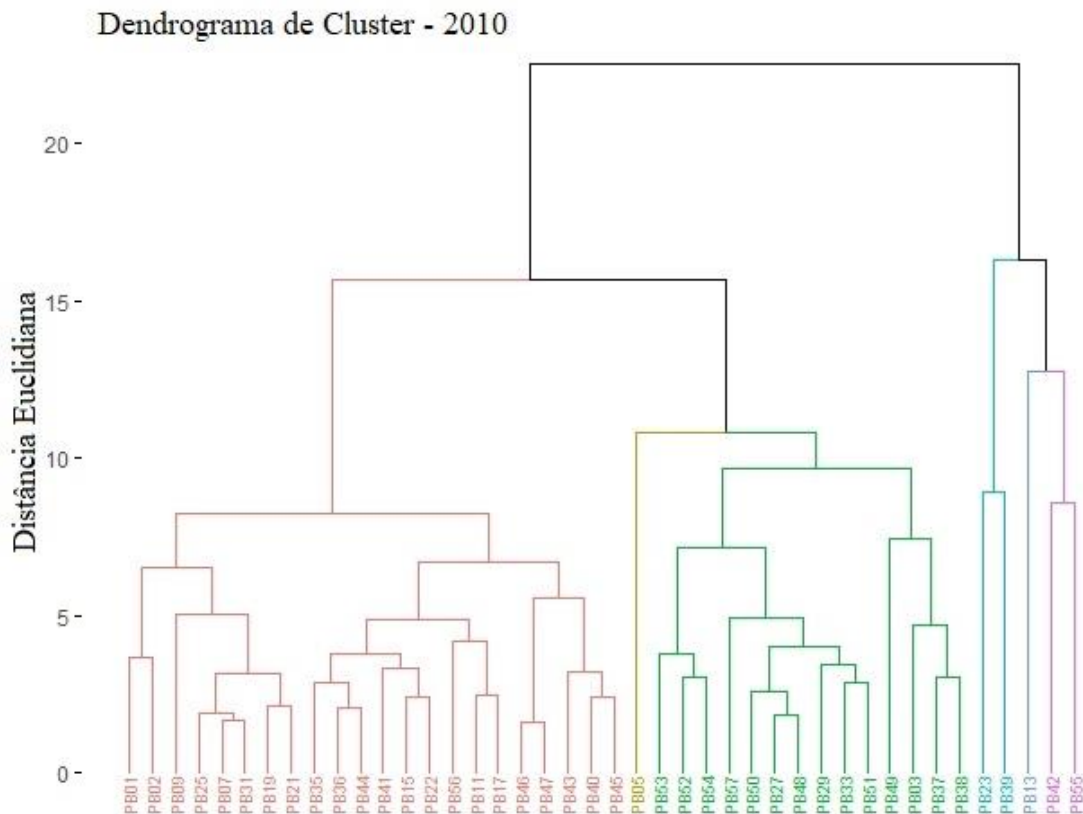
É válido destacar que as imagens dos mapas foram obtidas pelo MapBiomas e nem sempre os ciclos de cultivo coincidem nos dois períodos, sendo que essa pequena diferença pode ser essencial para identificar diferentes áreas entre os dois mapas. Além disso, fatores climáticos típicos de cada ano, como a coincidência com um período excessivamente seco ou chuvoso, também podem influenciar bastante nas plantações e a qualidade da água (BARBOSA, 2015). Segundo Narany *et al.* (2017) o crescimento das atividades agrícolas e o crescimento populacional são fontes de poluição por meio do uso descontrolado de fertilizantes e do descarte irregular do esgoto sanitário.

4.3.2. Análise de tendência espaço temporal

4.3.2.1. Análise espacial

Os dendrogramas resultantes das análises de 26 parâmetros de qualidade da água em 42 estações de monitoramento, relativas aos anos de 2010 e 2019, permitiram a identificação de 6 grupos de acordo com suas similaridades, representados na Figura 25 e na Figura 26.

Figura 25 - Análise de Cluster na porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba para o ano de 2010.



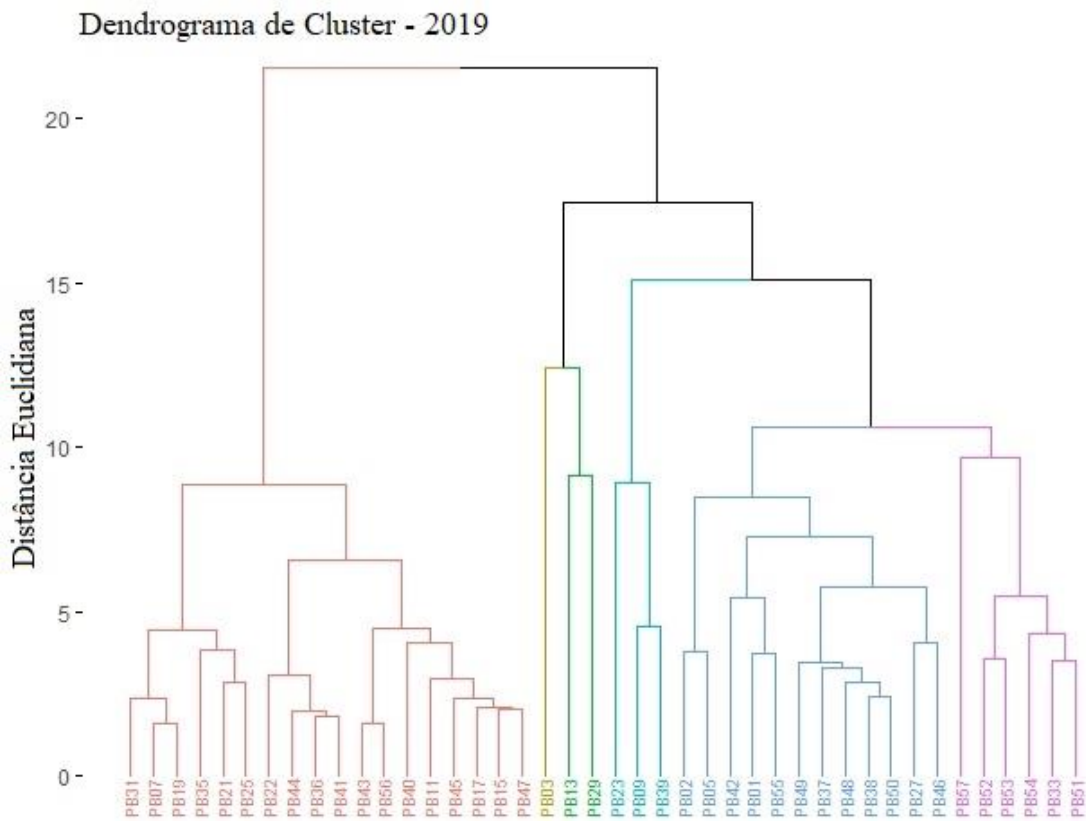
De acordo com a Figura 25, o Grupo 1 do ano de 2010 agrupou 22 estações que se localizam na região central da bacia, abrangendo as três regiões, onde estão localizadas as maiores concentrações industriais da bacia. O Grupo 2 do ano de 2010 contém apenas a estação PB05, localizada na região do alto Paranaíba. No ano de 2019, esta estação passou a fazer parte do Grupo 5 ficando agrupada com outras estações da região do alto Paranaíba e rio Araguari. O Grupo 3 do ano de 2010 contém 14 estações, em sua maioria localizadas na região do baixo Paranaíba, sob influências do cultivo da cana-de-açúcar e do aumento da pastagem.

O Grupo 4 do ano de 2010 foi composto pelas estações PB023 e a PB039, estas estações se encontram a jusante dos municípios Uberlândia e Monte Carmelo, respectivamente. De acordo com a Figura 21, os municípios de Uberlândia e Monte Carmelo são referências em criação de suínos.

O Grupo 5 ficou apenas a estação PB013 localizada na região do rio Araguari, esta estação sofre influência de todas as culturas estudadas nas Figuras 22 e 23. O Grupo 6 agrupou as estações PB042 e PB055 que são influenciadas pela produção de milho da região, ambas pertencem a região do rio Araguari.

Na Figura 26, apresentam-se os agrupamentos para o ano de 2019. O Grupo 1, agrupou 18 estações, na qual foram muito semelhantes ao Grupo 1 do ano de 2010, com exceção das estações PB001, PB002, PB009 e PB046. As estações PB001, PB002 e PB046 no ano de 2019 passaram a fazer parte do Grupo 5 que possuem como características comuns o aumento da produção de soja na região e o aumento do atendimento de água.

Figura 26 - Análise de Cluster na porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba para o ano de 2019.

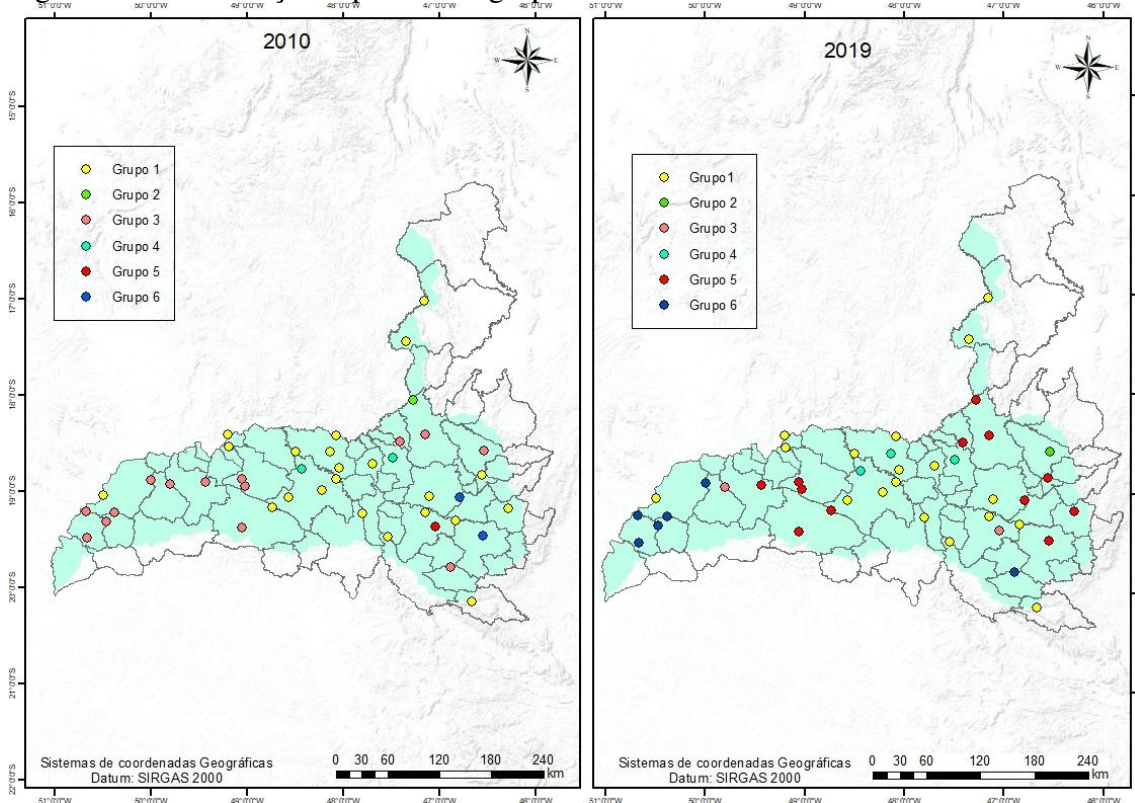


No Grupo 2 do ano de 2019 obteve-se apenas a estação PB03, esta estação estava agrupada com o Grupo 3 em 2010, porém cabe destacar que dentre as estações do Grupo 3 de 2010, a estação PB03 foi a única que obteve um aumento no índice de tratamento de esgoto. O Grupo 3 do ano de 2019 agrupou as estações PB13 e PB29, tais estações obtiveram um aumento na criação de suínos, o que podem ter contribuído para serem semelhantes. O Grupo 4 do ano

de 2019 foi semelhante ao Grupo 4 do ano de 2010, porém com o acréscimo da estação PB09. De acordo com a Figura 24, estas estações se encontram próximas a classe de infraestrutura urbanas.

O Grupo 5, agrupou 22 estações que estão nas três regiões da bacia (Figura 27), estas estações de destacam no ano de 2019 com o aumento da criação de suínos. O grupo 6 no ano de 2019, ficou com as PB53, PB52, PB33, PB51, PB54 e PB57. Estas estações se encontram, em sua maioria, na região do baixo Paranaíba, em que o uso do solo predominante próximo as estações é pastagem e cana-de-açúcar (Figura 24).

Figura 27 - Distribuição espacial dos grupos da análise de Cluster.



As atividades agrícolas intensivas, juntamente com o crescimento populacional, geram uma fonte potencial de contaminantes de fertilizantes, esgoto sanitário e industrial, que muitas vezes influenciam o sistema hidrológico e mudam o escoamento e a qualidade da água (NARANY *et al.*, 2017). Rodrigo-Comino *et al.* (2016) demonstram que os usos agrícolas intensivos geram pico de erosão do solo na descarga de sedimentos, alterando a qualidade da água de escoamento.

A escolha dos principais parâmetros da AF foi realizada dentre os fatores que representam mais de 60% da variância acumulada dos dados (QUEIROZ, SILVA e PAIVA 2017) e levando-se em consideração dos autovalores maiores que 1 (MEDEIROS *et al.*, 2017).

As cargas “fortes” (maiores que 0,75) estão apresentadas em negrito (LIU *et al.*, 2003). A Tabela 14 apresenta o resultado da AF das estações de monitoramento para o de 2010 e 2019.

Tabela 14 - Análise de fatorial dos parâmetros de monitoramento da qualidade da água dos anos de 2010 e 2019.

<i>Parâmetros</i>	2010				2019			
	Fv1	Fv2	Fv3	Fv4	Fv1	Fv2	Fv3	Fv4
<i>Al</i>	0.89	0.04	0.00	-0.03	0.24	0.07	0.18	0.84
<i>Cn</i>	0.15	0.21	0.42	0.37	0.03	-0.03	0.46	-0.04
<i>Cl</i>	0.32	0.87	0.11	0.14	0.19	0.84	0.13	0.13
<i>Clorofila a</i>	0.18	-0.01	0.07	-0.07	0.04	0	0.09	0.09
<i>Coliformes T.</i>	0.04	0.50	-0.02	0.73	0.27	0.49	0.38	-0.19
<i>CE</i>	0.03	0.17	0.92	0.07	0.04	0.19	0.86	0.06
<i>Cor</i>	0.02	0.16	0.26	0.15	0.1	0.09	0.71	0.26
<i>DBO</i>	-0.07	0.93	0.01	0.26	-0.11	0.91	-0.01	0.03
<i>DQO</i>	0.46	0.53	0.09	0.53	0.38	0.57	0.29	0.01
<i>ICF</i>	0.06	0.25	0.05	0.90	0.24	0.83	0.07	-0.07
<i>Fenóis</i>	-0.10	0.15	-0.05	0.06	0.22	0.15	0.26	0.13
<i>Feoftina a</i>	0.96	0.06	-0.03	0.12	0.89	0.21	0.01	0.14
<i>Fe</i>	0.11	0.47	0.40	0.12	0.25	0.16	0.49	0.61
<i>P</i>	0.07	0.89	0.07	0.32	0.43	0.75	0.13	0.22
<i>Mn</i>	0.39	0.06	0.07	0.03	0.85	0.04	0.10	0.19
<i>Ni</i>	0.22	0.15	0.24	0.36	0.86	0.05	-0.09	-0.25
<i>Nitrato</i>	0.22	0.07	0.06	0.26	0.44	0.12	0.30	0.01
<i>N amoc</i>	-0.09	0.89	0.10	0.01	-0.11	0.94	-0.02	0.03
<i>N org</i>	0.37	0.18	-0.01	0.72	0.61	0.45	0.23	0.35
<i>OD</i>	-0.03	-0.51	-0.40	-0.20	-0.14	-0.17	-0.19	0.24
<i>pH</i>	-0.06	0.03	0.86	-0.02	0.15	0	0.83	-0.02
<i>SDT</i>	0.17	0.02	0.75	0.43	0.11	0.09	0.87	0.26
<i>SST</i>	0.96	0.03	-0.06	0.09	0.96	0.1	0.05	0.06
<i>ST</i>	0.94	0.04	0.22	0.10	0.8	0.11	0.5	0.19
<i>Temp. água</i>	-0.10	0.06	0.77	-0.32	-0.01	0.02	0.18	0.02
<i>Turbidez</i>	0.92	0.04	-0.08	0.14	0.95	0.03	0.15	0.13
<i>Autovalores</i>	5.13	4.42	3.25	2.83	5.99	4.64	3.96	1.7
<i>Variância</i>	0.31	0.18	0.14	0.12	0.34	0.19	0.16	0.07
<i>Variância acumulada</i>	0.31	0.49	0.63	0.75	0.34	0.53	0.69	0.76

O Fv1 do ano de 2010 destacaram-se os parâmetros alumínio, feoftina a, SST, ST e turbidez, representando 31% da variância dos dados totais, e o CP1 do ano de 2019 os parâmetros foram feoftina a, manganês, níquel, SST e turbidez, representando 34% da variância dos dados totais. Tais parâmetros, com exceção da turbidez, indicam contaminação por efluentes industriais (BARBOSA, 2015).

O Fv2 dos anos 2010 e 2019 obteve os mesmos parâmetros de influência na bacia, destacando-se os parâmetros cloreto, DBO, indicador de contaminação de origem fecal, fósforo total e nitrogênio amoniacal total. Tais parâmetros indicam que há uma contaminação muito forte de esgoto sanitário o que foi observado também por Barbosa (2015) em seu trabalho. Oliveira *et al.* (2018), encontraram valores de indicador de contaminação de origem fecal e DBO acima do limite indicando contaminação fecal na área. As variações significativas dos parâmetros, como diminuição no OD e altas concentrações de indicador de contaminação de origem fecal, fósforo total e DBO indicam intensa contaminação por esgoto sanitário (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

O Fv3 do ano de 2010 e 2019 apresentou destaque dos mesmos parâmetros de CE, pH, SDT. Segundo Rodrigues *et al.* (2018), o destaque para os parâmetros de CE e pH podem ser características de áreas cultivadas com cana-de-açúcar, em adição, o Fv4 do ano de 2010 apresentou apenas o parâmetro indicador de contaminação de origem fecal e no ano de 2019 o parâmetro de alumínio. A saída do parâmetro alumínio do Fv1 para o Fv4 pode ser explicado devido a diminuição das atividades minerárias (TRINDADE, 2013). Além do eventual despejo de efluentes sem tratamento, o escoamento superficial pode ser um fator importante da qualidade das águas superficiais, pois em sua composição pode ter sedimentos, matéria orgânica, agentes tóxicos, compostos estáveis e instáveis (CAVALCANTE *et al.*, 2019).

4.3.2.1. Análise temporal

A análise temporal das estações de monitoramento da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, é apresentada na Tabela 15 contendo as variações dos parâmetros de monitoramento da qualidade da água para os anos estudados. As estações e os parâmetros foram analisados individualmente, no entanto foram apresentados apenas as tendências gerais de cada parâmetro na Tabela 15.

Tabela 15 - Avaliação de tendência temporal dos parâmetros de qualidade de água.

	Cn	Cl	Ca	CE	Cor	DBO	DQO	ICF	Fenóis	Feoftina a	Fe	P	Mn	Ni	NO3	Namo	Norg	OD	pH	SDT	SST	ST	Temp. água	Turb.	
PB01	-	↑	-	↑	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	↑	-	-	↑	-	↑	-	-	-	-	-
PB02	↓	↑	-	↑	↑	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	↑	-	-	-	↓	-
PB03	-	↑	-	↑	↑	-	-	↓	↑	↑	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-
PB05	↓	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-
PB07	↓	↑	-	↑	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	↑	↑	-	↑	-	-	-	-	-	-	↓
PB09	↓	-	-	↑	↑	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	↑	-	↑	-	-	-
PB11	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB13	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB15	↓	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	↓	-
PB17	↓	↓	↓	-	-	-	-	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB19	↓	-	↓	↑	-	-	↑	↓	↑	↑	-	-	↓	-	-	-	-	-	-	↑	↑	-	-	-	↓
PB21	-	-	↓	-	-	↑	↓	-	-	↑	-	-	↓	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB22	↓	-	↓	-	↑	-	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	↓	-	-	-	↑	-	↑	-	-	-
PB23	↓	-	-	-	↑	-	-	↓	-	-	↓	-	-	-	↑	-	↑	↑	-	-	-	-	-	↓	-
PB25	↓	↑	↓	↑	-	-	↑	-	-	-	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB27	↓	↑	-	-	-	-	↑	-	-	-	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB29	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB31	↓	↑	↓	↑	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB33	↓	-	↓	-	↑	-	-	↓	-	-	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-
PB35	↓	-	-	↑	-	-	-	↓	-	↑	-	-	-	-	↑	↑	-	-	-	-	-	↓	-	↑	-
PB36	↓	↑	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	↓	-
PB37	↓	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	↑	-	-	-	↓	-
PB38	↓	↑	-	-	↑	-	-	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↓	-
PB39	-	-	-	-	↑	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	↑	-	-	-	↓	-
PB40	-	-	-	-	↑	-	-	↓	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	↑	-	-	↑	-	-
PB41	↓	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	↑	↑	↓	-	-	-	-
PB42	-	-	-	-	↑	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-
PB43	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↓	-
PB44	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-
PB45	-	-	-	↑	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB46	↓	↑	-	-	↑	-	↑	-	↓	-	↑	↑	-	-	↑	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-
PB47	↓	↑	-	-	↑	-	↑	↓	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	↓	-
PB48	-	↑	-	↑	↑	-	-	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB49	-	-	↓	-	↑	-	↑	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↓	-
PB50	↓	↑	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB51	↓	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB52	-	-	-	-	-	-	-	↓	-	-	↑	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↓	-
PB53	↓	-	-	-	↑	-	↑	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB54	↓	-	-	↑	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	↓	↑	-	-	-	-	-
PB55	-	-	↓	-	↑	↓	-	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PB56	-	↑	-	-	-	-	↑	-	-	↑	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-
PB57	↓	-	↓	-	-	-	-	↓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	-

Os parâmetros cloreto total, CE, fenóis, cor, nitrato, ferro e feoftina a apresentaram tendência de elevação no período de 10 anos de estudos das estações. A elevação de tais parâmetros pode estar associada ao aumento da concentração de indústrias na região. O nitrato, foi o parâmetro que mais se destacou, apresentando tendências de elevação em quase todas as estações. Segundo Chen *et al.* (2019), o aumento do nitrato pode estar associado a presença de uso de fertilizantes químicos e orgânicos na agricultura. Trindade (2017) e Fraga (2019) encontraram resultados semelhantes para o parâmetro de nitrato na porção mineira da bacia do rio São Francisco e porção mineira da bacia do rio Doce, respectivamente. Zeinalzadeh e Rezaei (2017) também encontraram tendência de aumento nos valores de nitrato, associando com os aumentos nas terras de cultivo agrícola.

Houve um aumento da concentração de parâmetros de SDT e de ST. O parâmetro de turbidez apresentou tendência de redução apresentando comportamento oposto ao ST. Segundo Fraga (2019) os ST apresentam tendência de crescimento em função do SDT e a turbidez em função dos SST. Os parâmetros de Cn, Clorofila, temperatura e indicador de contaminação de origem fecal apresentaram redução ao longo do tempo. A redução de tais parâmetros pode ser explicada pelo aumento da eficiência das estações de tratamento de esgoto (ETE) implantadas na região (FONSECA e TIBIRIÇÁ, 2021).

O baixo Paranaíba apresentou, em geral, um aumento dos índices de abastecimento de água e de tratamento de esgoto, o que gerou um impacto positivo na qualidade da água, o que pode ser confirmado pela redução ao longo dos anos estudados do parâmetro de indicador de contaminação de origem fecal. Porém, nesta região teve um aumento na produção de cana-de-açúcar, o que pode ter influenciado na tendência de elevação dos parâmetros de ferro, cloreto, DQO, fósforo, nitrato e nitrogênio orgânico na qualidade da água, pois estes parâmetros também estão associados à fertilização de lavouras (CARRASCO, 2019).

Na região do alto Paranaíba a influência do uso e ocupação do solo está relacionada ao aumento da produção de milho, soja e feijão. Além disso, mesmo tendo uma diminuição da classe de mineração em questões de áreas (km²) esta atividade ainda é expressiva na região. Na região do rio Araguari, as classes do solo que mais se destacaram foram a produção de soja, cana de açúcar e as atividades de suinocultura e bovinocultura. Além disso, também foram expressivas nesta região da bacia o aumento da concentração de indústrias e do número de pessoal empregado, justificando assim as tendências de elevação dos parâmetros associados a indústrias e agropecuária.

4.4. CONCLUSÃO

Foram constatadas mudanças expressivas de uso e ocupação do solo na bacia nos últimos 10 anos. Classes de agricultura, concentração industrial, pecuária e infraestrutura urbana sofreram um aumento considerável. Em relação às áreas de agricultura, destaca-se a elevada produção de cana-de-açúcar e soja que acabam levando à redução de as áreas de florestas, com reflexos na qualidade da água da bacia.

A análise de Cluster gerou 6 grupos de estações de monitoramento, tanto para o ano de 2010 quanto para o ano de 2019. As diferenças nos agrupamentos entre os períodos podem ser explicadas pelas atividades econômicas e do uso do solo nos municípios estudados. A análise fatorial, destacou 4 fatores nos anos de 2010 e 2019. Esses resultados não levaram em consideração as influências sazonais. O Fv1 apresentou parâmetros que indicaram contaminação efluentes industriais. O Fv2 apresentou parâmetros que indicam contaminação de esgoto sanitário e o Fv3 foram influenciados pelas atividades agrícolas.

As análises de tendência temporal demonstraram um aumento significativo do nitrato e uma redução dos parâmetros de indicador de contaminação de origem fecal. Pode-se concluir que as ETE localizadas ao longo da bacia estão apresentando eficiência na remoção de parâmetros biológicos, mas deve-se ter uma atenção na remoção dos parâmetros químicos.

Os resultados podem contribuir para avaliar os efeitos do crescimento das atividades econômicas na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, destacando assim a importância de estudos em escalas espaciais e temporais para a compreensão dos impactos das atividades humanas na qualidade da água.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA)– Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil. Agência Nacional de Águas, Embrapa Milho e Sorgo. - 2. ed. 47 p. - Brasília: ANA, 2019.
- AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), Plano de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, Brasília (2013). Disponível em: <<http://www.cbhparanaiba.org.br/prhparanaiba/plano>> Acesso em: 16 set.2020.
- ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 81-97, 2003.
- ANA – Agência Nacional de Águas. Região Hidrográfica Paraná. 2019. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/parana>> Acesso em: 20 jun.2020.
- BARBOSA, Thaís Baêta Costa. **Avaliação da qualidade das águas superficiais da subbacia do rio Paracatu em função do uso e ocupação do solo**. 174 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- BARBOSA, V.M.; GODIM, C.C.; NASCIUTTI, N.R.; OLIVEIRA, P.M.; ALFIERRI, A.A.; FRITZEN, J.T.T.; HEAFLEY, S.A.; SAUT, A.M.; BERSSANETI, F.T.; SAUT, J.P.E. Fatores de risco associados à infecção viral (BoHV-1 e BVDV) em rebanhos leiteiros mestiços com problemas reprodutivos, no município de Uberlândia, MG. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.71, n.4, p.1243-1250, 2019.
- CABRAL, Juarez Rogério. Impacto da aplicação de água residuária de Suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá- PA, 2011.
- CALAZANS, G.M., PINTO, C.C., COSTA, E.P., PERINI, A.F., OLIVEIRA, S.C. The use of multivariate statistical methods for optimization of the surface water quality network monitoring in the Paraopeba river basin, Brazil. **Environ Monit Assess**, v.190, 2018.
- CARRASCO, G.; MOLINA, J.L.; ALONSO, M.C.P.; CASTILHO, M.D.C.; GALINDO, M.P.V.; VILLARDÓN, M.P.G. Water quality evaluation through a multivariate statistical HJ-Biplot approach. **Journal of Hydrology**, v.577, 2019.
- CASTRO, BARBARA ALVES ARAÚJO. Análise do setor sucroenergético do Triângulo Mineiro. Belo Horizonte: **SEBRAE Minas**, 2018. 54 p.: il
- CAVALCANTE, I. C. da S.; SILVA, R. da S.; BLANCO, C. J. C.; TEIXEIRA, L. C. G. M.; FERNANDES, L. L. Análise Da Qualidade Da Água De Uma Bacia Hidrográfica Periurbana No Município De Capitão Poço/Pa. **Revista AIDIS**,v.12, n.3, p.413-431, 2019.

COSTA, E.P.; PINTO, C.C.; SOARES, A.L.; MELO, L.D.V.; OLIVEIRA, S.M.A.C.O. Evaluation of violations in water quality standards in the monitoring network of São Francisco River basin, the third largest in Brazil. **Environ Monit Assess**, v.189, 2017.

De MELLO, K.; VALENTE, R. A.; RANDHIR, T. O.; dos SANTOS, A. C. A.; VETTORAZZI, C. A. Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in South Eastern Brazil: Watershed versus riparian zone. **Catena**, v.167, p.130-138, 2018.

FERRER-POLONIO, E.; PÉREZ-UZ, B.; MENDOZA-ROCA, J.A.; IBORRA-CLAR, A.; PASTOR-ALCAÑIZ, L. Biological treatment of hypersaline wastewater from tableo live processing: process performance and protist population under diferente operating conditions. **J. Ind. Eng. Chem.** v.56, p.364–374, 2017.

FONSECA, W.C.; TIBIRIÇÁ, C.E.J.A. Avaliação da influência da estação de tratamento de efluente de Catanduva (SP) na qualidade da água do rio São Domingos. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.26, n.1, 2021.

FRAGA, Micael Souza. **Proposta metodológica para avaliação e otimização de redes de monitoramento de qualidade da água**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

GUO, X., ZHANG, X., YUE, H., Evaluation of hierarchically weighted principal componente analysis for water quality management at Jiaozuo mine. **Int. Biodeterior. Biodegrad.** v.128, p.182–185, 2018.

IBGE (2010): IBGE, Cadastro Central de Empresas 2018. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

IBGE, Cadastro Central de Empresas 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Dinâmica Territorial Agropecuária, 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico. 2010.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. (2011) Monitoramento da qualidade da água, 2011.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Mapas e Bases Cartográficas. 2016.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Estação Chuvosa em Minas Gerais, Nota Técnica. 2017.

MEDEIROS, A. M.V.; SILVA, C. E.; LINS, R. P. M. Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v.13, n.2, 2018.

MEDEIROS, G. A.; TRESMONDI, A. C. C. DE L.; QUEIROZ, B. P. V. DE; FENGLER, F. H.; ROSA, A. H.; FIALHO, J. M.; LOPES, R. S.; NEGRO, C. V.; SANTOS, L. F. DOS; RIBEIRO, A. I. Water quality, pollutant loads, and multivariate analysis of the effects of

sewage discharges into urban streams of Southeast Brazil. **Energy, Ecology and Environment**, v.2, p.259-76, 2017.

MUANGTHONG, S.; SHRESTHA, S. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: case study of the Nampong River and Songkhram River, Thailand. **Environ Monit Assess**, v.187, 2015.

NARANY, T.S.; ARIS, A.Z.; SEFIE, A.; KEESSTRA, S. Detecting and predicting the impact of land use changes on ground water quality, a case study in Northern Kelantan, Malaysia. **Sci. Total Environ**. v. 599, p.844–853, 2017.

PASSOS, J.B.M.C.; TEIXEIRA, D.B.S.; CAMPOS, J.A.; LIMA, R.P.C.; FERNANDES FILHO, E.I.; SILVA, D.D. Multivariate statistics for spatial and seasonal quality assessment of water in the Doce River basin, South Eastern Brazil. **Environ Monit Assess**, v.193, 2021.

PIAZZA, G. A.; GROTT, S.; GOULART, J.; KAUFMANN, V. Caracterização espaço-temporal da qualidade das águas superficiais dos mananciais de abastecimento de Blumenau/SC. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 14., 2017.

QUEIROZ, L. G.; SILVA, F. T. DA; PAIVA, T. C. B. DE. Caracterização estacional das variáveis físicas, químicas, biológicas e ecotoxicológicas em um trecho do Rio Paraíba do Sul, SP, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v.12, p.238-248, 2017.

KIRCHHOFF, M.; RODRIGO COMINO, J.; SEEGER, M.; RIES, J.B. Soil erosion in sloping vineyards under conventional and organic land use managements (Saar-Moselvalley, Germany). **Cuadernos de Investigación Geográfica**, v.43, p.119–140, 2017.

RODRIGUES, V.; ESTRANY, J.; RANZINI, M.; CICCIO, V. De; MARTÍN-BENITO, J. M. T.; HEDO, J.; LUCAS-BORJA, M. E. Effects of land use and seasonality on stream water quality in a small tropical catchment: The head water of Córrego Água Limpa, São Paulo (Brazil), **Science of The Total Environment**, v. 622–623, p.1553-1561, 2018.

ROSE, K.C.; WINSLOW, L. A.; READ, J.S.; HANSEN, G.J.A. Climate-induced lake warming can be amplified or suppressed by trends in water clarity. **Limnol. ASLO**, v.1, p. 44 - 53, 2016.

SOTOMAYOR, G.; HAMPEL, H.; VÁZQUEZ, R. F.; GOETHALS, P. L. M. Multivariate-statistics based selection of a benthic macroinvertebrate index for assessing water quality in the Paute River basin (Ecuador). **Ecological Indicators**. v.111, 2020.

SOUZA, F. A. R. **Modelagem espacial da qualidade da água usando geotecnologias na bacia hidrográfica de Santana-RJ**. 168 f. Dissertação (Mestrado Programa de Engenharia Civil) – Universidade Fluminense do Rio de Janeiro, 2017.

SOUZA, I. DE P.; ROSA, A. P.; BORGES, A. C.; RENATO, N. DOS S. Energy potential of biogas from pig farms in the state of Minas Gerais, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v.40, n.3, p.396-404, 2020.

SOUZA, J. C. V. B.; BIESUS, L. L.; SOUZA, M. V. N. Gestão da água na suinocultura. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2016.

TEIXEIRA, Z.; TEIXEIRA, H.; MARQUES, J.C. Systematic processes of land use/land cover change to identify relevant driving forces: implication on water quality. **Sci. Total Environ.**, v. 470–471, p. 1320-1335, 2014.

TRINDADE, A.L.C.; ALMEIDA, K.C. de B.; BARBOSA, P.E.; OLIVEIRA, S.M.A.C. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v.22, n.1, p.13-24, 2017.

TRINDADE, Ana Laura Cerqueira. **Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do rio São Francisco**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2013.

VILARINHO, C. M. R.; MULLER, M. G.; CAVALCANTE, A. S.; COSTA, M.M. L.; GONÇALVES, J. A. C. Eficácia da Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos condicionada ao Índice de Qualidade da Água: Estudo de Caso, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.01, n.01, 2021.

5. CONCLUSÕES GERAIS

- A aplicação de técnicas estatísticas mostrou-se eficaz na identificação dos parâmetros que mais se destacaram na bacia, assim como auxiliou de maneira geral na interpretação dos resultados do monitoramento da qualidade da água;
- Os principais usos do solo que impactam a qualidade da água na bacia do rio Paranaíba foram pastagem, agricultura e área urbana;
- As ETE dos municípios estudados se podem ter contribuído para o tratamento dos efluentes sanitários na qualidade da água;
- A variação dos parâmetros da qualidade da água aparenta ter relação com as alterações nos usos do solo, evidenciando a importância do monitoramento de frequência trimestral principalmente nos parâmetros que apresentaram violação;
- O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) auxiliou na visualização dos principais parâmetros responsáveis pela degradação da bacia, assim como os principais uso do solo;
- A estação PB023, localizada a jusante da cidade de Uberlândia, foi destaque negativo no estudo, apresentando grandes violações de parâmetros associados a esgoto sanitário;
- A maioria das estações de monitoramento apresentaram tendências de redução nos parâmetros de cianeto livre, indicador de contaminação de origem fecal e temperatura da água;
- Nitrato apresentou um aumento expressivo na variação temporal na maioria das estações estudadas e isso pode ser explicado devido ao uso de fertilizantes agrícolas e orgânicos na área de estudo;
- A metodologia proposta foi adequada para estudar a qualidade da água da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, identificando os possíveis fatores de poluição e os principais parâmetros violados dentro da bacia.

6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- No capítulo 1, a AF foi utilizada para apontar as diferenças entre os agrupamentos obtidos pelas AC. Seria interessante realizar AF para cada CH individualmente, o que poderia indicar particularidades interessantes de cada CH da bacia;
- No capítulo 2, fez-se o levantamento de algumas atividades que impactam na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Paranaíba. Com isso, para um futuro trabalho, seria interessante obter os dados de outorgas concedidas na área de estudo;
- Fazer o cálculo da carga de DBO que a suinocultura produz na região;
- Fazer um estudo propondo a otimização da rede de monitoramento dos parâmetros de qualidade da água a partir dos estudos da estatística multivariada;
- Analisar se é preciso aumentar ou diminuir a frequência da coleta, das estações e dos parâmetros;
- Analisar os resultados da qualidade da água comparando os períodos de seca e chuva separadamente;
- Estudar as estações de monitoramento que estão localizadas próximas aos locais de lançamento de esgoto e realizar análises a montante e a jusante destes pontos.