



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

GRADUAÇÃO EM QUÍMICA TECNOLÓGICA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS DE MONITORAMENTO DE
QUALIDADE DE ÁGUA DA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA**

VICTÓRIA CRISTINY TAVARES SANTOS

BELO HORIZONTE

2023

VICTÓRIA CRISTINY TAVARES SANTOS

ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE
DE ÁGUA DA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para a
obtenção de título em Química Tecnológica

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Patrícia Sueli de Rezende

Coorientador: Prof. Dr. Cleverson Fernando Garcia

BELO HORIZONTE

2023

VICTÓRIA CRISTINY TAVARES SANTOS

Análise Comparativa Dos Dados De Monitoramento De Qualidade De Água Da Bacia
Do Rio Jequitinhonha

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
SUBMETIDO À BANCA EXAMINADORA
INSTITUÍDA PELO CENTRO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS
GERAIS COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE BACHAREL EM QUÍMICA
TECNOLÓGICA.

Aprovado em: _____ de _____ de 2023.

Aprovado por:

Patrícia Sueli de Rezende, Prof.^a Dr.^a, Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais

Cleverson Fernando Garcia, Prof. Dr., Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais

Janice Cardoso Pereira Rocha, Prof.^a Dr.^a, Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais

Prof. Dr. Leonel da Silva Teixeira, Prof. Dr., Centro Federal de Educação Tecnológica
de Minas Gerais

Dedico este trabalho a todo povo do Vale do Jequitinhonha e à sua resiliência. Aos meus pais, que me apoiaram em toda a minha jornada longe de casa. E por fim, a todos que contribuíram com a minha trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais, Simone Tavares Santos e Gilmário Marciano dos Santos, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus amigos, que estiveram presentes em minha trajetória acadêmica e aqueles que me deram suporte e foram família em Belo Horizonte. Em especial, as minhas amigas Luísa Ribeiro e Camila Couto, por todo apoio nesta reta final.

A minha orientadora Prof.^a Dr.^a Patrícia Sueli de Rezende e ao meu coorientador Prof. Dr. Cleverson Fernando Garcia, pelo suporte, tempo, dedicação e incentivo na realização deste trabalho.

E a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

“Jequitinhonha braço do mar
Leva esse canto pra navegar
Traz do garimpo pedra que brilha
Mais que a luz do luar

Jequitinhonha, jequitibarro
Mete essa unha, tira da terra
Vida talhada com as mãos”

Paulinho Assunção e Lery Farias

SANTOS, Victória Cristiny Tavares. **Análise comparativa dos dados de monitoramento de qualidade de água da Bacia do Rio Jequitinhonha**. 2023, 103 p. Monografia (Graduação em Química Tecnológica) – Departamento de Química, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

RESUMO

A água é um recurso fundamental para a vida humana, sendo essencial para o abastecimento público, a agricultura, a indústria e os ecossistemas aquáticos. Monitorar e compreender a qualidade da água é crucial para detectar problemas e desafios relacionados à sua disponibilidade e segurança. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (BHRJ) no período de 1997 a 2019 nas estações de monitoramento JE005, JE007, JE009, JE010, JE011, JE019 e JE021. O estudo adotou uma abordagem metodológica que envolveu a utilização da série histórica de monitoramento do Instituto de Gestão das Águas de Minas Gerais (IGAM). As análises estatísticas realizadas permitiram entender os padrões e variações nos dados. Assim, foram utilizados gráficos de dispersão, boxplots e análises descritivas para identificar tendências, padrões e discrepâncias nos dados. A correlação de Pearson ajudou a explorar as relações entre as variáveis de cada parâmetro. Essas análises forneceram uma compreensão mais profunda dos dados, identificando anomalias, valores extremos e similaridades entre as amostras, melhorando a compreensão dos padrões e tendências nos dados. As estações JE009 e JE010, localizadas no Rio Salinas, enfrentam desafios na qualidade da água devido aos altos níveis de potássio provenientes de canaviais. Além disso, apresentaram campanhas com a concentração acima do limite máximo para o nitrogênio amoniacal, bem como campanhas com a quantidade de microrganismos em geral, tanto coliformes como estreptococos fecais, em concentração acima de 1500.000 NMP/100mL, sugerindo contaminação por esgotos sanitários. No ano de 2006, foram observados anomalias na qualidade da água nas estações JE007 e JE011, coincidindo com o enchimento da barragem da Usina Hidrelétrica (UHE) de Irapé. Como a redução do pH, o aumento da concentração de manganês, alta dureza total e a condutividade elevada. No entanto, a partir de 2007, a qualidade da água retornou aos níveis médios observados anteriormente. Esses dados são essenciais para estratégias de gestão e monitoramento contínuo da água, visando à preservação dos recursos hídricos e à saúde dos ecossistemas aquáticos.

Palavras-chave: Qualidade das águas, Rio Jequitinhonha, Rio Salinas, Usina Hidrelétrica de Irapé.

SANTOS, Victória Cristiny Tavares. Comparative analysis of water quality monitoring data in the Jequitinhonha River. 2023, 103 p. Undergraduate Monograph (Bachelor's degree in Technological Chemistry) - Department of Chemistry, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

ABSTRACT

Water is a fundamental resource for human life, being essential for public supply, agriculture, industry, and aquatic ecosystems. Monitoring and understanding water quality is crucial to detect problems and challenges related to its availability and safety. This study aimed to assess the surface water quality in the Jequitinhonha River Basin (BHRJ) from 1997 to 2019 at monitoring stations JE005, JE007, JE009, JE010, JE011, JE019, and JE021. The study adopted a methodological approach that involved the use of the historical monitoring dataset provided by the Water Management Institute of Minas Gerais (IGAM). The statistical analyses performed allowed for understanding the patterns and variations in the data. Scatter plots, box plots, and descriptive analyses were used to identify trends, patterns, and discrepancies in the data. Pearson correlation helped explore the relationships between variables for each parameter. These analyses provided a deeper understanding of the data, identifying anomalies, extreme values, and similarities among samples, improving the comprehension of patterns and trends in the data. Stations JE009 and JE010, located in the Salinas River, face challenges in water quality due to high potassium levels from sugarcane plantations. Additionally, they showed campaigns with concentrations above the maximum limit for ammonia nitrogen, as well as campaigns with high amounts of microorganisms, including coliforms and fecal streptococci, in concentrations above 1500,000 NMP/100mL, suggesting contamination from sanitary sewage. In 2006, significant changes in water quality were observed, coinciding with the filling of the Irapé Hydroelectric Power Plant (UHE) reservoir, such as pH reduction, increased manganese concentration, high total hardness, and elevated conductivity. However, starting from 2007, water quality returned to the average levels observed previously. These data are essential for water management and continuous monitoring strategies, aiming to preserve water resources and the health of aquatic ecosystems.

Keywords: Water quality, Jequitinhonha River, Salinas River, Irapé Hydroelectric Plant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos em Minas Gerais (UPGRHs)	26
Figura 2 - Concentração de espécies do carbonato de cálcio (mol L^{-1}) em função da variação do pH	28
Figura 3 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha.....	38
Figura 4 - Série histórica da distribuição de dados de alcalinidade por ano, em cada estação de monitoramento.....	53
Figura 5 - Série histórica da distribuição de dados de pH por ano, em cada estação de monitoramento. As linhas sólidas em vermelho representam o limite mínimo e máximo legal estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2011, para corpos d'água classe 2	55
Figura 6 - Série histórica da distribuição de dados de dureza por ano, em cada estação de monitoramento.....	58
Figura 7 - Série histórica da distribuição de dados de cloreto por ano, em cada estação de monitoramento.....	59
Figura 8 - Série histórica da distribuição de dados de sólidos dissolvidos por ano, em cada estação de monitoramento. A linha sólida em vermelho representa o limite máximo legal estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2011, para corpos d'água classe 2.....	60
Figura 9 - Série histórica da distribuição de dados de condutividade elétrica por ano, em cada estação de monitoramento	61
Figura 10 - Série histórica da distribuição de dados de turbidez por ano, em cada estação de monitoramento. A linha sólida em vermelho representam o limite máximo legal estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2011, para corpos d'água classe 2.....	62
Figura 11 - Sazonalidade do parâmetro de turbidez por estação do ano em toda a série histórica	63
Figura 12 - Sazonalidade do parâmetro de sólidos em suspensão por estação do ano em toda a série histórica.....	63
Figura 13 - Série histórica da distribuição de dados de nitrato por ano, em cada estação de monitoramento.....	66
Figura 14 - Série histórica da distribuição de dados de nitrito por ano, em cada estação de monitoramento.....	66
Figura 15 - Série histórica da distribuição de dados de nitrogênio amoniacal por ano, em cada estação de monitoramento	67

Figura 16 - Série histórica da distribuição de dados de nitrogênio orgânico por ano, em cada estação de monitoramento	67
Figura 17 - Série histórica da distribuição de dados de fosforo por ano, em cada estação de monitoramento. As linhas sólidas em vermelho representam o limite máximo legal estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2011, para corpos d'água classe 2.....	68
Figura 18 - Série histórica da distribuição de dados de coliformes termotolerantes por ano, em cada estação de monitoramento. As linhas sólidas em vermelho representam o limite máximo legal estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2011, para corpos d'água classe 2.....	70
Figura 19 - Série histórica da distribuição de dados de coliformes totais por ano, em cada estação de monitoramento	70
Figura 20 - Série histórica da distribuição de dados de estreptococos fecais por ano, em cada estação de monitoramento	71
Figura 21 - Série histórica da distribuição de dados de oxigênio dissolvido por ano, em cada estação de monitoramento. As linhas sólidas em vermelho representam o limite mínimo legal estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2011, para corpos d'água classe 2	72
Figura 22 - Série histórica da distribuição de dados de demanda química de oxigênio por ano, em cada estação de monitoramento	74
Figura 23 - Série histórica da distribuição de dados de potássio por ano, em cada estação de monitoramento.....	75
Figura 24 - Matriz de correlação de Pearson estação JE005	78
Figura 25 - Matriz de correlação de Pearson estação JE007	78
Figura 26 - Matriz de correlação de Pearson estação JE009	79
Figura 27 - Matriz de correlação de Pearson estação JE010	79
Figura 28 - Matriz de correlação de Pearson estação JE011	80
Figura 29 - Matriz de correlação de Pearson estação JE019	80
Figura 30 - Matriz de correlação de Pearson estação JE021	81
Figura 31 - Série histórica da distribuição de dados de cor verdadeira por ano, em cada estação de monitoramento	93
Figura 32 - Série histórica da distribuição de dados de sólidos totais por ano, em cada estação de monitoramento	93
Figura 33 - Série histórica da distribuição de dados de sólidos em suspensão por ano, em cada estação de monitoramento	94

Figura 34 - Sazonalidade do parâmetro de nitrato por estação do ano em toda a série histórica	94
Figura 35 - Sazonalidade do parâmetro de fósforo por estação do ano em toda a série histórica	95
Figura 36 - Sazonalidade do parâmetro de estreptococos fecais por estação do ano em toda a série histórica	95
Figura 37 - Sazonalidade do parâmetro de dureza por estação do ano em toda a série histórica	96
Figura 38 - Sazonalidade do parâmetro de demanda química de oxigênio por estação do ano em toda a série histórica	96
Figura 39 - Sazonalidade do parâmetro de cor verdadeira por estação do ano em toda a série histórica	97
Figura 40 - Sazonalidade do parâmetro de condutividade elétrica por estação do ano em toda a série	97
Figura 41 - Sazonalidade do parâmetro de coliformes totais por estação do ano em toda a série histórica	98
Figura 42 - Sazonalidade do parâmetro de coliformes termotolerantes por estação do ano em toda a série histórica	98
Figura 43 Sazonalidade do parâmetro de cloreto por estação do ano em toda a série histórica	99
Figura 44 - Sazonalidade do parâmetro de alcalinidade por estação do ano em toda a série histórica	99
Figura 45 - Sazonalidade do parâmetro de sólidos totais por estação do ano em toda a série histórica	100
Figura 46 - Sazonalidade do parâmetro de sólidos dissolvidos por estação do ano em toda a série histórica	100
Figura 47 - Sazonalidade do parâmetro de potássio por estação do ano em toda a série histórica	101
Figura 48 - Sazonalidade do parâmetro de pH por estação do ano em toda a série histórica	101
Figura 49 - Sazonalidade do parâmetro de oxigênio dissolvido por estação do ano em toda a série histórica	102
Figura 50 - Sazonalidade do parâmetro de nitrogênio orgânico por estação do ano em toda a série histórica	102

Figura 51 - Sazonalidade do parâmetro de nitrogênio amoniacal por estação do ano em toda a série histórica.....	103
Figura 52 - Sazonalidade do parâmetro de nitrito por estação do ano em toda a série histórica	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) em função da temperatura e teor de cloretos nas CNTP	35
Tabela 2 - Estatística descritiva dos dados por estação de monitoramento.....	48
Tabela 3 - Grau de dureza.....	58
Tabela 4 - Porcentagem de campanhas de monitoramento de coliformes termotolerantes em desconformidade com a CONAMA 357/2005	69

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

AT	Alcalinidade total
CE	Condutividade elétrica in loco
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CT	Cloreto total
CTot	Coliformes totais
CTt	Coliformes termotolerantes
CV	Cor verdadeira
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DT	Dureza total
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EF	Estreptococos fecais
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GEOSOL	Geologia e Sondagens S/A
GESTA	O Grupo de Estudos em Temáticas Ambientais
IET	Índice de Estado Trófico
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IQA	Índice de Qualidade da Água
JQ1	Bacia Hidrográfica do Alto Jequitinhonha
JQ2	Bacia Hidrográfica do Rio Araçuaí
JQ3	Bacia Hidrográfica do Médio e Baixo Rio Jequitinhonha
K	Potássio dissolvido
MG	Minas Gerais
NAm	Nitrogênio amoniacal total
NH ₃	Amônia Livre
NH ₄ ⁺	Amônio
NMP	Número Mais Provável de Microrganismos

NO ₂	Nitrito
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃	Nitrato
NO ₃ ⁻	Nitrato
NOrg	Nitrogênio orgânico
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PO ₄ ³⁻	Ortofosfato
PT	Fósforo total
SANEAR	Programa de Saneamento Ambiental para Pequenas Comunidades no Estado de Minas Gerais
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SEDRO	Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Urbano
SEDEVAN	Secretaria de Estado Extraordinária para o Desenvolvimento dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri e do Norte e Nordeste de Minas Gerais
SEGRH-MG	Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos de Minas Gerais
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SST	Sólidos em suspensão totais
ST	Sólidos totais
Turb	Turbidez
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
UPGRHs	Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

Sumário

1	Introdução.....	18
2	Objetivos	20
2.1	Objetivo Geral	20
2.2	Objetivos Específicos	20
3	Revisão Bibliográfica	21
3.1	Padrões de Qualidade de Água.....	21
3.1.1	Alcalinidade	28
3.1.2	Condutividade	29
3.1.3	Cloretos	29
3.1.4	pH.....	30
3.1.5	Cor e Turbidez	30
3.1.6	Sólidos	31
3.1.7	Nitrogenados	32
3.1.8	Fosfatos	33
3.1.9	Potássio	33
3.1.10	Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio	34
3.1.11	Oxigênio Dissolvido	34
3.1.12	Coliformes e Estreptococos Fecais	36
3.2	Área de Estudo	37
3.3	Tratamentos Estatísticos	42
3.3.1	Estatística descritiva	42
3.3.2	Correlação Linear de Pearson	42
4	Metodologia.....	44
4.1	Área de Estudo e Coleta dos Dados.....	44
4.2	Análises Estatísticas dos Dados.....	46
5	Resultados e Discussão.....	48
5.1	Estatística Descritiva e Análise Temporal e Sazonal	48
5.2	Análise de Correlação Linear	77

6	Conclusão	83
6.1	REFERÊNCIAS	85
	ANEXO A – Gráficos de dispersão e boxplot	93

1 INTRODUÇÃO

Desde o século XVIII, a região da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (BHRJ) tem sido ocupada e explorada por atividades de mineração de ouro e diamante, o que deixou um legado de impactos na qualidade dos recursos hídricos locais. A ocupação histórica e as atividades econômicas na BHRJ têm gerado desafios significativos para a gestão dos recursos hídricos. As práticas de exploração mineral e as mudanças na cobertura e no uso da terra resultaram em impactos negativos na qualidade dos corpos hídricos da região. Além disso, a falta de desenvolvimento socioeconômico adequado na região também influencia diretamente os desafios enfrentados na gestão dos recursos hídricos (RIBEIRO et al., 200; FERREIRA, 2007).

O balanço hídrico climatológico revela uma reduzida quantidade de chuvas e temperaturas elevadas, contribuindo para um regime hidrológico com baixa disponibilidade hídrica. Além disso, a implementação limitada de instrumentos de gestão, como a cobrança e outorga qualitativa, dificulta a preservação e conservação dos recursos hídricos na bacia do rio Jequitinhonha (FERREIRA e SILVA, 2012; RIBEIRO et al., 2007).

Para enfrentar esses desafios, é essencial adotar estratégias de gestão eficientes e aprimorar o monitoramento da qualidade da água na região. O monitoramento contínuo dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água é fundamental para obter informações precisas sobre a qualidade dos corpos hídricos, identificar possíveis impactos antrópicos e orientar ações de preservação e recuperação (VIANA et al., 2013).

Neste contexto, a gestão eficiente dos recursos hídricos se faz essencial para garantir a disponibilidade e a qualidade da água, um recurso vital para a sustentabilidade e o bem-estar da sociedade. O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) desempenha um papel de extrema importância. O IGAM tem com funções planejar e promover ações direcionadas à preservação da quantidade e da qualidade de recursos hídricos de Minas Gerais, desempenhando um papel fundamental na proteção, conservação e uso sustentável da água, assegurando assim o suprimento adequado e a qualidade desse recurso vital para as atuais e futuras gerações. (IGAM, 2005)

Portanto, a gestão eficiente dos recursos hídricos é fundamental para garantir a disponibilidade e qualidade da água. Isso inclui o monitoramento frequente e o registro histórico do seu uso, que são essenciais para entender e preservar esse recurso de forma assertiva. A Bacia do Jequitinhonha é um ecossistema valioso que requer atenção especial e a

implementação de ações sustentáveis para sua preservação e uso consciente. A bacia desempenha um papel crucial na disponibilidade de água para diversas atividades, como abastecimento humano, agricultura e indústria. O monitoramento frequente e o registro histórico do uso da água dessa região são fundamentais para compreender a demanda, identificar possíveis problemas e desenvolver estratégias de preservação eficazes. Além da sua importância ambiental, ela também possui relevância social e econômica, visto que suas águas são essenciais para o sustento das comunidades locais, atividades produtivas e desenvolvimento regional.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha no Baixo e Médio Jequitinhonha e as correlações entre os parâmetros de qualidade da água referentes ao período de 1997 a 2019.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a variabilidade dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha no período de 1997 a 2019.
- Realizar análise estatística dos parâmetros de qualidade da água em busca de correlações.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Padrões de Qualidade de Água

A água é um bem de domínio público, um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. O monitoramento e gestão dos recursos hídricos é de suma importância e tornou-se obrigatória pela Lei Federal Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, conhecida como Lei das Águas, com a qual foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Com a PNRH se almeja que seja assegurado à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Logo, há um conjunto de critérios, parâmetros e limites estabelecidos por normas e leis para garantir que a água esteja adequada para o consumo humano e outros usos.

A água é uma substância essencial para a vida, desempenhando um papel fundamental em praticamente todas as atividades humanas e sendo um componente indispensável tanto para a paisagem quanto para o meio ambiente. Ela é utilizada de diversas formas, desde a geração de energia elétrica até o abastecimento de residências e indústrias, além de ser fundamental na irrigação agrícola, na navegação, na recreação, na aquicultura, na piscicultura e na pesca. Além disso, a água também exerce funções essenciais no processo de absorção e tratamento dos resíduos de esgoto. (SETTI, 2001)

O estabelecimento de padrões de qualidade da água, com base nos teores máximos de impurezas permitidos em função do seu uso, desempenha um papel fundamental na proteção da saúde pública e na preservação dos recursos hídricos. Esses padrões, definidos por agências reguladoras e órgãos governamentais, fornecem diretrizes claras e específicas para garantir a segurança e a qualidade da água em diferentes contextos. Por meio da delimitação de limites aceitáveis para substâncias químicas, microrganismos e características físicas, os padrões de qualidade da água visam assegurar que a água atenda aos requisitos estabelecidos, protegendo a saúde humana e minimizando os impactos ambientais. Existem vários tipos de padrões de qualidade da água, cada um com sua finalidade específica, estando classificados em três categorias. Conforme cita, VASCONCELOS (2012), existem três principais tipos de padrões de qualidade da água: Padrão de corpos d'água, padrão de uso imediato e padrão de lançamento.

O padrão de corpos d'água refere-se aos critérios e limites estabelecidos para avaliar e classificar a qualidade da água em diferentes corpos hídricos, como rios, lagos, lagoas,

reservatórios, entre outros. Esses padrões são definidos com base em parâmetros físicos, químicos, biológicos e hidromorfológicos, e variam de acordo com os usos preponderantes desses corpos de água, conforme a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005.

O padrão de uso imediato refere-se aos critérios de qualidade estabelecidos para a água utilizada diretamente, sem passar por tratamento adicional, em diferentes atividades, como balneabilidade, irrigação, industrial e o de potabilidade, dentre os quais o último é o mais conhecido. O padrão de potabilidade define os critérios e limites de qualidade que a água destinada ao consumo humano deve atender, incluindo parâmetros microbiológicos, físicos e químicos, conforme a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. (VON SPERLING, 1996)

O padrão de lançamento de efluentes refere-se aos critérios e limites estabelecidos para o descarte de substâncias e resíduos líquidos provenientes de atividades industriais, comerciais e domésticas em corpos de água ou sistemas de tratamento de esgoto. Esses padrões são definidos com o objetivo de proteger a qualidade da água receptora e evitar a poluição e degradação dos recursos hídricos, conforme a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005.

A Resolução nº 357 de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece os padrões de qualidade das águas superficiais para diferentes usos no Brasil. A norma considera diversos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e biológicos, a fim de garantir que a qualidade da água seja adequada para o uso específico ao qual se destina. Para cada parâmetro, são estabelecidos valores máximos permitidos, que variam de acordo com a classe de enquadramento do corpo de água.

O enquadramento dos cursos d'água é um importante instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil. Ele tem como objetivo estabelecer metas de qualidade da água que devem ser alcançadas e mantidas ao longo do tempo. Essas metas são definidas com base nas características específicas de cada bacia hidrográfica e nos usos preponderantes das águas. Deste modo, o enquadramento é realizado por meio da classificação dos corpos d'água em diferentes categorias, levando em consideração os parâmetros físicos, químicos, biológicos e hidromorfológicos que são relevantes para cada uso, em que as classes de enquadramento podem variar de acordo com a região e as demandas específicas da bacia hidrográfica em questão. (BRASIL, 2020)

A Resolução CONAMA 357/2005, de fato, estabeleceu classes de qualidade da água considerando diferentes usos e dividindo as águas do território nacional em três categorias: águas doces, águas salobras e águas salinas, de acordo com os níveis de salinidade (Quadro 1). (BRASIL, 2020; SILVA, 2017)

Quadro 1 – Classes de enquadramento dos corpos de águas doces, salobras e salinas, quanto à qualidade requerida para seus usos preponderantes, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005

Categoria	Salinidade	Classe	Usos Preponderantes
Águas Doces	≤ 0,05%	Especial	Abastecimento para consumo humano com desinfecção, preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
		1	Abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e sejam ingeridas cruas sem remoção de película e proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
		2	Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer com contato direto do público, aquicultura e atividade de pesca.
		3	Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado, irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, pesca amadora, recreação de contato secundário e dessedentação de animais.
		4	Navegação e harmonia paisagística.
Águas Salinas	≥ 3,0%	Especial	Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral e preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
		1	Recreação de contato primário, proteção das comunidades aquáticas, aquicultura e atividade de pesca.
		2	Pesca amadora e recreação de contato secundário
		3	Navegação e harmonia paisagística.
Águas Salobras	maior que 0,05% e menor que 3,0%	Especial	Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral e preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
		1	Recreação de contato primário, proteção das comunidades aquáticas, aquicultura e atividade de pesca, ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado, irrigação de hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e sejam ingeridas cruas sem remoção de película e

Categoria	Salinidade	Classe	Usos Preponderantes
			irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer com contato direto do público.
		2	Pesca amadora e recreação de contato secundário
		3	Navegação e harmonia paisagística.

Em Minas Gerais, a qualidade da água é regulamentada pela Deliberação Normativa COPAM nº 08 de 21 de novembro de 2022, que estabelece a classificação e as diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais, além de definir as condições, padrões e parâmetros para o lançamento de efluentes em corpos de água receptores. Sendo assim, a Deliberação Normativa COPAM nº 08/2022 tem como objetivo principal garantir a proteção e preservação dos corpos d'água em Minas Gerais, estabelecendo critérios e limites para o lançamento de efluentes líquidos e as classes de qualidade dos corpos d'água, considerando seus diferentes usos, como abastecimento humano, irrigação, dessedentação de animais, recreação e preservação dos ecossistemas aquáticos. Além disso, a deliberação estabelece os padrões e parâmetros de qualidade da água que devem ser atendidos pelos efluentes lançados, define as diretrizes para o monitoramento da qualidade da água e estabelece as obrigações dos usuários de recursos hídricos em relação ao lançamento de efluentes.

A Constituição Estadual de Minas Gerais de 1989 delinea ações gerais para o gerenciamento e proteção dos recursos hídricos mineiros, assim a Lei 12.584/97 criou o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) – uma autarquia estadual de Minas Gerais –, que atualmente é vinculada à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), responsável pela gestão dos recursos hídricos no estado. Suas principais atribuições são a elaboração e a implementação de políticas, programas e projetos voltados para a gestão das águas, bem como a concessão e a fiscalização dos usos dos recursos hídricos. Além disso, o IGAM é responsável pela coordenação do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos de Minas Gerais (SEGRH-MG).

O monitoramento das águas no estado de Minas Gerais se deu início em 1977, apenas atuando nas bacias do Rio das Velhas, Paraopeba, Paraíba do Sul e, também, do Rio Verde. A Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), monitorou as águas do estado com apoio da rede de amostragem operada pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), bem como pela contratação dos serviços da GEOSOL – Geologia e Sondagens. A partir do ano de 1997, a FEAM aprimorou seu sistema de monitoramento de águas e estendeu seu projeto às

oito principais bacias hidrográficas mineiras, originando o projeto Águas de Minas. (IGAM, 2018).

O projeto Águas de Minas surgiu a partir da necessidade de promover a gestão integrada dos recursos hídricos em Minas Gerais, um estado que possui uma grande diversidade de bacias hidrográficas, mas que também enfrenta diversos desafios relacionados à disponibilidade e qualidade da água. O projeto vem para atender a uma das ações previstas na Lei 12.584/97, de criação do IGAM, em seu Art. 5º, inciso X – que estabelece que uma das atribuições do IGAM é a promoção de ações e programas de conservação e recuperação dos recursos hídricos, inclusive incentivo à pesquisa e à adoção de tecnologias de uso racional e conservação da água. (IGAM, 2018).

O projeto tem como foco principal a conservação e proteção dos mananciais de água utilizados para o abastecimento público, por meio da implementação de medidas de gestão sustentável dos recursos hídricos em áreas de preservação permanente, matas ciliares e bacias hidrográficas. Além disso, o projeto também visa promover a conscientização da população sobre a importância da conservação dos recursos hídricos e a adoção de práticas sustentáveis no uso da água. Entre as ações previstas no projeto, estão a recuperação de áreas degradadas, o monitoramento da qualidade da água, a elaboração de planos de bacias hidrográficas, o incentivo à agricultura sustentável, o apoio à regularização ambiental de propriedades rurais, entre outras iniciativas. (IGAM, 2018).

No estado de Minas Gerais há 36 Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs), regulamentadas pela legislação brasileira de recursos hídricos, especialmente pela Lei 9.433/97. As UPGRHs são fruto de uma demanda do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) ao IGAM, estabelecida pela Deliberação Normativa Nº 06/02 expedida pelo CERH. A Figura 1 a seguir apresenta o mapa do estado de Minas Gerais e delimitações das UPGRHs e suas respectivas bacias hidrográficas. (IGAM, 2021).

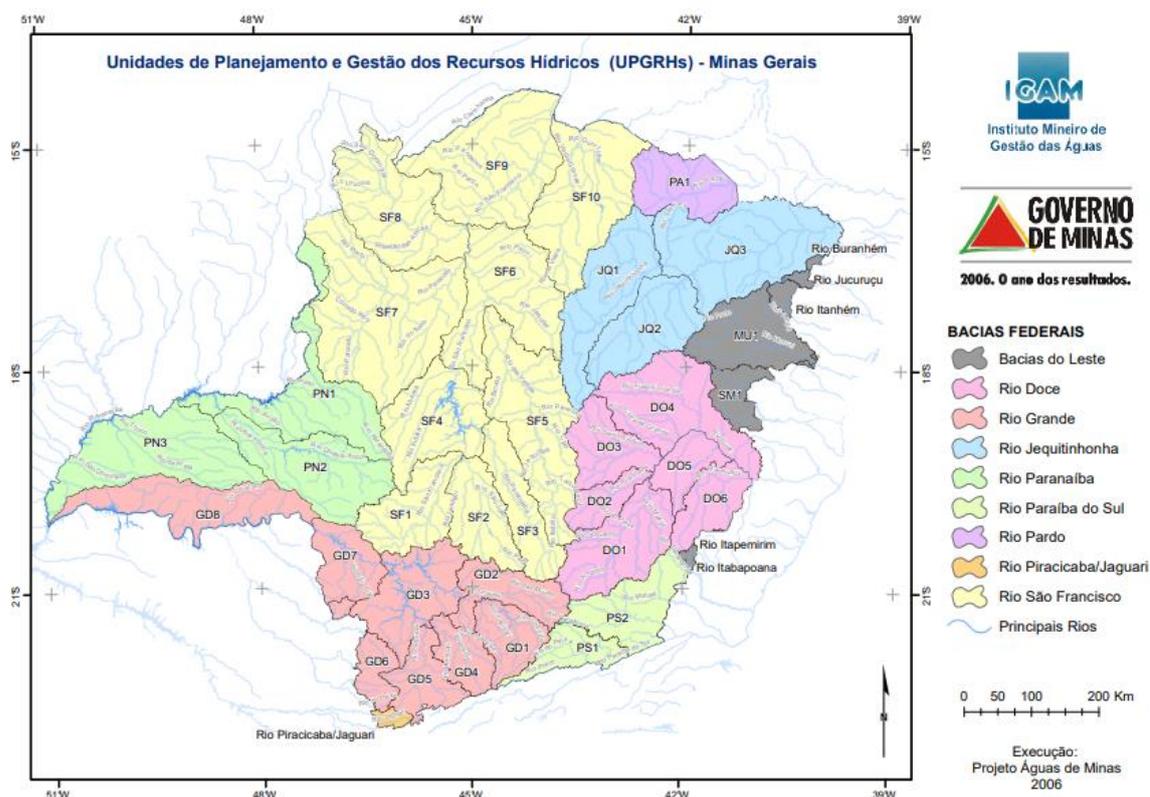


Figura 1 - Mapa das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos em Minas Gerais (UPGRHs)

A frequência das campanhas de amostragem é predominantemente trimestral para a maioria das estações de monitoramento, e são analisados cerca de 60 parâmetros de qualidade da água nas campanhas completas e 19 parâmetros nas campanhas intermediárias. Até o ano de 2007 havia cerca de 310 estações de amostragem, em que até os dias atuais tem o apoio do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) para as coletas e análises. Os parâmetros de qualidade da água nas campanhas completas estão indicados no Quadro 2 apresentado abaixo. (IGAM, 2018).

Quadro 2 - Parâmetros de qualidade da água utilizados nas campanhas de monitoramento do IGAM

Parâmetros de Qualidade da Água		
Alcalinidade total	Dureza total	Óleos e graxas
Alumínio dissolvido	Ensaio ecotoxicológico#	Oxigênio dissolvido*
Arsênio Dissolvido	Escherichia coli/ colif. termotolerantes*	Perfil Térmico#
Arsênio total	Estanho total	pH in loco*
Bário total	Fenóis totais	Potássio dissolvido
Boro total	Feoftina a*	Saxitoxina#
Cádmio total	Ferro dissolvido	Selênio total
Cálcio total	Ferro total	Sódio dissolvido

Parâmetros de Qualidade da Água		
Chumbo total	Fitoplâncton#	Sólidos dissolvidos totais*
Cianeto Livre	Fósforo total*	Sólidos em suspensão totais*
Cloreto total*	Macroinvertebrados bentônicos#	Sólidos sedimentáveis
Clorofila a*	Magnésio total	Sólidos totais*
Cobre dissolvido	Manganês total	Substâncias tensoativas
Coliformes totais*	Mercúrio total	Sulfato total
Condutividade elétrica in loco*	Microcistina#	Sulfeto
Cor verdadeira	Níquel total	Temperatura da água*
Cromo total	Nitrato*	Temperatura do ar*
Demanda Bioquímica de Oxigênio*	Nitrito	Transparência da água
Demanda Química de Oxigênio*	Nitrogênio amoniacal total*	Turbidez*
Densidade de cianobactérias#	Nitrogênio orgânico	Zinco total

*Parâmetros comuns a todos os pontos nas campanhas intermediárias; # Parâmetros analisados apenas em pontos específicos.

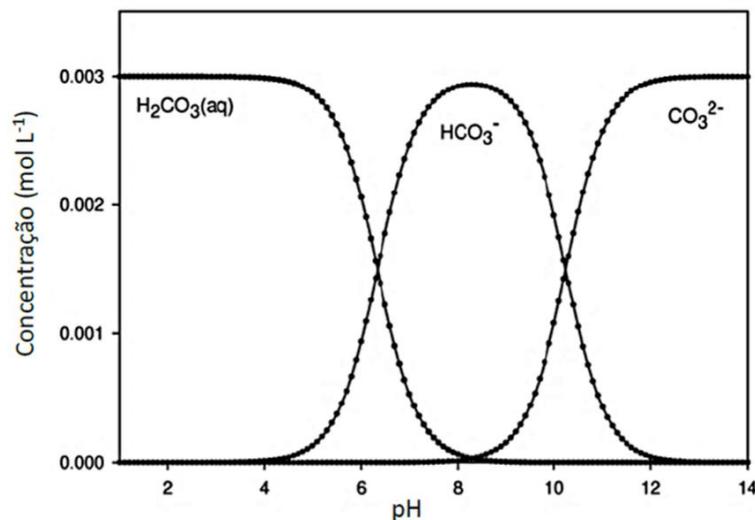
Fonte: IGAM, 2021. Adaptado.

O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) utiliza três índices como indicadores de qualidade da água: o Índice de Qualidade da Água (IQA), a Contaminação por Tóxicos (CT) e o Índice de Estado Trófico (IET). Entre esses índices, o IQA desempenha um papel crucial na avaliação da qualidade dos corpos de água. A Contaminação por Tóxicos (CT) avalia a presença de substâncias prejudiciais à saúde humana e aos organismos aquáticos, enquanto o Índice de Estado Trófico (IET) avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo do fitoplâncton. O Índice de Qualidade da Água (IQA) é uma medida abrangente que leva em consideração diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos para avaliar a qualidade da água. Ele fornece uma visão geral da saúde dos ecossistemas aquáticos e é calculado a partir da análise de fatores como oxigênio dissolvido, *E. Coli* (substituindo os coliformes termotolerantes a partir de 2013), pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitratos, fosfato total, variação da temperatura, turbidez e sólidos totais. O IQA atribui uma pontuação de 0 a 100 para a qualidade da água, sendo que valores mais altos indicam uma melhor qualidade. Portanto, o IQA é uma ferramenta importante para monitorar e avaliar a qualidade da água, auxiliando na tomada de decisões para a proteção e preservação dos recursos hídricos. (IGAM, 2021)

3.1.1 Alcalinidade

A alcalinidade é a medida total de substâncias presentes no corpo d'água que são capazes de neutralizar ácidos, logo, expressa a capacidade de tamponamento do corpo d'água. Em águas naturais a alcalinidade pode vir da presença de sais de ácidos fracos, carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos e ocasionalmente, silicatos e fosfatos. A distribuição das três formas se dá em função do seu pH. Os bicarbonatos se encontram na faixa de 4,3 a 8,3; entre 8,3 e 9,4 há os carbonatos e bicarbonatos; e em pH maior que 9,4 encontram-se hidróxidos e carbonatos (Figura 2). Logo, na maior parte dos ambientes aquáticos, a alcalinidade é indicada principalmente pela presença de bicarbonatos. (MACEDO, 2007; ESTEVES, 2011; FUNASA, 2014)

Figura 2 - Concentração de espécies do carbonato de cálcio (mol L^{-1}) em função da variação do pH



Fontes: Farias, 2017.

A origem natural da alcalinidade pode ser devido à dissolução de rochas ou da reação do dióxido de carbono (CO_2), advindo da atmosfera ou da decomposição da matéria orgânica. Mas, de acordo com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), valores altos de alcalinidade estão associados aos processos de decomposição da matéria orgânica e à alta taxa respiratória de micro-organismos, com liberação e dissolução do gás carbônico na água. MANAHAN (2013) cita que água de alta alcalinidade apresenta elevados níveis de sólidos dissolvidos e, por

regra, possuem pH alto, (LENZI et al., 2014; PIVELI et al., 2006; VON SPERLING, 1996; FUNASA, 2014)

3.1.2 Condutividade

A condutividade diz sobre a concentração de íons presentes na água que possam conduzir corrente elétrica. Ou seja, é possível inferir a presença de íons advindos de substâncias polares que, geralmente, são sais inorgânicos dissolvidos na água, como cloretos, sulfetos, carbonatos e fosfatos. Logo, a condutividade pode ser definida como a medida da capacidade da água em conduzir corrente elétrica, em que seus valores são expressos na unidade de micro Siemens ($\mu\text{S cm}^{-1}$), que é o inverso da resistividade elétrica, medida em $\Omega \text{ m}$ (ohms metro) (MACEDO, 2007; ESTEVES, 1998).

A condutividade elétrica é um dos parâmetros de rápida determinação mais comuns e úteis na medida da qualidade da água e mantém um valor aproximadamente constante de condutividade. Flutuações na condutividade elétrica da água podem indicar perturbações no sistema, sejam elas de origem natural, como inundações e secas, ou causadas por interferência humana, como o despejo de efluentes, incluindo poluentes. A condutividade elétrica da água varia de acordo com a sazonalidade, sendo menor no período chuvoso devido à diluição dos íons. Por outro lado, os lançamentos de efluentes industriais podem aumentar os valores da condutividade elétrica independentemente da sazonalidade. (ALVES, 2016; ESTEVES, 2011)

3.1.3 Cloretos

O cloreto (Cl^-) é um dos principais ânions inorgânicos em águas naturais e residuais, se tornando muito importante na produtividade global dos ecossistemas aquáticos, pois faz parte de importantes processos fisiológicos como a troca e transporte de outros íons para os meios intracelular e extracelular. Contudo, sua alta concentração pode afetar o desenvolvimento de plantas, como também pode causar danos à saúde pública, causando, entre outras doenças,

hipercloremia, doenças renais e desidratação na população. Geralmente, estão presentes na forma de cloretos de sódio, cálcio e magnésio. (FREITAS, 2001; ZÜGE, 2020)

A presença de cloretos em quantidades variadas é uma característica comum das águas naturais. Esses íons são resultantes da dissolução de sais presentes no solo e nas rochas, sendo carregados para os mananciais e corpos d'água por processos naturais. Segundo MACEDO (2007), os cloretos são encontrados em baixa concentração em águas naturais, mas altas concentrações caracterizam a presença de contaminação por esgotos sanitários. (LENZI et al., 2014)

3.1.4 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma grandeza que indica o grau de acidez, alcalinidade ou neutralidade, utilizando para isso a concentração do íon hidrônio no meio aquático. A água é uma substância capaz de dissolver outras substâncias químicas, as quais apresentam relevância na determinação de sua qualidade. Quando em meio ácido, a solubilidade de inúmeras substâncias aumenta, ocasionando a diluição de rochas, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, absorção de gases, bem como a distribuição das formas livre e ionizadas de diversos compostos químicos. Consequentemente haverá o aumento do potencial de toxicidade de vários elementos, além disto, o teor de oxigênio poderá abaixar, favorecendo o fenômeno de eutrofização. (PEREIRA, 2004; LIBÂNIO, 2010; FUNASA, 2014)

3.1.5 Cor e Turbidez

A qualidade visual de um corpo d'água é diretamente afetada pelos parâmetros cor e turbidez. Além disso, esses parâmetros são essenciais para o tratamento da água de abastecimento. A turbidez é a medida da concentração de partículas suspensas na água que impedem a passagem da luz, como sedimentos, argila, micro-organismos e produtos químicos. Essa medida pode ser realizada por meio de um turbidímetro, que detecta o desvio de luz causado pelas partículas e apresenta o resultado em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT).

No entanto, a turbidez pode ter origem antrópica, por meio de despejos domésticos e industriais e processos de erosão. (MACEDO, 2007; VON SPERLING, 2018)

Por outro lado, a intensidade da cor da água é influenciada pela presença de substâncias de origem mineral e orgânica em diferentes concentrações. Essas substâncias são responsáveis por conferir maior ou menor intensidade à coloração da água. Segundo a Secretaria de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2006), a cor da água é resultado da interação da luz com partículas coloidais finamente dispersas, com dimensões inferiores a 1 μm , presentes na água. Essas partículas, conhecidas como colóides, podem ser compostas por substâncias orgânicas ou minerais e têm influência direta na coloração da água. A cor é uma característica visual da água que pode ser percebida devido à presença de substâncias dissolvidas e partículas coloidais em suspensão. Dependendo da composição dessas substâncias e partículas, a água pode apresentar uma ampla gama de cores, como amarelo, marrom, verde ou azul. Essas cores são determinadas pelos componentes específicos presentes na água e podem variar em intensidade e tonalidade. (FUNASA, 2014).

A cor da água é influenciada pelos processos de decomposição no meio ambiente, como plâncton e despejos industriais, além dos íons metálicos como ferro e manganês. Ela pode ser dividida em cor verdadeira e cor aparente, sendo a cor verdadeira relacionada às substâncias dissolvidas e a cor aparente incluindo também partículas em suspensão. A cor verdadeira varia em tons de amarelo, verde e acastanhado, sendo medida em unidades de Hazen (uH), enquanto a cor aparente é medida em unidades nefelométricas de turbidez (UNT). Essas distinções são relevantes para compreender a qualidade visual e a composição química da água. (MACEDO, 2007 apud BRANCO, 1991; MACEDO, 2007 apud APHA, 1998)

3.1.6 Sólidos

A concentração de sólidos é um parâmetro importante, possuem composição orgânica e inorgânica presente no curso d'água e oferece uma visão semiquantitativa das diferentes partículas com relação ao tamanho, dividindo-as em sólidos em suspensão ou sólidos dissolvidos. Além disso, oferece uma visão semiquantitativa com relação à natureza química, subdividido em: Sólidos fixos ou inorgânicos e sólidos voláteis ou orgânicos. O aumento da concentração de sólidos suspensos está correlacionado com o aumento da turbidez da água, diminuindo a penetração da luz solar e reduzindo a taxa de fotossíntese dos organismos, como

algas e alguns procariontes. Já o aumento da taxa de sedimentação no fundo dos corpos hídricos pode afetar as características dos sedimentos, pois estes podem conter altas frações de matéria orgânica causando o aumento da atividade aeróbia, ou seja, o aumento do consumo de oxigênio. (MACEDO, 2007; BRASIL, 2006; FUNASA, 2014)

3.1.7 Nitrogenados

Existem diversas formas de nitrogênio presentes na natureza. A decomposição da matéria orgânica nitrogenada em ambientes redutores leva à formação de nitrogênio amoniacal nas águas. O nitrogênio amoniacal está presente na água na forma de amônia livre (NH_3) e do íon amônio (NH_4^+), em que sua concentração está correlacionada à soma desses dois compostos. No meio aquático, o nitrogênio amoniacal é oxidado a nitrito (NO_2^-) através do grupo de bactérias nitrossomonas e, posteriormente, a nitrato (NO_3^-) através das nitrobactérias. Esse processo implica no consumo de oxigênio dissolvido do meio, o que pode afetar a vida aquática. A presença de altas concentrações de nitrogênio pode levar ao fenômeno da eutrofização, geralmente causado pela entrada de esgoto e outros resíduos orgânicos. (MACEDO, 2007 apud GLAGLIANOME e BASTOS, 1988; SISTE et al., 2011; Esteves, 1998)

O nitrogênio nos corpos d'água pode ocorrer nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. A existência de compostos de nitrogênio nos seus diversos estados de oxidação é indicador de contaminação por possíveis condições sanitárias. Segundo Von Sperling (2018) pode-se identificar o estágio de poluição num curso hídrico observando a forma predominante do nitrogênio. Se este estiver na forma de nitrogênio orgânico ou amônia, indica que a poluição é recente. Já se o nitrogênio estiver na forma de nitrato ou nitrito é porque a poluição é antiga. (ALABURDA & NISHIHARA, 1998)

O nitrogênio, bem como o fósforo e potássio são nutrientes vegetais presentes no solo e se fazem muito importantes para agricultura, sendo constantemente adicionados aos solos como fertilizantes. O íon nitrato é a forma de nitrogênio que mais está disponível para as plantas e não forma ligações fortes com o solo e, logo, é facilmente transportado para águas superficiais e subterrâneas. (MANAHAN, 2013)

3.1.8 Fosfatos

O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento das plantas e, portanto, para a cadeia alimentar aquática e por muitas vezes é o elemento limitante nos ecossistemas. Assim, como o nitrogênio, o fósforo precisa estar na forma inorgânica simples para ser absorvido pelas plantas. De modo geral, a quantidade de fósforo usado como fertilizante que é lixiviado do solo é pequena. No entanto, quando há um excesso de fósforo nos corpos d'água, isso pode levar a problemas de eutrofização, que é o crescimento excessivo de algas e outros organismos aquáticos. A proliferação excessiva de algas traz por consequência a decomposição de biomassa vegetal, consumindo uma maior concentração de oxigênio dissolvido. O excesso de fósforo em corpos d'água geralmente é causado pelo lançamento de esgoto e fertilizantes em rios, lagos e oceanos. (MANAHAN, 2013)

Segundo ESTEVES (1998) “toda forma de fósforo presente em águas naturais encontra-se sob a forma de fosfato”. Os fosfatos podem se apresentar sobre três principais formas, ou frações: fosfato particulado, fosfato orgânico dissolvido e fosfato inorgânico dissolvido. O último se faz mais importante, pois é a principal fração assimilada pelos vegetais aquáticos. Geralmente, o fosfato inorgânico dissolvido é encontrado na forma de ortofosfato (PO_4^{3-}), mas se encontra comumente sobre as formas iônicas H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , devido à faixa de pH dos corpos d'água. (ESTEVES, 1998)

3.1.9 Potássio

O potássio é um elemento químico muito comum na natureza e é encontrado em muitas rochas, minerais e solos. É um elemento essencial ao crescimento vegetal, sendo utilizado como fertilizante. Em ambientes aquáticos, o potássio é geralmente encontrado em baixas concentrações, isso ocorre porque a maioria das fontes de potássio, como rochas e solos, sofrem resistência às ações do tempo. O potássio é um elemento químico usualmente encontrado em sua forma iônica e seus sais são altamente solúveis. Assim, o potássio pode ser um indicador da qualidade da água, uma vez que sua concentração está relacionada com a presença de outros elementos químicos e nutrientes que afetam o equilíbrio ecológico e a saúde dos ecossistemas

aquáticos. Entretanto, também é possível que a presença de potássio seja atribuída a atividades humanas, como a agricultura, a mineração e a descarga de efluentes industriais e domésticos. (MANAHAN, 2013; CETESB, 2016)

3.1.10 Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um parâmetro que mede a quantidade de oxigênio consumida pelos organismos aeróbicos durante a decomposição da matéria orgânica na água. Essa atividade metabólica dos microrganismos aeróbicos resulta na oxidação bioquímica da matéria orgânica presente na água. Já a Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um parâmetro associado a quantidade de matéria oxidável em uma amostra de água ou efluente. É um indicador indireto da carga orgânica presente em uma amostra e é determinado medindo a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente. O aumento do teor de matéria orgânica pode ocasionar a extinção de organismos aeróbicos, reduzindo a concentração de oxigênio dissolvido. Em suma, os valores de DQO são mais elevados do que os valores de DBO, pois incluem a oxidação química de toda a matéria orgânica, inclusive aquela que não é prontamente biodegradável. Essa diferença aumenta quando há um aumento na quantidade de material orgânico resistente à degradação biológica presente na amostra de água. A DQO e a DBO são frequentemente usadas em conjunto para avaliar a biodegradabilidade de despejos industriais e esgotos sanitários. (LENZI, 2014; FUNASA, 2014; VON SPERLING, 1996)

3.1.11 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é um importante indicador da qualidade da água, sendo de grande importância na dinâmica e caracterização de um ecossistema aquático. As perdas de oxigênio dissolvido podem ocorrer devido ao consumo resultante da decomposição da matéria orgânica, bem como pela perda para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos. Logo, as concentrações de oxigênio dissolvido são influenciadas

por fatores físicos, químicos e biológicos presentes nos corpos d'água, podendo ocorrer variações ao longo do tempo. Durante a degradação da matéria orgânica, as bactérias utilizam o oxigênio para seus processos metabólicos, podendo levar à diminuição da concentração de oxigênio dissolvido na água. Essa redução pode ser prejudicial para a vida aquática, podendo levar à morte de diversas espécies, incluindo peixes. Quando ocorrem processos que consomem oxigênio na água, o nível de oxigênio dissolvido pode diminuir rapidamente, podendo se aproximar de zero. Se a concentração de oxigênio dissolvido for completamente esgotada, pode ocorrer condições anaeróbicas, caracterizadas pela ausência de oxigênio e produção de odores desagradáveis, devido à produção de gases reduzidos como NH_3 e H_2S . (ESTEVES, 1998; MANAHAN, 2013; FUNASA, 2014)

A concentração de oxigênio dissolvido em águas limpas deve estar acima de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, geralmente entre 8 e 10 mg L^{-1} . Valores acima de 10 mg L^{-1} indicam supersaturação, o que pode ocorrer em águas no estágio inicial de eutrofização, isso ocorre principalmente em lagos e represas em que há o excessivo crescimento de algas. Concentrações abaixo de 3 mg L^{-1} indicam estresse hídrico, enquanto valores abaixo de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ podem ser letais para muitas espécies. Esses valores são usados como padrões para avaliar a qualidade da água em relação ao oxigênio dissolvido. (ANA, 2017; BARBOSA, 2010 apud OHREL e REGISTER, 2006)

A temperatura, a salinidade e a pressão atmosférica são fatores que afetam a concentração de oxigênio na água. Quando a temperatura e a salinidade aumentam, a concentração de saturação de oxigênio diminui, como pode ser observado na tabela 1 abaixo. Neste caso a salinidade é traduzida pela concentração de cloretos. (MANAHAN, 2013; ARAÚJO, 2013 apud AGUDO, 1992)

Tabela 1 - Oxigênio dissolvido (mg L^{-1}) em função da temperatura e teor de cloretos nas CNTP

Temperatura °C	Cloretos (mg L^{-1})				
	0	5.000	10.000	15.000	20.000
0	14,6	13,8	13,0	12,1	11,3
2	13,8	13,1	12,3	11,5	10,8
4	13,1	12,4	11,7	11,0	10,3
6	12,5	11,8	11,1	10,5	9,8

Temperatura °C	Cloratos (mg L ⁻¹)				
	0	5.000	10.000	15.000	20.000
8	11,9	11,2	10,6	10,0	9,4
10	11,3	10,7	10,1	9,6	9,0
15	10,2	9,7	9,1	8,6	8,1
20	9,2	8,7	8,3	7,9	7,4
25	8,4	8,0	7,6	7,2	6,7
30	7,6	7,3	6,9	6,5	6,1
35	7,1	6,7	6,4	6,0	5,6

Fonte: MACEDO, 2007

A solubilidade do oxigênio na água diminui com o aumento da altitude devido à redução da pressão atmosférica, o que resulta em uma diminuição da pressão parcial do oxigênio. Isso afeta a capacidade da água em reter oxigênio dissolvido. A temperatura é o fator mais importante no controle da solubilidade do oxigênio. A solubilidade dos gases na água diminui com o aumento da temperatura. Por exemplo, a quantidade de oxigênio dissolvido a 0 °C é mais do que o dobro da quantidade de oxigênio dissolvido a 35 °C. Isso significa que a água fria tem uma capacidade maior de dissolver oxigênio em comparação com a água quente. A salinidade da água também influencia a capacidade de dissolução do oxigênio. Um aumento na salinidade reduz a solubilidade do oxigênio na água. Portanto, a presença de minerais ou altas concentrações de sais dissolvidos, devido a atividades poluidoras, pode afetar o teor de oxigênio dissolvido na água, mesmo que em menor proporção do que a temperatura. (FIORUCCI, 2005)

3.1.12 Coliformes e Estreptococos Fecais

Além dos parâmetros químicos e físicos, os parâmetros microbiológicos se fazem muito importantes na avaliação da qualidade da água. Os coliformes totais, coliformes fecais e estreptococos fecais são bactérias comumente usadas como indicadores de poluição fecal em corpos d'água. Os estreptococos são bactérias esféricas Gram-positivas que pertencem ao

gênero *Streptococcus*. Assim como os coliformes, existem várias espécies de estreptococos que não são patogênicas e fazem parte da microbiota humana, encontradas na boca, pele, intestino e trato respiratório superior. Os enterococos são um subgrupo dos estreptococos fecais que incluem as espécies *Streptococcus Faecalis*, *S. faecium*, *S. avium* e *S. gallinarum*. Desta forma, os enterococos são amplamente reconhecidos como um indicador mais específico da qualidade sanitária das águas em comparação com os estreptococos fecais como um grupo total. As bactérias do grupo coliforme podem ser indicadores de contaminação fecal em corpos d'água, pois sua presença pode indicar a presença de poluentes orgânicos e patógenos prejudiciais à saúde humana. As doenças relacionadas à água geralmente são transmitidas através de patógenos presentes nas fezes humanas ou animais. Esses patógenos podem entrar em corpos d'água e contaminar a água potável, inviabilizando o consumo. (FRANCO, 2003; CETESB, 2019; BRASIL, 2006; MATTHIENSEN, 2014)

3.2 Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha (BHRJ) é uma área de aproximadamente 70.315 km², localizada principalmente no nordeste do Estado de Minas Gerais e em uma pequena porção do sudeste da Bahia. A bacia é dividida em três Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs). A UPGRH do Alto Rio Jequitinhonha (JQ1) abrange 10 municípios, estendendo-se desde Grão Mogol-MG até Diamantina-MG, com uma área de drenagem de 19.803 km². A UPGRH do Rio Araçuaí (JQ2) abrange 21 municípios, situando-se entre as cidades de Diamantina-MG e Capelinha-MG, com uma área de drenagem de 16.273 km². A UPGRH do Médio e Baixo Rio Jequitinhonha (JQ3) abrange 29 municípios, incluindo cidades como Araçuaí-MG, Jequitinhonha-MG e Almenara-MG, com uma área de drenagem de 29.774 km² (Figura 3).

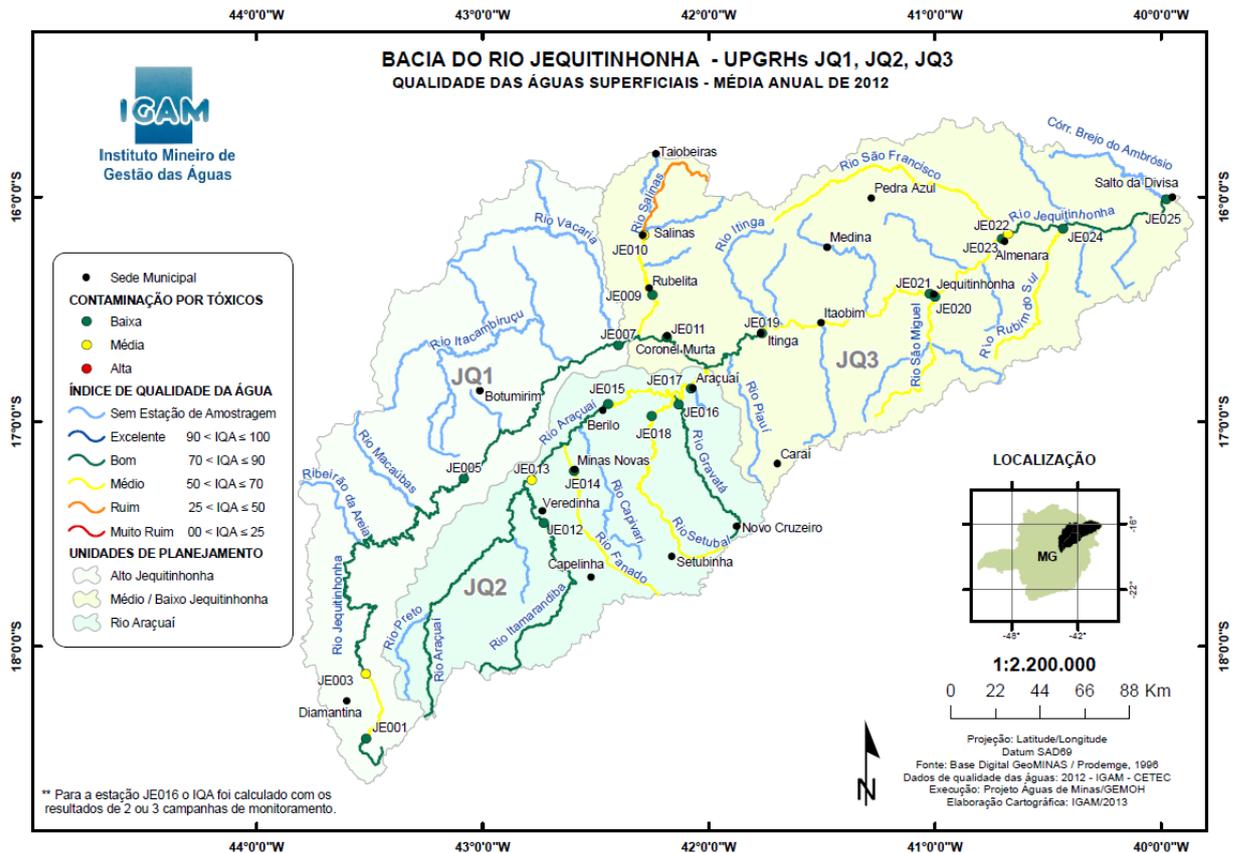


Figura 3 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha

O Vale do Jequitinhonha foi inicialmente povoado pelos europeus e seus descendentes a partir do século XVIII, na sua porção alta, durante os ciclos do ouro e do diamante, nas partes que abrangiam a Comarca do Serro Frio, parte do Termo de Minas Novas e a Demarcação Diamantina. A decadência da mineração forçou a diversificação econômica, que se voltou então para as atividades de pecuária e lavoura. Por consequência, houve o deslocamento dos colonizadores para a região do Médio e Baixo Jequitinhonha, a fim de controlar a navegação dos rios da região. (IEPHA, 2014)

A BHRJ é caracterizada por ser uma região com uma geomorfologia de planaltos e depressões, possuindo um clima que varia do semiárido à úmido. Esse tipo de clima é caracterizado por temperaturas elevadas durante todo o ano e por chuvas concentradas em um período curto, geralmente no verão, com longos períodos de estiagem. As médias pluviométricas anuais estão compreendidas entre 600 e 1.600 mm e a temperatura média em torno de 21 a 24°C. O balanço hídrico da bacia caracteriza importantes restrições no que diz respeito à capacidade de armazenamento hídrico do solo (FERREIRA, 2009; SILVA, 2012).

O principal rio da BHRJ é o Jequitinhonha, este tem sua nascente na Serra do Espinhaço, no município de Serro (MG), a aproximadamente 1.300 metros de altitude. O rio deságua no

oceano atlântico, no município de Belmonte, no extremo sul da Bahia, depois de percorrer 920 km. No seu percurso, dos quais 760 km estão em Minas Gerais e 160 km no estado baiano, atravessa litologias do Supergrupo Espinhaço, Grupo Macaúbas, substrato cristalino e Formação Barreiras, esta última somente no estado baiano. A geologia regional é bastante diversificada, uma vez que a área abrange grandes extensões. Sendo este contexto abrangido pelo Orógeno Araçuaí, em que apenas uma pequena faixa na porção sudoeste da bacia com algumas unidades pertencentes ao Cráton São Francisco, totalizando 21 unidades litológicas. (IGAM, 2010; FERREIRA, 2009; SILVA, 2021)

Foram identificadas na região as seguintes associações de solos dominantes: Argissolos, Cambissolos e Latossolos, além de Luvisolos e Nitossolos, que possuem menor representatividade. Os biomas predominantes são o Cerrado, Mata Atlântica e, em menor contribuição, Caatinga. Já a cobertura vegetal é formada por Savanas, Florestas Ciliares e Florestas Estacionais. Segundo Ferreira (2007), a cobertura vegetal natural foi substituída em grande parte por monoculturas de eucalipto, pastagens e culturas agrícolas. A agropecuária, em especial a pecuária de corte, desempenha um papel central na economia, tornando-se a base da economia regional. (GAMA, 2013; FERREIRA, 2007)

A região foi alvo de importantes projetos de transformação, que visavam a exploração de seus recursos naturais, incluindo a criação de plantações de eucalipto, atividades mineradoras e a construção de barragens. Um dos maiores empreendimentos da região é a Usina Hidrelétrica (UHE) de Irapé, ou Usina Hidrelétrica (UHE) Presidente Juscelino Kubitschek, localizada nos municípios de Berilo e Grão Mogol. Inaugurada no ano de 2006, a usina localiza-se no rio Jequitinhonha e é a barragem mais alta do Brasil, com 205 metros de altura. O empreendimento atingiu 51 comunidades camponesas, levando ao realojamento de cerca de cinco mil pessoas e afetando outros milhares. (COSTA et. Al, 2020; GALIZONI, 2013)

O monitoramento da qualidade das águas na BHRJ teve início em 1997, com o projeto Águas de Minas, com a instituição de 13 pontos de amostragem distribuídos pelas UGRHs JQ1, JQ2 e JQ3. Segundo IGAM (2021), o número total atual de estações de amostragem no JQ é de 49 estações. No ano de 1998, o IQA do rio Jequitinhonha foi considerado como tendo IQA Médio em quase toda a bacia. Observou-se que o parâmetro de pH pendeu para valores ácidos no período chuvoso e básicos no período de seca. Assim como o parâmetro de pH, os parâmetros de turbidez e sólidos em suspensão também apresentaram uma variação sazonal acentuada, com valores elevados no período chuvoso. Bem como, também apresentaram variação sazonal, os parâmetros fósforo total e coliformes fecais. No rio Salinas, foi observado

uma elevada concentração de nitratos, indicando oxidação da matéria nitrogenada, associada então ao lançamento de esgotos sanitários. (FEAM, 1999).

Conforme IGAM (2002), o IQA do rio Jequitinhonha no ano de 2001 foi classificado como médio até a estação JQ019, a partir daí o rio apresentou IQA classificado como bom. O IQA médio foi resultado da contribuição dos parâmetros de coliformes fecais, cor, fosfato total, pH, sólidos em suspensão e turbidez. Magalhães (2019) afirma que os parâmetros de qualidade da água que mais influenciaram os resultados de IQA ao longo do período de 1999 a 2001 foram Coliformes Termotolerante / *E.Coli*, Oxigênio Dissolvido (OD), Turbidez e Sólidos Totais, com ênfase no período chuvoso. O parâmetro de coliformes fecais foi considerado crítico nas estações próximas à cidade de Diamantina, podendo ser associado ao lançamento de esgotos sanitários. O fosfato, no entanto, foi observado acima do limite em todos os trechos do rio Jequitinhonha, associado também ao lançamento de esgotos sanitários. Na campanha realizada no período chuvoso, observou-se resultados elevados dos parâmetros de turbidez e cor, ao longo de todo o trecho do rio. O rio Salinas, importante afluente do rio Jequitinhonha, apresentou contaminação por coliformes fecais, bem como ocorrência de turbidez e cor acima dos limites permitidos na legislação, em que os últimos podem ser decorrentes das indústrias têxteis e minerárias na região. (IGAM, 2002)

Segundo IGAM (2008), o IQA do rio Jequitinhonha no ano de 2007 foi em sua maioria bom. Nas estações próximas às cidades de Jequitinhonha, Almenara e Salto da Divisa foram observados coliformes termotolerantes acima do limite, bem como fósforo total. Além da desconformidade dos parâmetros de turbidez e cor, ao longo de todo rio Jequitinhonha. Já o rio Salinas, esteve com os parâmetros de OD e fósforo acima dos limites, em função dos lançamentos de esgoto sanitário no município. Bem como de turbidez, cor e manganês total, também acima dos limites, em decorrência provavelmente da falta de cobertura vegetal associada a práticas agrícolas inadequadas. Além disso, observou-se no rio Salinas alta contaminação por tóxicos, devido à presença de chumbo total e cromo total em concentrações elevadas, o que foi atribuído a atividades minerárias na região.

No ano de 2010, a Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional e Urbano (SEDRU) e a Secretaria de Estado Extraordinária para o Desenvolvimento dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, e do Norte e Nordeste de Minas Gerais (SEDEVAN) firmaram parceria e criaram o Programa de Saneamento Ambiental para Pequenas Comunidades no Estado de Minas Gerais (SANEAR). O SANEAR teve como um dos seus intuitos, a implantação de sistemas de tratamento de esgoto sanitário. No estado, o percentual da população atendida pela coleta sanitária no de 2021 foi de 87,64%, no entanto, 53% da população foi contemplada com

o tratamento sanitário. Quase a totalidade da JQ3 não possui sistema de coleta e tratamento de esgotos, e quando possui, ele não supre adequadamente. As cidades em que são observados extravasamentos de esgoto são: Almenara, Medina e Salinas. (GAMA, 2013; SEMAD 2021)

Em 2013, na sub-bacia JQ3 observou-se que os parâmetros cor verdadeira, turbidez, manganês total, coliformes termotolerantes e sólidos em suspensão totais estavam em desconformidade. Eles são associados à presença de matéria orgânica e fecal, bem como às atividades agrícolas e minerárias. Sobretudo, observou-se uma piora da qualidade das águas no período chuvoso, em que ocorre então o aporte de poluentes de origem difusa, devido ao carreamento superficial de material do solo. A pior condição de qualidade da água foi observada próximo aos municípios de Salinas e Almenara. (GAMA, 2013)

Em 2021, uma das melhores condições de IQA observada em todo o estado de Minas Gerais foi na bacia do rio Jequitinhonha. No entanto, o maior registro de IQA Muito Ruim também foi observado, nas estações JE008 e JE029, situadas nas cidades de Pedro Carvalho e Medina, respectivamente. Na estação JE008 o IQA Muito Ruim foi atribuído a desconformidade dos parâmetros de *Escherichia coli* (*E. Coli*), oxigênio dissolvido e na estação JE029 foi atribuído devido à desconformidade dos parâmetros de *E. Coli*, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato e fósforo. Ao longo do rio Jequitinhonha os parâmetros de cobre dissolvido, fósforo total, nitrato e *E.Coli* se apresentaram em desconformidade com os limites. Os resultados observados, confirmam a associação – ao longo de todo o período de 1998 a 2021 – com o lançamento de esgotos sanitários. Além disso, reitera que a qualidade das águas pode ter sido agravada também pelas atividades agropecuárias, pecuárias, bem como, as cargas difusas, processos erosivos e o assoreamento, que continuam a contribuir para a má qualidade das águas. (IGAM, 2021)

O monitoramento da qualidade das águas torna-se então questão de saúde pública, salientando-se então a importância de acompanhar as tendências de evolução no tempo de um conjunto de características de um sistema, possibilitando a identificação de medidas preventivas. Assim, o monitoramento da qualidade das águas é o conjunto de práticas que visam o acompanhamento de determinadas características de um sistema, sempre associado a um objetivo. Para isso, são acompanhadas alterações nas características físicas, químicas e biológicas do corpo d'água. Esse acompanhamento é feito com a coleta de dados em pontos estratégicos e específicos, com determinada regularidade de tempo, sendo possível mensurar importantes índices de qualidade. A crescente urbanização e a concentração demográfica nos grandes centros populacionais têm contribuído de forma crescente para a deterioração da

qualidade da água. Assim, faz-se essencial um programa de monitoramento para a gestão eficaz dos recursos hídricos. (MOROTTA et al., 2008; IGAM, 2008)

3.3 Tratamentos Estatísticos

3.3.1 Estatística descritiva

A análise estatística descritiva dos dados deve ser considerada como uma etapa preliminar essencial para conhecer o banco de dados em estudo e pode fornecer informações valiosas para a interpretação dos resultados. A análise descritiva, conhecida também como análise exploratória, é o primeiro passo na análise de um conjunto de dados. Seu objetivo é descrever os dados por meio do cálculo de medidas resumo, criação de tabelas e elaboração de gráficos. Essa etapa é fundamental para obter uma compreensão inicial dos dados, identificar padrões e realizar interpretações preliminares. As medidas de posição, também conhecidas como medidas de tendência central, são utilizadas para identificar um valor representativo que melhor descreve o conjunto de dados. Elas oferecem informações sobre a concentração dos valores observados, fornecendo uma visão geral da distribuição dos dados. Essas medidas são essenciais para compreender a tendência central dos dados e sua representatividade na amostra. (ARRUDA, 2014 apud SOLAR, 2004; PINTO e SILVA, 2012)

3.3.2 Correlação Linear de Pearson

A análise de correlação linear é uma técnica estatística utilizada para investigar a relação entre duas variáveis contínuas. No contexto do monitoramento da qualidade das águas superficiais, essa análise pode ser aplicada para identificar possíveis associações entre diferentes parâmetros analisados. Ao realizar a análise de correlação linear, é calculado o coeficiente de correlação, também conhecido como coeficiente de Pearson, que varia de -1 a 1. Um coeficiente próximo de 1 indica uma correlação positiva forte, ou seja, quando uma variável

aumenta, a outra também tende a aumentar. Por outro lado, um coeficiente próximo de -1 indica uma correlação negativa forte, indicando que quando uma variável aumenta, a outra tende a diminuir. Uma correlação positiva indica que, à medida que x aumenta, y também aumenta, ou seja, há uma associação positiva entre valores altos de x e valores altos de y. Por outro lado, uma correlação negativa indica que, à medida que x aumenta, y diminui, ou seja, há uma associação inversa entre valores altos de x e valores baixos de y. Segundo COHEN (1988), citado por PARANHOS et al. (2014, p. 119), valores de 0,10 a 0,29 são considerados pequenos, de 0,30 a 0,49 são médios, e de 0,50 a 1 são grandes. Em seu trabalho, PARANHOS et al. (2014, p. 119) também cita DANCEY e REIDY (2005), que propõem uma classificação ligeiramente diferente: $r = 0,10$ a $0,30$ é fraco, $r = 0,40$ a $0,6$ é moderado, e $r = 0,70$ a 1 é forte. (PARANHOS et al. 2014)

4 METODOLOGIA

4.1 Área de Estudo e Coleta dos Dados

Este estudo utilizou dados coletados entre os anos de 1997 e 2019 de diversas Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) localizadas na bacia do Rio Jequitinhonha, que são parte do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). As UPGRH selecionadas pertencem à Bacia Hidrográfica do Alto Rio Jequitinhonha (JQ1), Bacia Hidrográfica do Rio Araçuaí (JQ2) e Bacia Hidrográfica do Médio e Baixo Rio Jequitinhonha (JQ3).

As coletas de dados foram realizadas por bimestre ou trimestre, o que resultou em geral em quatro conjuntos de dados por ano para cada estação de amostragem. No Quadro 3 fornecido, é apresentada a lista das estações de amostragem correspondentes a cada UPGRH, juntamente com os corpos de água associados.

Quadro 3 – Divisão dos corpos d'água conforme as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH)

UPGRH	Corpo de água	Estação	
JQ1 - Alto Jequitinhonha	Barragem de Irapé	JE027	
	Ribeirão da Areia	JE034	
	Ribeirão Extrema	JE033	
	Rio Congonhas	JE002	
	Rio Itacambiriqu		JE004
			JE032
	Rio Vacaria		JE008
			JE030
	Rio Ventania	JE031	
	Rio Jequitinhonha		JE001
			JE003
			JE026
			JE038
		JE005	
JQ2 - Rio Araçuaí		JE007	
	Rio Capivari	JE040	
	Rio Fanado	JE014	
	Rio Gravatá	JE016	
	Rio Itamarandiba	JE012	
	Rio Preto	JE036	

UPGRH	Corpo de água	Estação
	Rio Setúbal	JE041
		JE018
	Rio Araçuaí	JE035
		JE037
		JE013
		JE039
		JE043
		JE015
		JE017
		JE042
JQ3 - Médio e Baixo Jequitinhonha	Ribeirão São João	JE044
	Ribeirão São Pedro	JE029
	Rio Rubim do Norte	JE048
	Rio Rubim do Sul	JE024
	Rio Salinas	JE006
		JE010
		JE009
	Rio São Francisco	JE047
		JE022
	Rio São Miguel	JE046
		JE020
	Rio Jequitinhonha	JE011
		JE019
		JE028
		JE045
JE023		
JE049		
JE025		

Fonte: Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais, 2º Trimestre. IGAM, 2018. Adaptada.

Neste estudo, foram selecionadas as seguintes estações de amostragem: JE005, JE007, JE009, JE010, JE011, JE019 e JE021. Para cada uma dessas estações, foram escolhidos parâmetros específicos a serem analisados, a fim de avaliar a qualidade das águas na região. Os parâmetros selecionados incluem:

- Alcalinidade total
- Cloreto total
- Coliformes termotolerantes
- Coliformes totais
- Condutividade elétrica in loco

- Cor verdadeira
- Demanda Química de Oxigênio
- Dureza total
- Estreptococos fecais
- Fósforo total
- Nitrato
- Nitrito
- Nitrogênio amoniacal total
- Nitrogênio orgânico
- Oxigênio dissolvido
- pH in loco
- Potássio dissolvido
- Sólidos dissolvidos totais
- Sólidos em suspensão totais
- Sólidos totais
- Turbidez

Esses parâmetros foram selecionados com base na relevância para a avaliação da qualidade da água e no contexto do estudo em questão. A análise desses parâmetros permitiu uma compreensão mais abrangente das características físico-químicas e microbiológicas das águas na bacia do Rio Jequitinhonha nas estações de amostragem especificadas.

Os dados brutos foram obtidos através do portal online do IGAM e estão disponíveis para acesso amplo no seguinte endereço eletrônico: <http://www.repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/405>. Os dados estão organizados por UPGRH, estação de amostragem e ano, sendo que cada arquivo corresponde a uma planilha Excel no formato ".csv".

4.2 Análises Estatísticas dos Dados

As análises estatísticas dos dados foram conduzidas utilizando o software Excel da Microsoft, versão 2016, e o software R Studio 2021.09.1.0. Diversas técnicas estatísticas foram

aplicadas para analisar e visualizar os dados obtidos a partir dos dados brutos disponibilizados pelo IGAM. Inicialmente, uma tabela foi construída no Excel para centralizar as informações relevantes para o estudo, retiradas dos dados brutos disponibilizados pelo IGAM. Essa tabela incluiu os dados dos analitos, como concentrações de cada parâmetro ao longo de cada ano, código de cada estação de monitoramento e localização, bem como a data de coleta.

A partir desta tabela, foram criados gráficos de dispersão, possibilitando visualizar a distribuição das concentrações dos analitos ao longo do tempo, permitindo observar tendências quantitativas. Além disso, gráficos de boxplot foram utilizados para comparar as concentrações dos analitos em diferentes estações do ano. Esses gráficos fornecem uma representação visual das medidas estatísticas, como a mediana, quartis, máximo e mínimo, permitindo identificar padrões e discrepâncias nos dados em relação aos padrões definidos pela Resolução CONAMA 357/2005 e a COPAM nº 08/2022. Foram realizadas também análises estatísticas descritivas e comparativas. Utilizando medidas resumo, como média, máximo e mínimo, sendo possível assim obter uma compreensão geral dos dados e identificar possíveis anomalias ou valores extremos. A fim de explorar as relações entre as variáveis de cada parâmetro, foram avaliadas correlações univariadas utilizando a correlação de Pearson. Essa análise permitiu identificar similaridades ou diferenças entre as amostras em relação ao conjunto de dados.

Todas as análises estatísticas aplicadas foram realizadas com o auxílio do software R Studio 2021.09.1.0 e do software Excel da Microsoft, versão 2016. Essas ferramentas forneceram os recursos necessários para manipular e analisar os dados de forma eficiente, possibilitando uma compreensão mais aprofundada dos padrões e tendências presentes nos dados analisados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estatística Descritiva e Análise Temporal e Sazonal

Nesta seção serão apresentados os resultados da análise estatística descritiva dos dados de monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha, referentes ao período de 1997 a 2019. Na Tabela 2 são apresentadas as medidas de síntese dos dados brutos pré-selecionados das estações JE005, JE007, JE009, JE010, JE011, JE019 e JE021, respectivamente. Para cada estação foram calculados a média por estação do ano, média, máximo e mínimo de todo o período estudado.

Os gráficos de dispersão possibilitam a visualização da variação temporal dos parâmetros de qualidade da água, permitindo identificar tendências e anomalias. Já os gráficos de boxplot para cada estação de monitoramento, foram utilizados a fim de apoiar visualização sazonal da distribuição dos dados, juntamente com as medidas resumo de tendência (Tabela 2). O boxplot é útil para comparar a distribuição dos dados em diferentes períodos, possibilitando identificar diferenças entre as estações do ano. Essa análise conjunta permitirá uma compreensão mais detalhada dos parâmetros de qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha, auxiliando em possíveis propostas de elaboração de estratégias para a gestão e proteção deste recurso hídrico.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos dados por estação de monitoramento

Parâmetros	Estação	Média				Média	Máximo	Mínimo
		Inverno	Outono	Primavera	Verão			
Alcalinidade total	JE005	9,74	-	-	6,07	7,99	14,40	1,20
	JE007	7,67	-	-	6,64	7,19	13,20	< LQ
	JE009	53,22	-	-	51,19	52,23	85,60	17,20
	JE010	63,99	-	-	61,32	62,72	83,60	33,50
	JE011	9,15	-	-	7,26	8,23	14,10	< LQ
	JE019	10,25	-	-	8,22	9,26	15,30	3,10
	JE021	10,73	-	-	8,89	9,83	18,60	3,50
Cloreto total	JE005	0,89	0,80	1,32	1,07	1,02	2,68	0,30
	JE007	0,95	0,88	1,37	1,37	1,15	4,89	0,34
	JE009	14,68	15,16	12,91	15,40	14,51	47,80	4,05

Parâmetros	Estação	Média				Média	Máximo	Mínimo
		Inverno	Outono	Primavera	Verão			
	JE010	13,28	15,81	11,61	16,53	14,18	48,00	5,32
	JE011	2,32	1,75	1,70	1,67	1,87	19,20	0,62
	JE019	1,37	1,44	2,05	2,23	1,78	8,20	0,52
	JE021	2,33	2,32	2,40	2,57	2,4	11,20	1,09
Coliformes termotolerantes	JE005	68,2	242,4	247,1	785,1	325,1	5000,0	2,00
	JE007	46,2	3341	1390	2654	1746	30000	2,00
	JE009	498,4	15020	14534	17455	11315	160000	30,00
	JE010	89175	123333	160000	110333	121264	160000	1700,00
	JE011	275,1	4640	319,5	3409	2027	50000	2,00
	JE019	249,1	2624	564,3	1459	1175	14000	2,00
	JE021	1991	4470	2204	3078	2930	30000	2,00
Coliformes totais	JE005	1732	1936	9545	6991	5062	160000	2,00
	JE007	778,2	4317	3910	8175	4160	50000	2,00
	JE009	16175	26577	31778	42230	28782	160000	30,00
	JE010	88116	75643	87047	85298	84404	198629	14390,00
	JE011	8671	7019	5412	20221	10251	160000	2,00
	JE019	2255	9619	5030	16010	7942	160000	2,00
	JE021	5290	10710	9819	13590	9746	92000	2,00
Condutividade elétrica in loco	JE005	24,34	18,74	27,37	16,61	21,95	36,90	8,70
	JE007	24,14	23,12	25,78	38,86	27,95	365,00	10,80
	JE009	177,27	172,27	162,31	162,19	168,5	365,00	49,00
	JE010	193,79	197,87	181,61	192,89	191,2	334,00	125,00
	JE011	27,68	27,50	31,60	36,47	30,83	296,00	11,80
	JE019	29,24	28,63	34,34	28,44	30,22	66,80	14,90
	JE021	36,03	32,66	36,78	32,30	34,51	73,90	15,80
Cor verdadeira	JE005	60,17	69,95	39,45	86,90	64,18	184,00	8,00
	JE007	59,39	91,28	53,85	81,40	70,54	282,00	5,00
	JE009	24,26	396,11	137,95	419,82	239,04	3450,00	5,00
	JE010	24,00	75,33	45,55	87,70	56,59	279,00	11,00
	JE011	56,57	147,21	53,20	117,23	92,15	1200,00	5,00
	JE019	43,96	105,00	59,75	203,91	103,42	1120,00	5,00
	JE021	43,30	202,37	79,20	160,50	118,52	1328,00	5,00
Demanda Química de Oxigênio	JE005	8,61	13,89	10,34	22,94	14,28	40,00	5,00
	JE007	11,67	15,50	13,04	17,24	14,24	49,00	5,00
	JE009	18,43	21,00	22,33	36,27	25,31	201,00	5,00

Parâmetros	Estação	Média				Média	Máximo	Mínimo
		Inverno	Outono	Primavera	Verão			
Dureza total	JE010	33,27	31,88	28,18	35,50	32,14	91,00	7,90
	JE011	12,00	14,31	12,53	19,62	14,93	76,00	5,00
	JE019	12,67	12,60	12,24	27,22	17,29	78,00	5,00
	JE021	10,18	11,21	12,03	22,25	14,58	48,00	5,00
	JE005	11,15	-	-	8,80	10,03	16,80	3,20
	JE007	10,57	-	-	11,88	11,18	64,10	3,30
	JE009	44,32	-	-	45,23	44,77	80,40	13,80
	JE010	48,67	-	-	47,92	48,31	72,10	30,00
	JE011	11,83	-	-	13,14	12,47	65,50	4,00
	JE019	11,62	-	-	11,00	11,32	23,00	4,70
JE021	13,35	-	-	11,57	12,48	22,60	4,80	
Estreptococos fecais	JE005	65	-	-	775	391,51	4900,00	2,00
	JE007	465	-	-	3701	1852	22000	2,00
	JE009	731	-	-	26739	12621	160000	9,00
	JE010	82984	-	-	86771	84751	160000	170,00
	JE011	119	-	-	5745	2691	24000	2,00
	JE019	534	-	-	1834	1112	14000	2,00
	JE021	1358	-	-	3991	2601	30000	2,00
Fósforo total	JE005	0,05	0,03	0,04	0,05	0,04	0,24	0,01
	JE007	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,27	0,01
	JE009	0,06	0,03	0,12	0,19	0,1	2,02	0,01
	JE010	0,16	0,16	0,15	0,17	0,16	0,53	0,02
	JE011	0,03	0,03	0,04	0,09	0,05	0,45	0,01
	JE019	0,03	0,04	0,04	0,10	0,05	0,36	0,01
	JE021	0,04	0,04	0,04	0,10	0,05	0,29	0,01
Nitrato	JE005	0,19	0,15	0,21	0,18	0,18	0,72	0,03
	JE007	0,18	0,19	0,26	0,26	0,22	0,92	0,02
	JE009	0,66	0,73	0,53	0,59	0,63	2,14	0,01
	JE010	0,56	0,75	0,70	0,90	0,72	2,03	0,09
	JE011	0,17	0,19	0,30	0,23	0,22	1,14	0,01
	JE019	0,16	0,16	0,32	0,27	0,23	1,81	0,01
	JE021	0,25	0,17	0,24	0,24	0,22	1,42	0,02
Nitrito	JE005	0,00	0,01	< LQ	< LQ	< LQ	0,01	< LQ
	JE007	0,01	0,01	< LQ	0,01	0,01	0,03	< LQ
	JE009	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,27	< LQ

Parâmetros	Estação	Média				Média	Máximo	Mínimo
		Inverno	Outono	Primavera	Verão			
	JE010	0,03	0,04	0,06	0,06	0,05	0,13	< LQ
	JE011	< LQ	< LQ	< LQ	0,01	< LQ	0,02	< LQ
	JE019	< LQ	< LQ	0,01	0,01	0,01	0,04	< LQ
	JE021	< LQ	0,01	< LQ	0,01	0,01	0,02	< LQ
Nitrogênio amoniacal total	JE005	0,13	0,12	0,14	0,14	0,13	0,50	0,10
	JE007	0,14	0,14	0,13	0,14	0,14	0,40	0,10
	JE009	0,23	0,17	0,23	0,22	0,21	2,11	0,10
	JE010	1,12	1,45	1,10	1,24	1,21	5,26	0,10
	JE011	0,13	0,18	0,11	0,14	0,14	0,69	0,10
	JE019	0,14	0,14	0,10	0,15	0,13	0,40	0,10
	JE021	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,30	0,10
Nitrogênio orgânico	JE005	0,29	0,18	0,25	0,35	0,3	0,80	0,10
	JE007	0,26	0,23	0,25	0,32	0,27	0,80	0,10
	JE009	0,48	0,48	0,41	0,79	0,6	2,80	0,10
	JE010	1,18	0,36	0,53	0,66	0,77	6,50	0,10
	JE011	0,26	0,33	0,25	0,42	0,33	1,00	0,10
	JE019	0,27	0,23	0,20	0,50	0,35	2,10	0,10
	JE021	0,23	0,46	0,28	0,50	0,36	1,60	0,10
Oxigênio dissolvido	JE005	7,95	7,28	7,37	7,05	7,42	9,30	5,40
	JE007	7,86	7,19	7,46	7,00	7,4	8,70	5,90
	JE009	8,32	7,63	7,43	6,94	7,59	10,40	3,20
	JE010	4,92	3,47	3,97	3,99	4,12	8,40	0,60
	JE011	8,11	7,49	7,65	7,35	7,66	9,20	5,90
	JE019	7,77	7,21	7,33	6,68	7,26	8,80	4,50
	JE021	7,93	7,50	7,71	7,00	7,54	8,90	5,10
pH in loco	JE005	6,73	6,42	6,83	6,43	6,61	7,70	4,70
	JE007	6,41	6,21	6,58	6,30	6,39	7,50	3,00
	JE009	7,80	7,45	7,58	7,40	7,56	9,10	6,10
	JE010	7,00	6,83	6,95	6,91	6,93	7,40	6,30
	JE011	6,64	6,45	6,86	6,43	6,6	7,90	3,10
	JE019	6,79	6,71	7,01	6,70	6,81	8,00	5,70
	JE021	6,98	6,86	7,08	6,81	6,93	7,90	5,80
Potássio dissolvido	JE005	0,40	-	-	0,44	0,42	0,80	0,02
	JE007	0,69	-	-	0,89	0,78	3,70	0,45
	JE009	6,98	-	-	6,08	6,54	13,25	3,29

Parâmetros	Estação	Média				Média	Máximo	Mínimo
		Inverno	Outono	Primavera	Verão			
Sólidos dissolvidos totais	JE010	8,18	-	-	7,80	8,00	11,79	5,73
	JE011	0,83	-	-	0,96	0,89	2,12	0,07
	JE019	0,96	-	-	1,30	1,13	3,26	0,75
	JE021	1,15	-	-	1,50	1,32	3,03	0,82
	JE005	33,70	39,14	38,18	36,43	36,49	78,00	21,00
	JE007	32,35	42,75	38,06	49,52	40,3	145,00	17,00
	JE009	102,70	125,50	118,24	170,27	129,93	382,00	54,00
Sólidos em suspensão totais	JE010	108,82	135,29	115,11	135,20	122,49	184,00	82,00
	JE011	35,48	39,43	40,59	53,77	42,64	153,00	23,00
	JE019	33,57	42,50	43,35	72,68	48,72	187,00	18,00
	JE021	36,65	43,29	46,88	68,64	49,42	167,00	23,00
	JE005	28,57	39,81	32,35	104,05	50,25	325,00	1,00
	JE007	19,74	36,16	22,65	113,00	46,92	1051,00	2,00
	JE009	12,78	96,86	138,61	329,05	143,31	2542,00	1,00
Sólidos totais	JE010	16,09	37,00	32,27	96,10	44,54	364,00	4,00
	JE011	14,57	47,19	24,00	163,09	61,42	974,00	1,00
	JE019	14,22	76,19	27,17	340,32	112,8	1482,00	2,00
	JE021	12,70	62,90	25,17	202,86	74,78	785,00	1,00
	JE005	62,26	74,67	67,09	140,48	85,15	384,00	25,00
	JE007	52,09	76,68	59,91	162,52	86,58	1150,00	26,00
	JE009	115,48	227,05	254,74	499,27	272,66	2769,00	75,00
Turbidez	JE010	124,91	170,56	145,55	231,30	166,41	548,00	92,00
	JE011	49,91	87,52	63,17	216,86	103,48	1058,00	28,00
	JE019	47,70	117,29	69,30	413,00	160	1594,00	26,00
	JE021	49,30	114,62	70,83	271,50	125,2	891,00	27,00
	JE005	57,99	74,66	57,97	116,66	75,96	536,00	2,94
	JE007	31,49	57,33	44,04	129,37	64,45	843,00	2,90
	JE009	6,02	119,91	347,60	609,43	270,32	7160,00	1,72

*Parâmetros em mg L⁻¹, exceto, condutividade elétrica, cor, pH, coliformes, *E. Coli* e turbidez. (LQ) Limite de Quantificação

Fonte: De autoria própria

A média da concentração da alcalinidade nas estações JE009 e JE010 em relação às demais é nitidamente maior ao longo de toda série temporal, 52,23 e 62,72 mg L⁻¹, respectivamente. Chegando a ser mais de sete vezes maior, se comparado com a média das demais estações, que variaram numa faixa de 7,19 – 9,83 mg L⁻¹.

A série histórica contendo as concentrações de alcalinidade total para cada estações de monitoramento pode ser vista na Figura 4, a seguir.

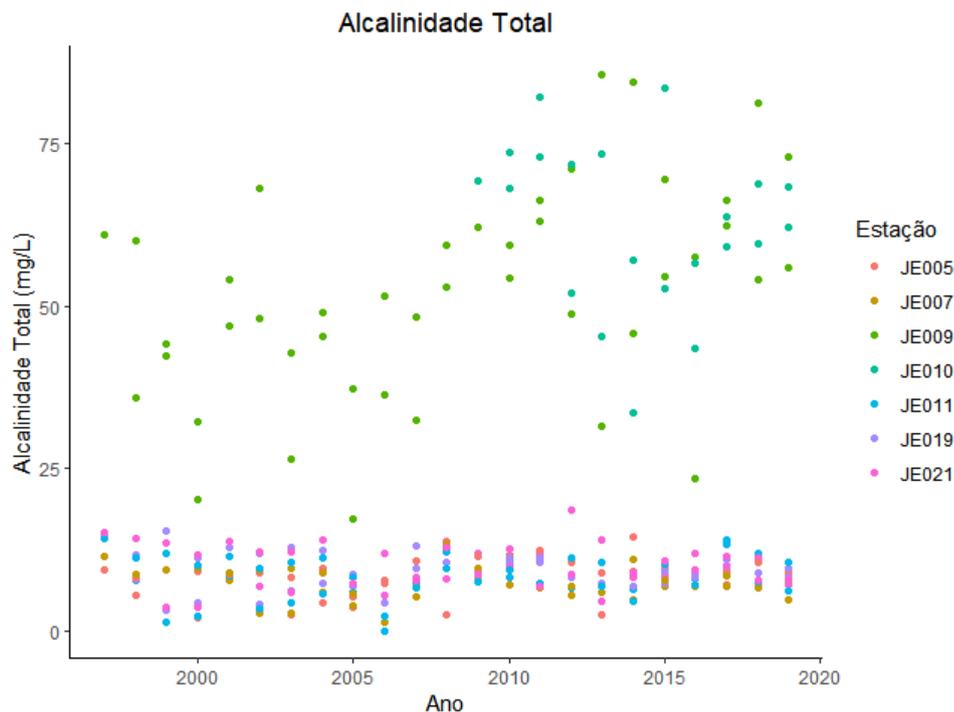


Figura 4 - Série histórica da distribuição de dados de alcalinidade por ano, em cada estação de monitoramento

A região da BHRJ faz parte do Orógeno Araçuai e dentro das unidades litológicas abrangidas por ele, ressalta-se a Formação Salinas, que contempla as cidades de Salinas e Rubelita. Dentre as constituições da Formação Salinas, destaca-se as rochas calcissilicáticas, ou seja, rochas metamórficas formadas a partir de sedimentos constituídos predominantemente por carbonato de cálcio. Deste modo, nota-se que a formação mineralógica na região em que se situam as estações JE009 e JE010 é a principal responsável pela maior concentração da alcalinidade em relação às demais estações. (NOCE et al. 1997; PARENTE, 2015)

O Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA 357/2005 não estabelece alcalinidade total como parâmetro indicador de qualidade de águas superficiais, mas, conforme a Secretaria de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2006), a maioria das águas naturais apresentam

valores de alcalinidade de 30 a 500 mg L⁻¹. De forma geral, apenas as duas estações citadas acima estão enquadradas neste intervalo. As demais estações, no entanto, não ultrapassam concentrações maiores que 20 mg L⁻¹. Segundo CHAPMAN E KIMSTACK (1992), águas que possuem concentração inferior a 24 mg L⁻¹ apresentam baixa capacidade de tamponamento e, assim, são suscetíveis às mudanças de pH. Outro fator importante que pode contribuir para a queda da capacidade de tamponamento de águas naturais é a vazão, percebe-se que durante o verão a tendência em todas as estações de monitoramento é de águas com um teor alcalino menor. Analisando juntamente os resultados dos parâmetros de alcalinidade e pH, percebe-se que as mesmas estações que apresentaram baixa capacidade de tamponamento são as mesmas que apresentaram mínimas de pH inferiores ao fixado pela lei. (MORAES, 2008)

Ainda não foram aprovados os enquadramentos dos corpos hídricos na bacia do rio Jequitinhonha (IGAM, 2019) e deste modo, de acordo com o Artigo 37 da Deliberação Normativa Conjunta do COPAM e CERH N° 01 em 05 de maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008), todos os rios que compõem a bacia são enquadrados como classe 2. A resolução CONAMA 357/2005 estipula que a faixa ideal de pH para corpos d'água deve ser entre 6 e 9. As concentrações médias de todas as estações se enquadram dentro do critério estabelecido variando de pH 6,39 a 7,56.

A série histórica contendo o pH para cada estações de monitoramento pode ser vista na Figura 5, a seguir.



Figura 5 - Série histórica da distribuição de dados de pH por ano, em cada estação de monitoramento. As linhas sólidas em vermelho representam o limite mínimo e máximo legal estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2011, para corpos d'água classe 2

Os menores valores de pH foram registrados em 2006, nas estações JE007 e JE011, pH 3,0 e 3,10, respectivamente. Neste mesmo ano a Usina Hidrelétrica (UHE) de Irapé foi inaugurada, iniciando suas operações. O Grupo de Estudos em Temáticas Ambientais (GESTA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) realizou um estudo técnico intitulado “Impactos da UHE de Irapé para comunidades a jusante da barragem”, sendo muito importante para a análise e discussão das tendências observadas nas estações JE007 e JE011. Segundo GESTA (2011), os níveis de acidez, sulfatos, ferro solúvel e manganês são algumas das anomalias que confirmam os impactos significativos na qualidade da água após a implantação da UHE Irapé. E ainda foram constatados alguns dos problemas vivenciados pelas comunidades, como:

- Coceira e irritação na pele, devido a utilização das águas do rio para banho
- Doenças Intestinais
- Mau cheiro da água e sabor de ferrugem
- Elevada mortalidade de peixes
- Dessedentação de animais, que se recusaram a beber a água do rio

Durante o estudo realizado pelo GESTA, houve vários relatos da população ribeirinha à jusante da UHE Irapé quanto à qualidade da água do rio Jequitinhonha. A seguir se encontra alguns relatos citados por GESTA (2011).

“Eles fala que não é pra beber, que tem veneno. Eles tudo fala. Que ela é ruim pra beber. Invisível, mas o pessoal diz que eles põem remédio lá na barragem, deve ser, né? (Moradora de Limoeiro, 2011, margem direita do rio Jequitinhonha)”

É bom dá uma purificada nessa água [a que vem da bomba, mas é coletada no rio] que ela tá meio atrapalhada. É só a água que corre no rio mesmo. A gente vai remando com ela aí, não tem mais o que fazer. (Morador de Marimbondo, 2011)

“Água pega a do rio, pra tudo. Dá coceira” (Moradora de Marimbondo, 2011)

Quando eu bebo essa água [do rio], - num estamos bebendo ela, não, vem de cima [da caixa que armazena a água coletada no represamento da Suzano] – mas quando eu bebo, me dá dor de barriga. Eu associo com a água. Aí pra beber, é a da represa lá de cima, vem o moço uma vez por semana bombear a água. Por enquanto é, mas ela tá secando. Aí a gente bebe as do rio. (M. C., Moradora de Santana e professora em Limoeiro, 2011)

- Essa água, do rio, não é boa. É contaminada. [Quando a hidrelétrica começou a funcionar] Matou peixe. Enche de ferrugem, essas pedras. A comida ficava com gosto de alumínio. Quando o rio enche é pior. [...] Olha, essa água tem muito micróbio. Eles jogam tudo quanto é coisa nela.
- E dá problema de saúde?
- [...] Eu não sinto. Mas tem gente que sente. Dor de barriga, tem gente que sente, dor de cabeça. Eu mesma não tomo do rio.
- E como a senhora faz?
- Agora que acabou a água [do reservatório da Suzano], por causa da chuva pouca, a gente usa o rio. Toma banho é aqui, porque não tem água. Coça tudo, olho, pele. Quando toma banho, a pele fica cinzenta. Muda de cor, fica grossa. Olho

vermelho. O cabelo fica ruim, né. Diferença. Num é água tratada. (A., Moradora de Limoeiro, margem direita do Rio Jequitinhonha, 2011)

- Os peixes não ficou foi nada. A água pra nós, ela num é o que era: água normal, doce. A gente bebe porque não tem outra. Por dentro dela [você vê] miquinha, um pó mais dourado, nos remanso. Na [água] corrida a gente não vê. Tá igual um lodo dentro d'água, viu?

- E qual água vocês usam?

- É a do rio mesmo. Num tem mais. [...]

- E dá algum problema usar essa água?

- Coceira no corpo que só vendo. O olho arde. Ontem mesmo eu banhei e deu

uma coceira, o sabão deu umas bolhinhas. A criação bebe água do rio mesmo, igual a gente.

- Tem pessoa que queixa que parece que bebe a água e não sente bem. Minha esposa diz que dá falta de ar.

(Sr. F e Sr. M., Moradores de Limoeiro, maio de 2011, margem esquerda do rio Jequitinhonha)"

De acordo com ESTEVES (2011), a redução do pH da água pode ser influenciada por fatores como o aumento da matéria orgânica, a constituição química do solo e a dissolução de rochas. No caso da região onde se encontra a UHE Irapé, é comum a presença de rochas compostas por xisto com alto teor de sulfeto. Dessa forma, é possível que os níveis elevados de sulfatos, ferro solúvel e manganês encontrados em 2006 estejam relacionados ao período de enchimento da barragem, quando a água ainda não havia atingido o nível de 470 metros. Isso pode ter propiciado uma oxidação da "rocha fresca", liberando sulfatos e manganês e provocando a queda do pH. GESTA (2011) cita que, durante a construção da barragem, outras situações de exposição da "rocha fresca" ao ar e à água também podem ter contribuído para a liberação desses elementos. (GESTA, 2011)

As estações JE007 e JE011 também apresentaram concentrações de dureza total muito discrepantes, em 2006, em relação aos seus valores médios, como pode ser visto na figura 6.

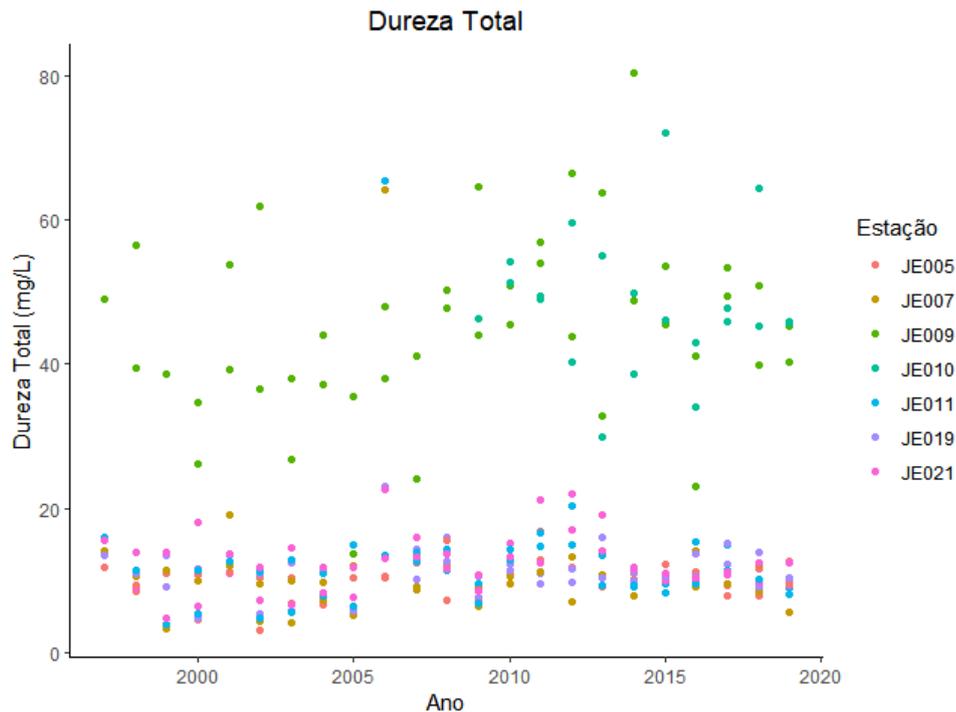


Figura 6 - Série histórica da distribuição de dados de dureza por ano, em cada estação de monitoramento

A dureza de um corpo d'água é normalmente associada ao cálcio e magnésio, porém, a dureza pode ser causada por outros cátions bivalentes, dentre eles o manganês. Como citado anteriormente, uma das anomalias causadas após o início das operações da UHE Irapé foi o aumento da concentração do manganês a jusante da barragem. Em geral, a dureza pode ser classificada como branda ou mole em todas as estações (Tabela 3), quando analisadas as médias obtidas. Porém, corroborando com a análise feita para o parâmetro de alcalinidade, percebe-se que as maiores médias de dureza se encontram nas estações JE009 e JE010, cerca de quatro vezes maior em relação às demais. A dureza assim como a alcalinidade são associados a concentração mineralógica. (BRASIL, 2006)

Tabela 3 - Grau de dureza	
mg L ⁻¹ CaCO ₃	Grau de dureza
0 – 75	Branda ou Mole
75 – 150	Moderadamente dura
150 – 300	Dura
Acima de 300	Muito dura

Fonte: PIVELI et al., 2006

O Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA 357/ 2005, estabelece um limite de 250 mg L⁻¹ para o parâmetro de cloreto total. Os pontos JE009 e JE010 possuem as maiores médias, 14,51 e 14,58 mg L⁻¹, respectivamente, cerca de dez vezes maiores que os demais pontos. As maiores concentrações foram registradas no ano de 2019 também nas mesmas estações, 47,80 e 48,0 mg L⁻¹, respectivamente.

A série histórica contendo as concentrações de cloreto total para cada estações de monitoramento pode ser vista na Figura 7, a seguir.

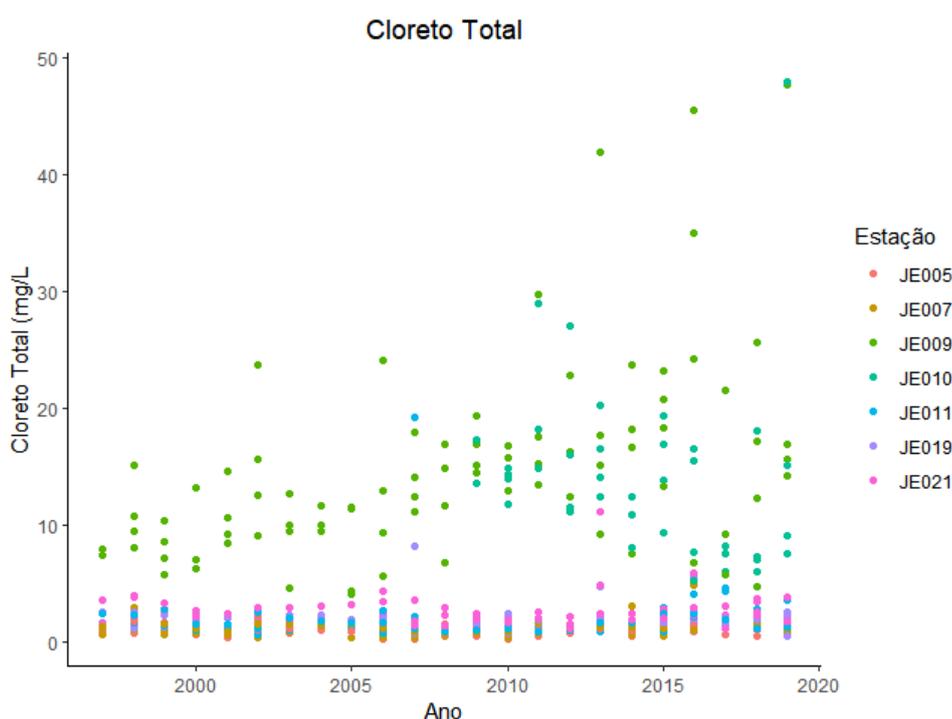


Figura 7 - Série histórica da distribuição de dados de cloreto por ano, em cada estação de monitoramento

Todas as estações estão dentro do limite estabelecido, demonstrando que por ocasião da coleta as águas não apresentavam cloretos em concentração capaz de afetar a qualidade das águas. Contudo, pressupõe-se que nas estações JE009 e JE010 há uma maior dissolução de minerais e/ou despejos domésticos e industriais. O rio Salinas, é assim nomeado devido a presença de minas de sal-gema em suas margens. O sal-gema é encontrado em jazidas terrestres e são compostos inorgânicos e solúveis que tem como composição cloreto de sódio, acompanhado de cloreto de potássio e cloreto de magnésio. Desta forma, a maior concentração de cloreto nas estações citadas acima deve-se às características mineralógicas da região. (VON SPERLING, 2018; LISBOA, 1992; MOHRIAK & SZATMARI, 2009)

Segundo MOHRIAK & SZATMARI (2009), sais “não são propriamente rochas – são solúveis, vieram de líquidos e a eles retornam assim que possível”. O sal-gema forma-se por precipitação de sais de cloreto de sódio com a formação do mineral halita. A resolução CONAMA 357/2005 estabelece, para os sólidos dissolvidos, um limite de 500 mg L⁻¹. Ao observar a análise descritiva deste parâmetro, não se vê, nem mesmo em seus valores máximos, nenhum ponto em que tenha excedido este limite. Porém, destaca-se mais uma vez a discrepância das médias obtidas nas estações JE009 e JE010, em relação às demais. Esta discrepância pode ser relacionada, mais uma vez, à composição mineralógica do rio Salinas, que como citado anteriormente, possui jazidas de sal-gema e solo constituído por rochas formadas por sedimentos carbonáticos. Outro fator importante a ser analisado é a tendência da concentração de sólidos dissolvidos nas estações a jusante da UHE Irapé. As estações JE007 e JE011, possuem médias iguais a 40,30 e 42,64 mg L⁻¹, respectivamente. No entanto, no ano de 2006 apresentaram valores máximos iguais a 145,00 e 153,00 mg L⁻¹, conforme pode ser visto na Figura 8 a seguir.

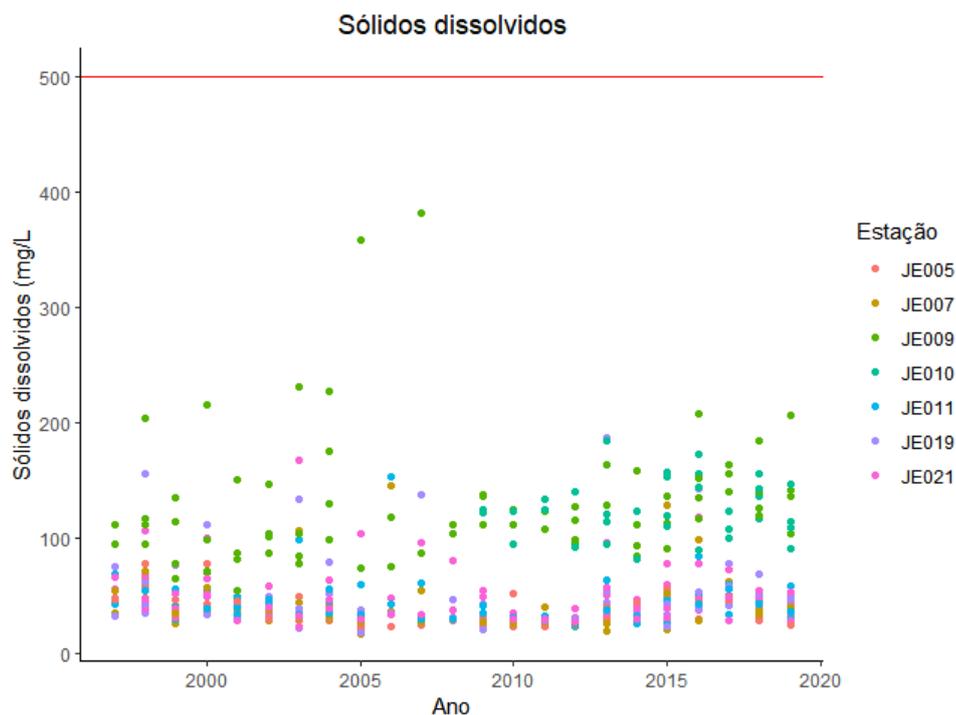


Figura 8 - Série histórica da distribuição de dados de sólidos dissolvidos por ano, em cada estação de monitoramento. A linha sólida em vermelho representa o limite máximo legal estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2011, para corpos d'água classe 2

Os sólidos dissolvidos são avaliados pela quantidade de materiais orgânicos e inorgânicos, além de minerais, dissolvidos na água. Como citado, durante o estudo técnico

realizado pelo GESTA, confirmou-se que uma das anomalias foi o aumento das concentrações de sulfatos, manganês e ferro que sustentam o aumento discrepante neste ano. (ART, 2001; GESTA, 2011)

Muito embora não se possa esperar uma relação direta entre condutividade e concentração de sólidos totais dissolvidos, já que as águas naturais não são soluções simples, tal relação é possível para águas de determinadas regiões onde exista a predominância bem definida de um determinado íon em solução. Ao analisar as médias obtidas deste parâmetro, vê-se que as médias nos pontos JE009 e JE010 são consideravelmente maiores, 129,93 e 122,49 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Outra análise importante é o aumento da condutividade nas estações JE007 e JE011 em 2006. As estações possuem médias iguais a 27,95 e 30,83 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, mas no ano citado apresentaram valores máximos iguais a 365,00 e 296,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ratificando que a condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. (CETESB, 2019)

A série histórica contendo as concentrações de condutividade elétrica para cada estações de monitoramento pode ser vista na Figura 9, a seguir.

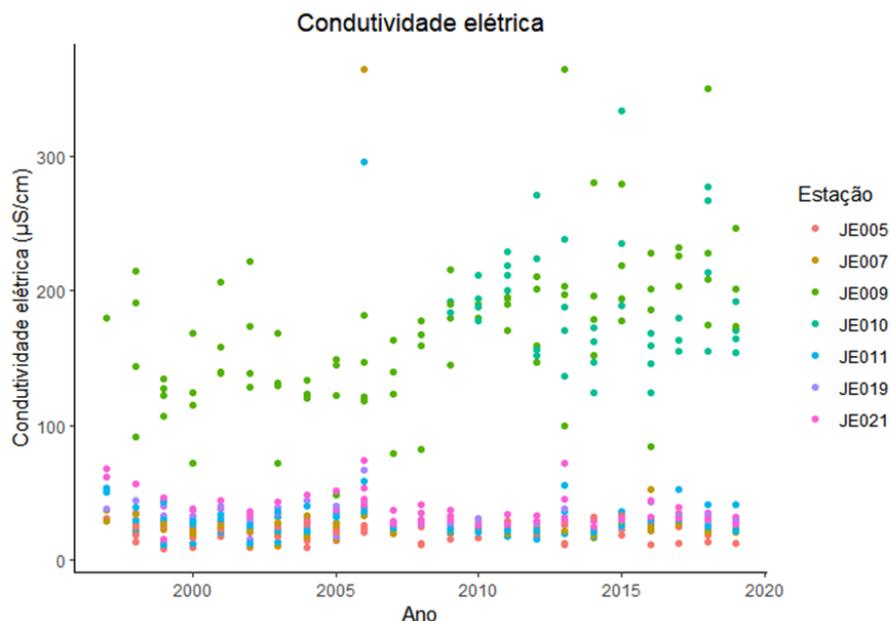


Figura 9 - Série histórica da distribuição de dados de condutividade elétrica por ano, em cada estação de monitoramento

A condutividade não é um parâmetro limitado pela resolução CONAMA 357/2005, contudo, segundo o Ministério da Saúde, as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os

valores podem chegar até 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As cidades de Salinas e Rubelita, assim como a maioria das cidades da BHRJ, sofrem com a falta de tratamento de esgoto adequado. No entanto, não é possível afirmar se esta realidade se reflete na condutividade elétrica das águas do rio Salinas. (BRASIL, 2006)

A resolução CONAMA 357/2005 estabelece um limite de cor para água doces classe 2 de 75 mg Pt/L Assim, apenas as estações JE005, JE007 e JE010 apresentaram médias de acordo com o limite estabelecido. A estação JE009, apresentou valores muito altos em algumas campanhas de monitoramento até o ano de 2009, que interferem no resultado da média. O mesmo ocorre, em menor proporção, nas estações JE011, JE019 e JE02, com maior evidência no verão devido ao aporte de chuvas.

A resolução CONAMA 357/2005 limita a turbidez em águas doces de classe 2 a 100 UNT. As estações JE009, JE019 e JE021 apresentaram valores máximos que interferem no valor da média, sendo as únicas estações em que a média não se enquadra no limite estabelecido para água de classe 2, conforme pode ser visto na Figura 10 a seguir.

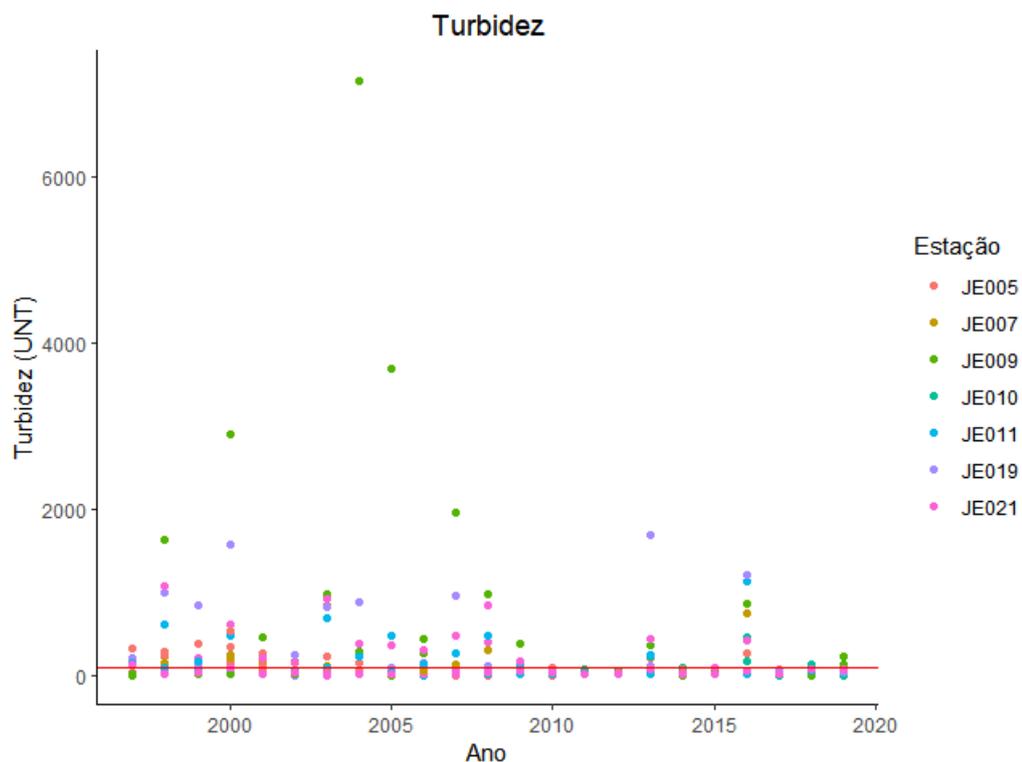


Figura 10 - Série histórica da distribuição de dados de turbidez por ano, em cada estação de monitoramento. A linha sólida em vermelho representam o limite máximo legal estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2011, para corpos d'água classe 2

Observa-se que durante o verão, as concentrações de turbidez tendem a aumentar em todas as estações e um comportamento semelhante é visto para os sólidos em suspensão, elevando a média anual.

A variabilidade das concentrações da turbidez e dos sólidos em suspensão por estação do ano e por estação de monitoramento, em toda a série histórica, pode ser vista nas Figuras 11 e 12 a seguir.

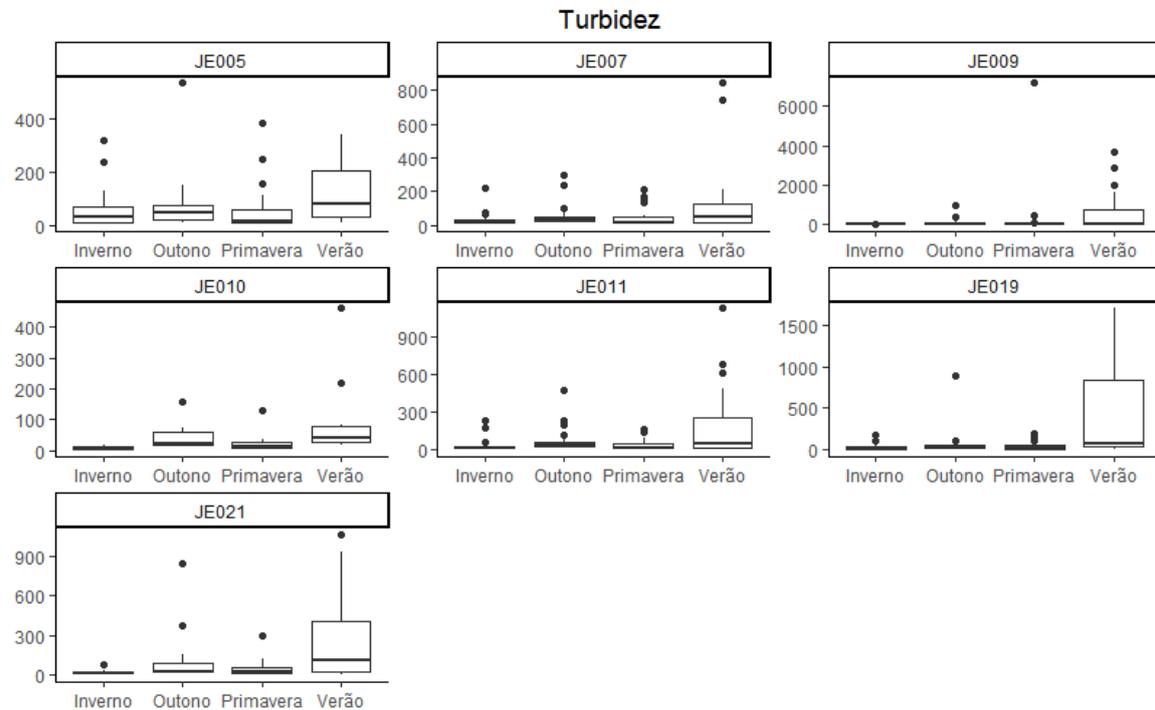


Figura 11 - Sazonalidade do parâmetro de turbidez por estação do ano em toda a série histórica

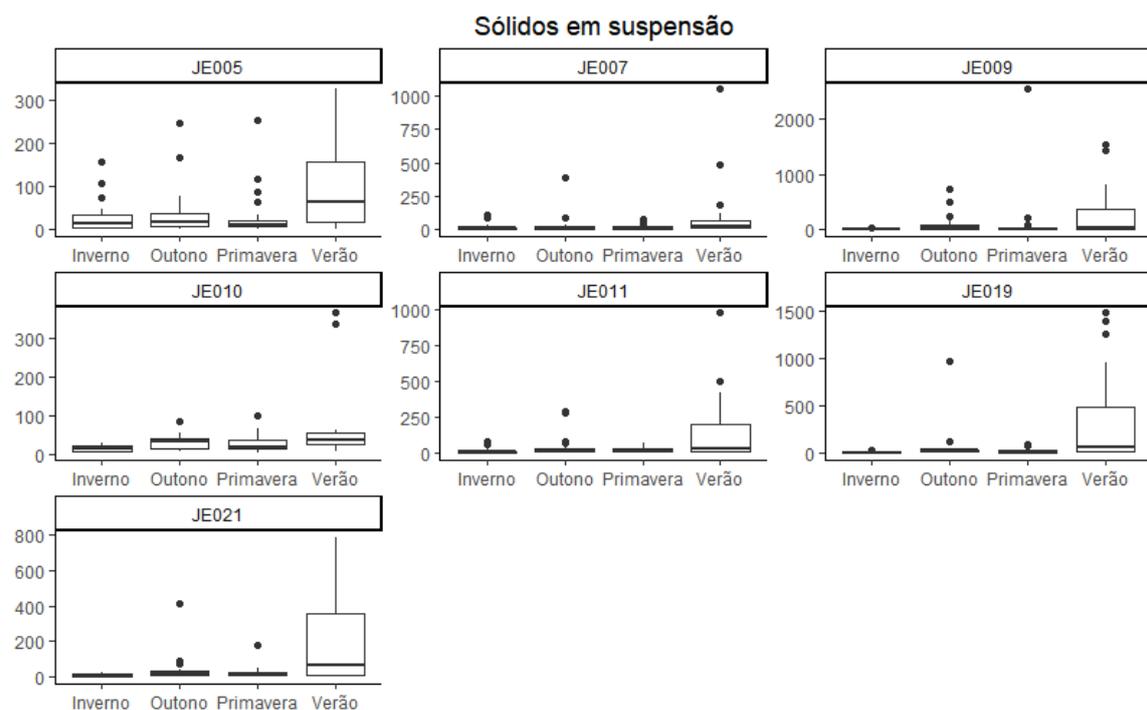


Figura 12 - Sazonalidade do parâmetro de sólidos em suspensão por estação do ano em toda a série histórica

A principal fonte de turbidez é a erosão dos solos, quando na época de chuvas as águas pluviais trazem uma quantidade significativa de material sólido para os corpos d'água. O excesso dos sólidos altera as condições de luminosidade, além de contribuir para processos de sedimentação e assoreamento. Segundo Ferreira (2007), na porção mineira da bacia do Jequitinhonha a susceptibilidade erosiva dos terrenos é muito forte, devido à predominância de áreas com relevo fortemente ondulado com cobertura vegetal de cerrado e caatinga, logo é fácil observar a relação linear direta entre turbidez e sólidos em suspensão na região de estudo. (ANA, 2009; CETESB, 2019).

A Deliberação Normativa COPAM nº 08/2022 limita os sólidos suspensos em águas doces de classe 2 a 100 mg L^{-1} . Com base nos valores médios obtidos, apenas as estações JE009 e JE019 não se enquadram na lei. Em 2004 registrou-se na estação JE009 um valor de turbidez 71,6 vezes maior que o permitido pela lei, bem como a maior concentração de sólidos suspensos e sólidos totais registrados dentre as estações analisadas. Segundo IGAM (2004), este evento foi consequência de um grave processo de erosão, verificado “in loco”. Em suma, observa-se um aumento dos sólidos totais em todas as estações de monitoramento no verão, em que todas elas excedem o limite máximo proposto pela lei. Comportamento semelhante ao da turbidez, refletindo a condição local e aumentando conforme o grau de poluição. Além de todo o aporte de despejo de esgoto, principalmente no rio Salinas, há também processos erosivos e de assoreamento que contribuem para a elevação destes parâmetros durante o período chuvoso em toda a região estudada. Segundo IGAM (2008), o rio Jequitinhonha sofre grande impacto de poluição difusa na estação chuvosa, evidenciando o mau uso do solo na região. A estabilidade do solo pode estar sendo comprometida por atividades de mineração, que desprotegido fica propenso à erosão disponibilizando sedimentos que são carregados para os corpos de água contribuindo também para o seu assoreamento. (IGAM, 2008)

A resolução CONAMA 357/2005 estabelece os seguintes limites para o nitrogênio

- Nitrito: 10 mg L^{-1}
- Nitrito: 1 mg L^{-1}
- Nitrogênio Amoniacal: $3,7 \text{ mg L}^{-1}$ se $\text{pH} < 7,5$; $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ se $7,5 < \text{pH} < 8,0$; $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ se $8,0 < \text{pH} < 8,5$; $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ se $\text{pH} > 8,5$

Em relação ao parâmetro de nitrogênio amoniacal, é preciso avaliar os valores médios, mínimos e máximos desse parâmetro com os de pH, para identificar a faixa de concentração

mais adequada para cada estação de monitoramento. Logo, conclui-se que a estação JE009 deve-se manter em níveis inferiores a $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ e as demais em níveis inferiores a $3,7 \text{ mg L}^{-1}$. Em média, todas as estações estão enquadradas dentro dos limites propostos para o nitrogênio amoniacal. No entanto, observa-se que as estações JE009 e JE010, possuem concentrações máximas acima do indicado pela lei. A estação JE009 apresenta apenas uma campanha em desconformidade, com uma concentração de nitrogênio amoniacal igual a $2,11 \text{ mg L}^{-1}$, no inverno de 2013. Já a estação JE010 apresenta três campanhas em desconformidade: $3,77 \text{ mg L}^{-1}$ no verão de 2010; $4,27 \text{ mg L}^{-1}$ no inverno de 2011; $5,26$ no outono de 2012.

De acordo com os resultados encontrados para os parâmetros de nitrato e nitrito, percebe-se que seus valores mínimos e máximos indicam conformidade com a resolução CONAMA 357/2005. No entanto, ressalta-se um aumento exponencial de nitrato na JE009. Neste panorama, observa-se que os parâmetros de nitrato e nitrito, mais evidente no primeiro, apresentaram uma tendência a crescer ao longo dos anos, refletindo na incapacidade dos órgãos responsáveis em reter a contaminação do rio Salinas por efluentes sanitários. Já os parâmetros de nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico, apesar do primeiro apresentar um curto período em alta na JE010 (2010 a 2013), ambos permaneceram mantendo a média de concentração ao longo de todo o período estudado. Assim, segundo VON SPERLING (2018), o crescimento exponencial visto no parâmetro de nitrato, aponta que pode se tratar de uma poluição antiga. No entanto, ao analisar as concentrações da série de nitrogenados, em geral, percebe-se se tratar de uma poluição com aporte contínuo, em que se observa a presença de todas as formas de nitrogênio. (ALABURDA & NISHIHARA, 1998)

A série histórica contendo as concentrações de todos os nitrogenados analisados, para cada estação de monitoramento, pode ser vista nas Figuras 13 a 16, a seguir.

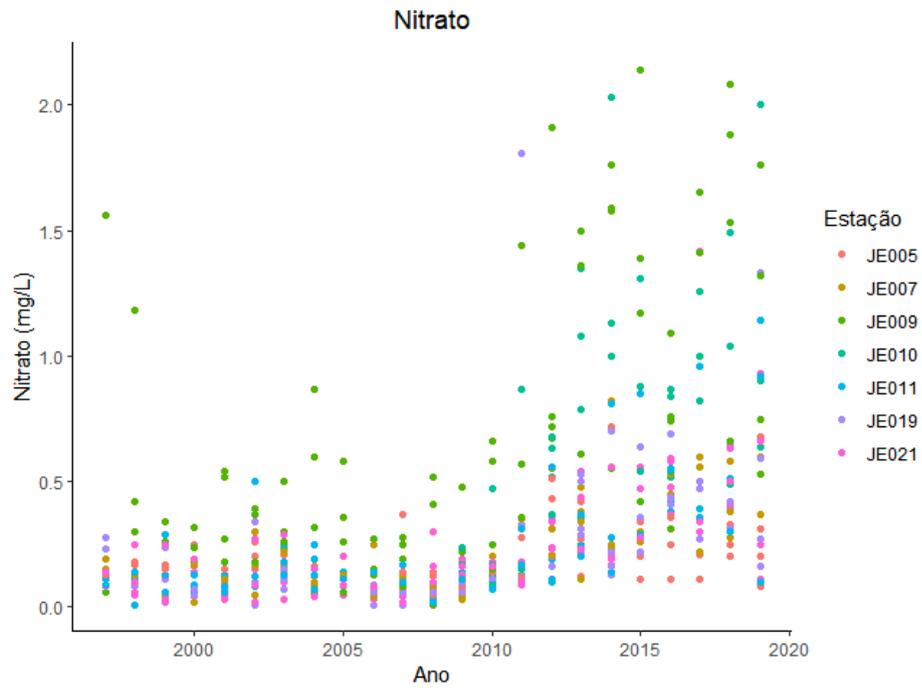


Figura 13 - Série histórica da distribuição de dados de nitrato por ano, em cada estação de monitoramento

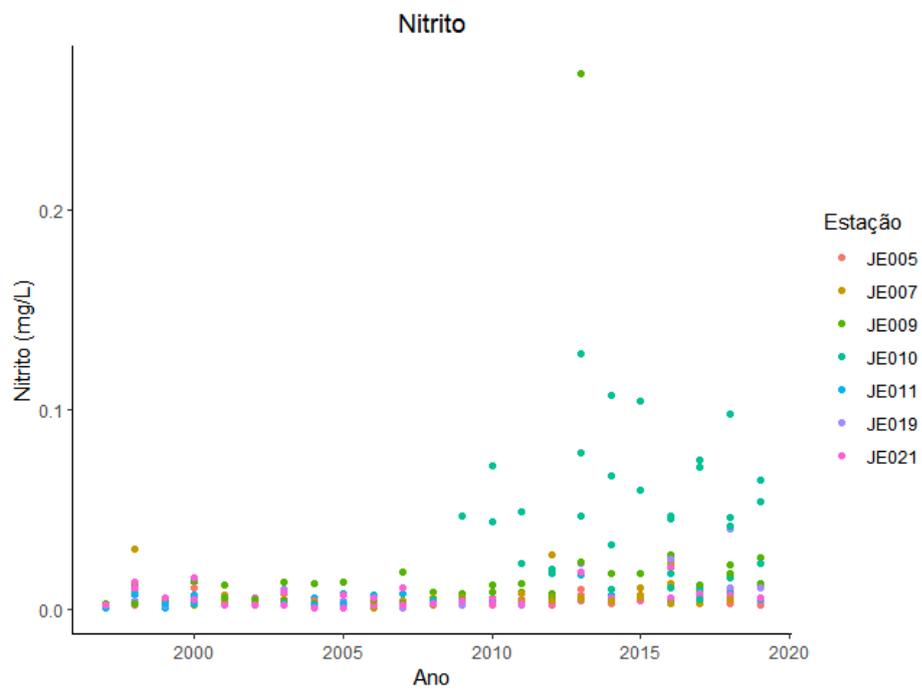


Figura 14 - Série histórica da distribuição de dados de nitrito por ano, em cada estação de monitoramento

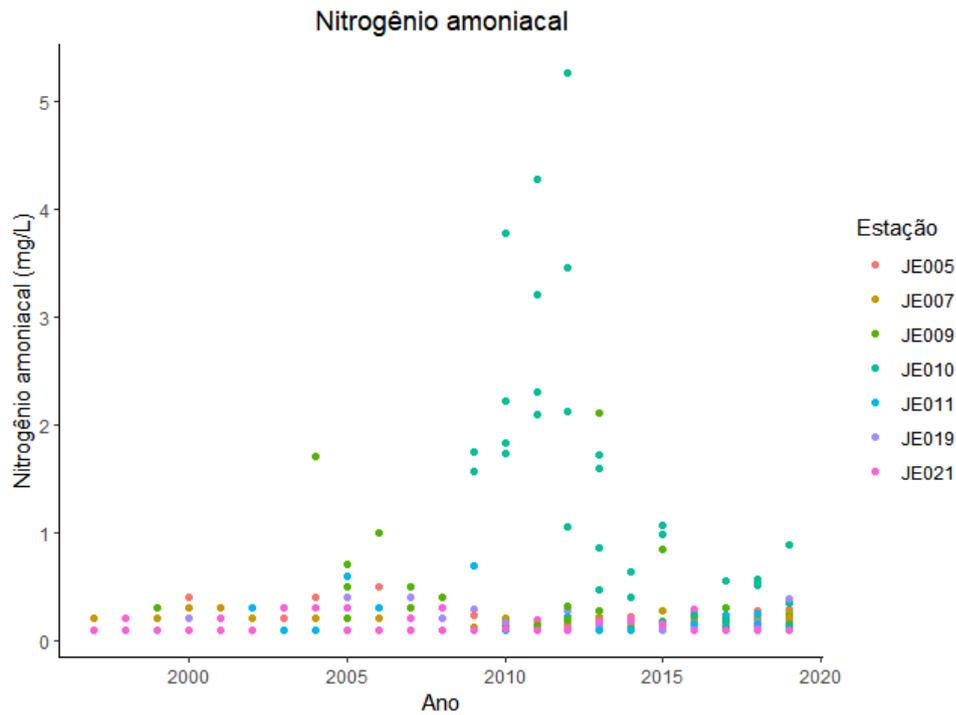


Figura 15 - Série histórica da distribuição de dados de nitrogênio amoniacal por ano, em cada estação de monitoramento

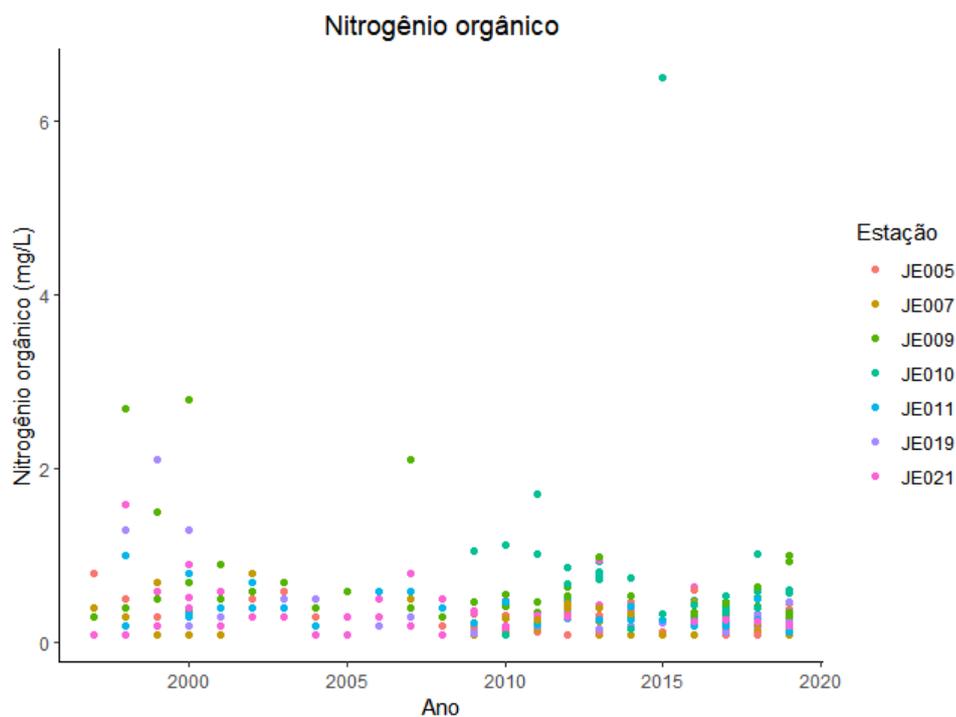


Figura 16 - Série histórica da distribuição de dados de nitrogênio orgânico por ano, em cada estação de monitoramento

A resolução CONAMA 357/2005 estabelece uma concentração limite de fósforo a depender do tipo de ambiente aquático, se enquadrado como lântico ou lótico. Para este

trabalho, será considerado o limite estabelecido para ambientes lóticos. Para ambientes lóticos classe 2, o limite é de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$. Assim, ao avaliar a estatística descritiva das concentrações de fósforo total, percebe-se que a estação JE010 possui a maior média, $0,16 \text{ mg L}^{-1}$, dentre as demais, excedendo o limite proposto.

A série histórica contendo a concentração de fósforo para cada estação de monitoramento, pode ser vista na Figura 17, a seguir.

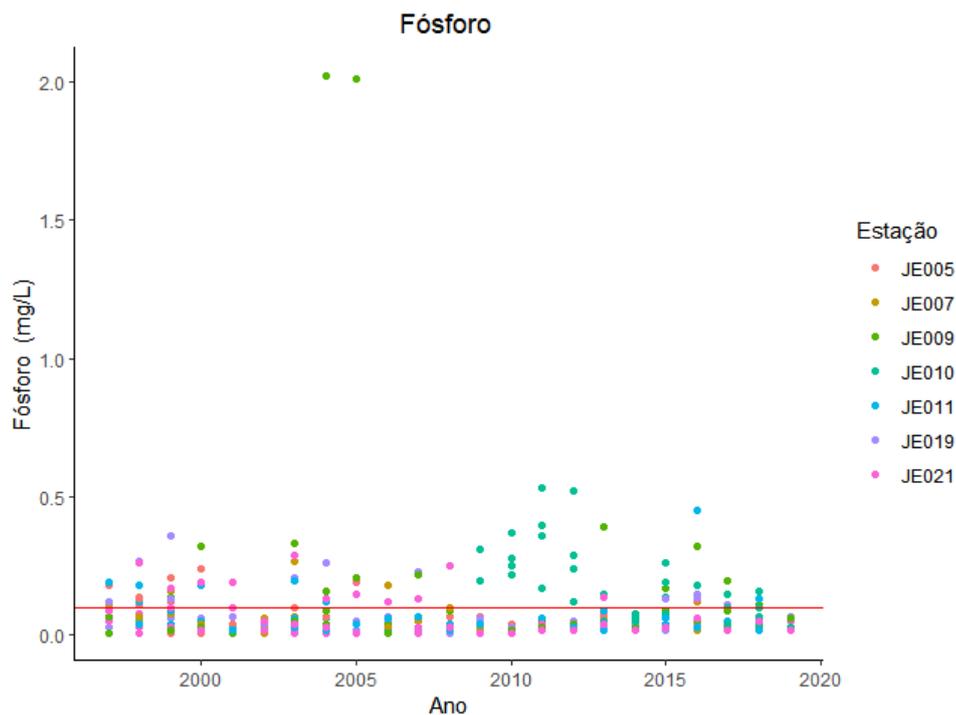


Figura 17 - Série histórica da distribuição de dados de fosforo por ano, em cada estação de monitoramento. As linhas sólidas em vermelho representam o limite máximo legal estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2011, para corpos d'água classe 2

Nos anos de 2004 e 2005, a estação JE009 apresentou concentrações próximas a $2,00 \text{ mg L}^{-1}$, 20 vezes maior que o permitido pela lei. O fósforo é essencial ao crescimento de todos os seres vivos, entretanto o aumento excessivo de ambos tem como principal efeito a eutrofização. O enriquecimento das águas por esse nutriente propicia um crescimento rápido de fitoplâncton, ocasionando no aumento da turbidez da água. Em 2004, a elevação da turbidez teve como fator principal processos erosivos, no entanto, nota-se uma parcela de contribuição dos parâmetros de fósforo e coliformes termotolerantes em 2004 e 2005. Segundo IGAM (2005), a ausência de tratamento de esgotos domésticos nos municípios de Salinas e Rubelita e seu lançamento no rio influenciaram diretamente nos resultados. (VON SPERLING, 2018)

A resolução CONAMA 357/2005 cita apenas uma concentração limite para coliformes termotolerantes, que para água classe 2 não deve ser maior que 1000 NMP/100mL (Número Mais Provável de microrganismos). Este parâmetro é fortemente afetado por valores máximos, em que todas as estações apresentaram campanhas de monitoramento que também excederam a concentração mínima permitida. A tabela 4 abaixo apresenta em porcentagem a quantidade de campanhas com concentração de coliformes termotolerantes acima de 1000 NMP/100mL.

Tabela 4 - Porcentagem de campanhas de monitoramento de coliformes termotolerantes em desconformidade com a CONAMA 357/2005

Estação	> 1000 NPM/100mL
JE005	10%
JE007	18%
JE009	45%
JE010	100%
JE011	21%
JE019	24%
JE021	34%

Fonte: De autoria própria

Como observado na tabela acima, as estações com maior porcentagem de campanhas em desconformidade com a legislação são as estações JE009 e JE010, em que a última apresentou concentrações acima do limite máximo em todas as campanhas de monitoramento. O monitoramento de coliformes termotolerantes iniciou em 1997, mas foi substituído pela análise de *E. coli* em 2013. A estação JE010 é a mais recente, dentre as estações estudadas neste trabalho, e por este fato apresentou apenas 14 campanhas de monitoramento, realizadas entre 2009 e 2012. Neste período a menor concentração de coliformes termotolerantes obtidos na JE010 foi de 1700 NMP/100mL e a maior igual a 160.000 NMP/100mL. Em suma, as estações JE009 e JE010 apresentaram muitas campanhas com a quantidade de microrganismos em geral, tanto coliformes como estreptococos fecais, em concentração acima de 1500.000 NMP/100mL, conforme pode ser observado nas Figuras 18 a 20, a seguir.

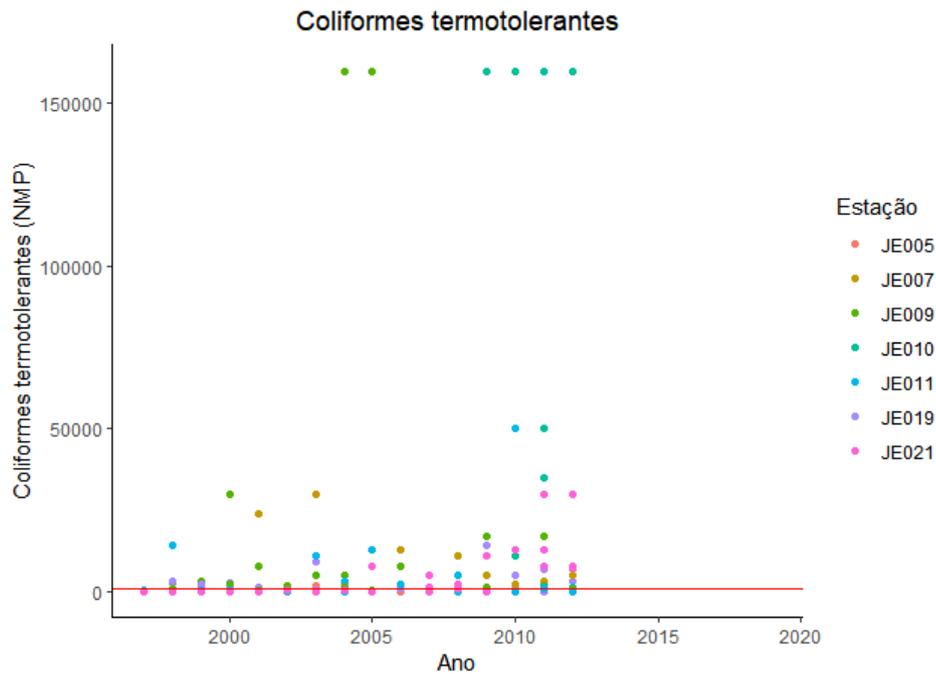


Figura 18 - Série histórica da distribuição de dados de coliformes termotolerantes por ano, em cada estação de monitoramento. As linhas sólidas em vermelho representam o limite máximo legal estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2011, para corpos d'água classe 2

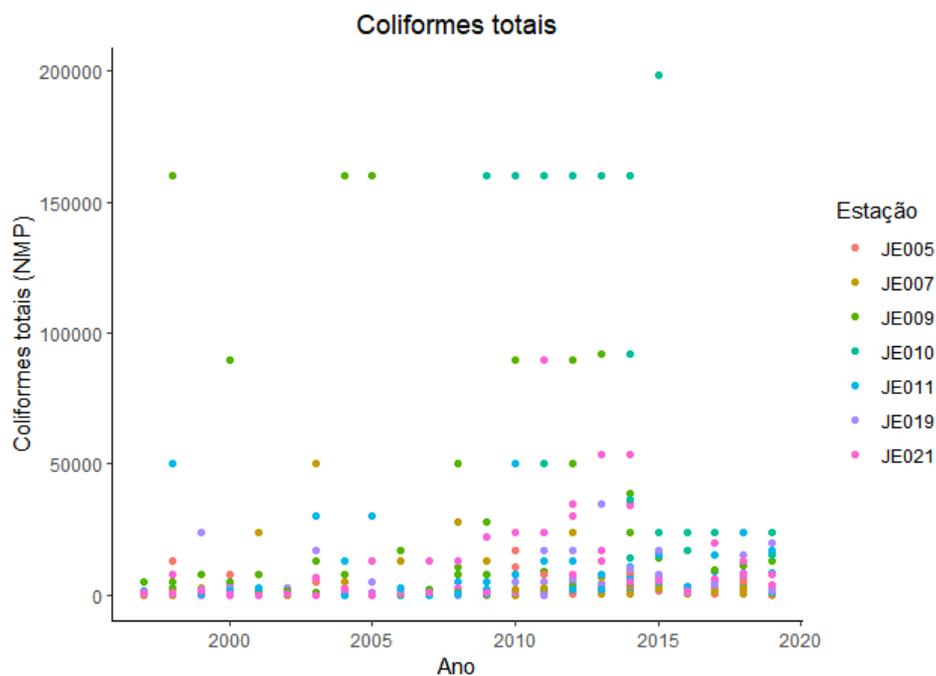


Figura 19 - Série histórica da distribuição de dados de coliformes totais por ano, em cada estação de monitoramento

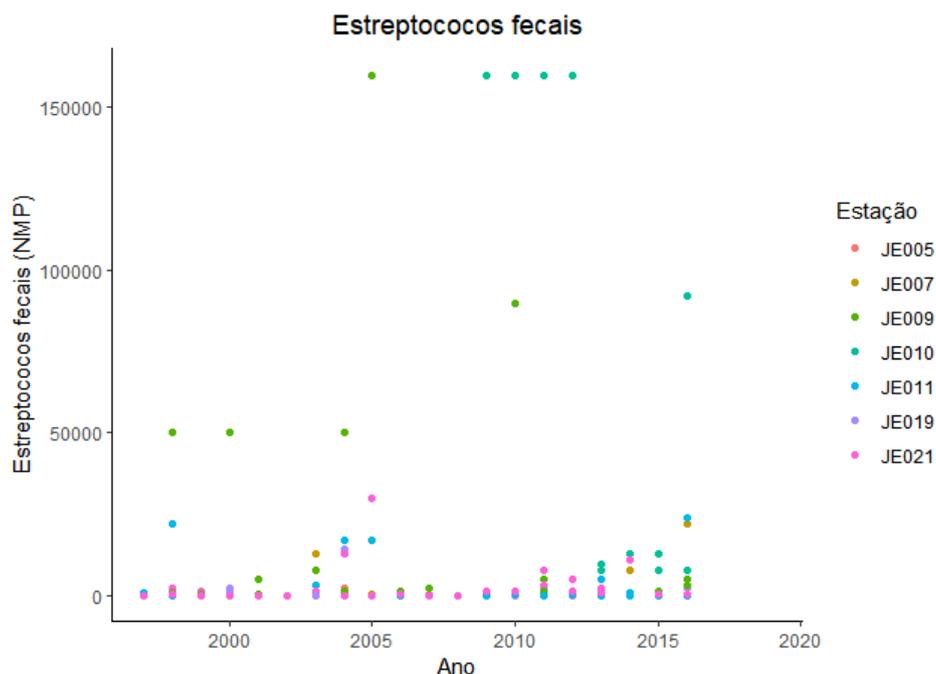


Figura 20 - Série histórica da distribuição de dados de estreptococos fecais por ano, em cada estação de monitoramento

As cidades de Salinas e Rubelita, como já citado algumas vezes, não possui um tratamento e uma disposição eficiente de seus esgotos sanitários o que reflete nitidamente nos padrões de dispersão observados. A situação mais preocupante está na cidade de Salinas, que apesar de ter iniciado as campanhas de monitoramento a partir do ano de 2009, vem indicando até o ano de 2014 grandes índices de contaminação. O Promotor de Justiça da Comarca de Salinas, Dr. Jean Ernane Mendes da Silva, relatou inúmeras reclamações sobre vazamentos de esgoto na rede coletora e da qualidade do esgoto tratado em que o BO nº M 2776-2014-4266024 em 21/01/2014 foi registrado referente ao vazamento de esgoto em um poço de visita no Centro de Salinas, chegando o esgoto bruto ao leito do Rio Salinas. O que sustenta as observações feitas para os coliformes totais e termotolerantes, estreptococos fecais e nitrogênio amoniacal referentes ao período entre os anos de 2009 e 2014. (ARSAE, 2014)

Segundo a resolução CONAMA 357/2005 e a Deliberação Normativa COPAM nº 08/2022, os limites de concentração para o oxigênio dissolvido para águas doces são:

- Classe 1: $> 6 \text{ mg L}^{-1}$
- Classe 2: $> 5 \text{ mg L}^{-1}$
- Classe 3: $> 4 \text{ mg L}^{-1}$
- Classe 4: $> 2 \text{ mg L}^{-1}$

Para águas limpas, as concentrações de oxigênio dissolvido devem ser maiores que $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ e normalmente na faixa entre $8 \text{ e } 10 \text{ mg L}^{-1}$. Porém, quando a concentração é superior a 10 mg L^{-1} indica-se que há uma supersaturação do ambiente aquático. Esse fenômeno acontece em águas que se encontram em estágio inicial do processo de eutrofização, ou seja, ricas em fósforo e nitrogênio. Com o aumento de nutrientes no início do processo de eutrofização, há o surgimento de algas e cianobactérias, aumentando a concentração de OD devido a fotossíntese. A estatística descritiva do oxigênio dissolvido, mostra que o valor máximo de concentração entre as estações analisadas é de $10,40 \text{ mg L}^{-1}$ na estação JE009. Ao longo da série temporal percebe-se, que apesar da estação JE009 apresentar concentrações críticas, elas são pontuais, mantendo sua média em torno de $7,59 \text{ mg L}^{-1}$. No entanto, observa-se que no mesmo período em que se obteve a maior concentração de oxigênio dissolvido, o nitrato apresentou concentração igual a $2,03 \text{ mg L}^{-1}$. Em que a média da concentração do nitrato em todo o período estudado foi igual a $0,63 \text{ mg L}^{-1}$ e seu máximo igual a $2,14$. Em suma, ressalta-se o aumento da concentração de nitrato ao decorrer dos anos na JE009 e a sua relação com ambientes eutrofizados e a supersaturação do ambiente aquático. (ANA, 2017)

A série histórica contendo a concentração de oxigênio dissolvido para cada estação de monitoramento, pode ser vista na Figura 21, a seguir.

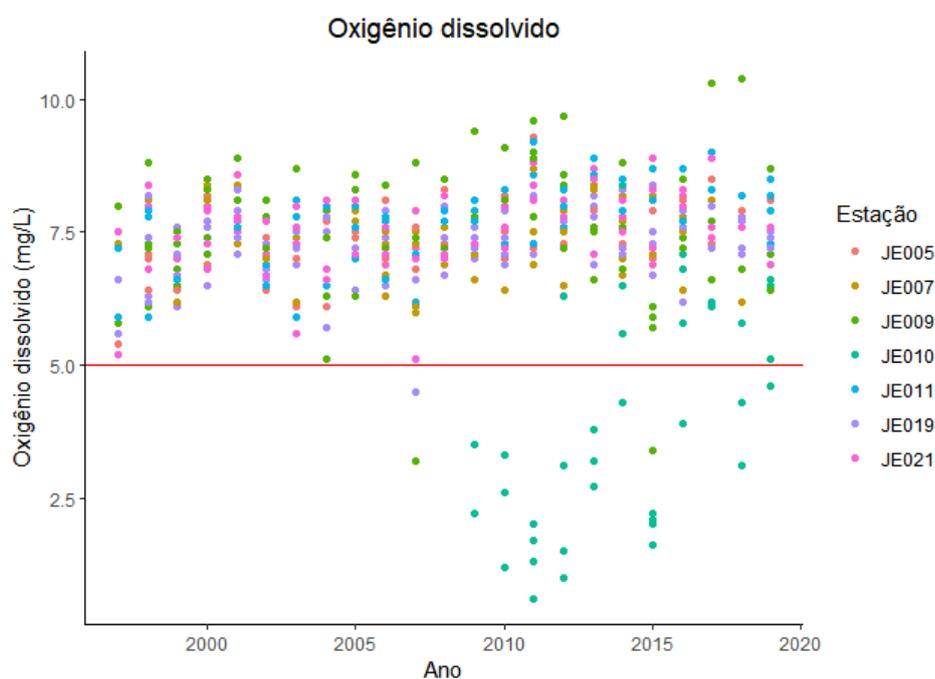


Figura 21 - Série histórica da distribuição de dados de oxigênio dissolvido por ano, em cada estação de monitoramento. As linhas sólidas em vermelho representam o limite mínimo legal estabelecido pela Resolução CONAMA n° 357/2011, para corpos d'água classe 2

Em suma, apenas a JE010 não possui média acima de 5 mg L⁻¹ em todo o período estudado, como o estabelecido para águas classe 2. Esta estação foi adicionada às campanhas de monitoramento de qualidade da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha a partir do ano de 2009 e, desde então, manteve uma média de concentração igual a 4,12 mg L⁻¹. Ela chegou a apresentar uma concentração mínima igual a 0,60 mg L⁻¹, no ano de 2011, em ambientes concentrações abaixo de 3 mg L⁻¹ indica estresse hídrico e concentrações menores que 0,5 mg L⁻¹ podem ser letal para a maioria das espécies. Sabe-se que águas poluídas por esgotos domésticos ou industriais apresentam menores concentrações de oxigênio dissolvido, devido ao consumo ocorrido no processo de decomposição da matéria orgânica. Na cidade de Salinas (JE010) vários bairros não possuem rede coletora: Betel 1, Betel 2, Cidade Nova, Vila Canaã, Alto São João, São Fidelis, Alto Casa Blanca, Esplanada, Santa Luzia, Clube do CECS, os quais utilizam-se de fossas ou jogam o esgoto no Rio Salinas. (ANA, 2017; VON SPERLING, 2018; POLLOCK ET AL., 2007; ARSAE, 2014)

A DQO é particularmente eficaz na detecção de substâncias que são resistentes à degradação biológica, porém, substâncias inorgânicas e suas interações podem afetar os resultados. Segundo VOGEL et al. (2000), íons como sulfeto, nitrito, cloreto e ferro (II) são completamente oxidáveis, o que os torna grandes interferentes e prejudica a interpretação da DQO como único parâmetro para medir o teor orgânico de lixiviados.

A série histórica contendo a concentração de demanda química oxigênio para cada estação de monitoramento, pode ser vista na Figura 22, a seguir.

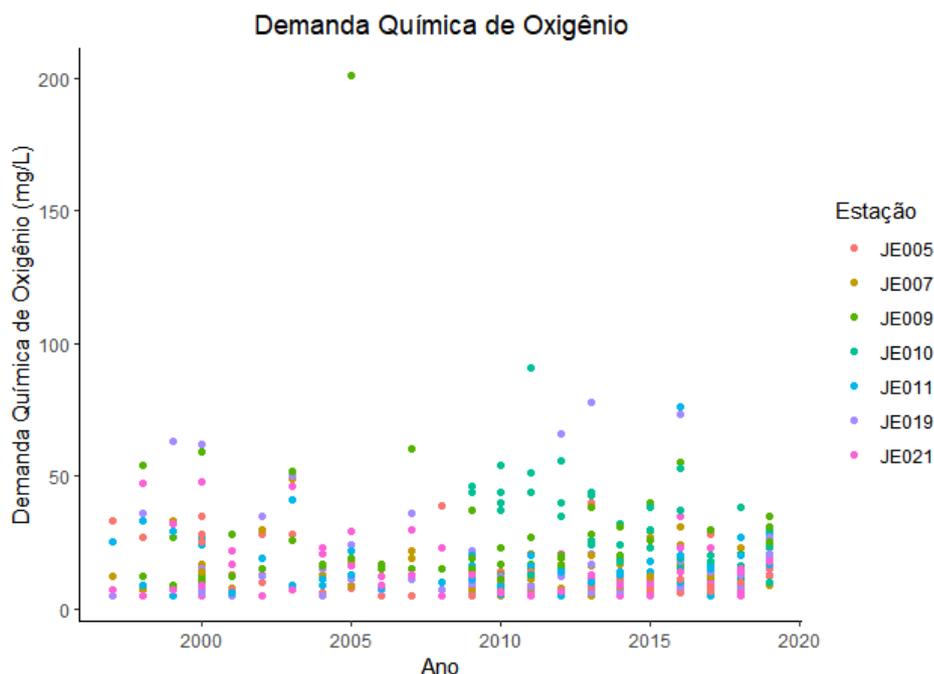


Figura 22 - Série histórica da distribuição de dados de demanda química de oxigênio por ano, em cada estação de monitoramento

A Resolução CONAMA 357/2005 e a Deliberação Normativa COPAM nº 08/2022 não estabelecem um limite específico para esse parâmetro. No entanto, na maioria das campanhas de monitoramento, as estações tendem a manter uma concentração inferior a 75 mg L^{-1} . Em 2005, a JE009 apresentou DQO igual a $201,0 \text{ mg L}^{-1}$, indicando alta carga orgânica e, conseqüentemente, elevado grau de poluição. Não foram observados aumentos na concentração dos interferentes mencionados durante o mesmo período. No entanto, houve um aumento significativo na concentração de coliformes totais, coliformes termotolerantes e estreptococos fecais, aumentando a demanda de oxigênio, devido às contaminações por esgotos sanitários. (VON SPERLING, 2005)

As concentrações de potássio em águas naturais costumam ser baixas, pois as rochas que o contêm são relativamente resistentes aos efeitos do tempo. No entanto, a indústria e a agricultura fazem amplo uso de sais de potássio, o que leva à sua introdução em águas doces através de descargas industriais e lixiviação dos solos agrícolas. Embora a Resolução CONAMA 357/2005 e a Deliberação Normativa COPAM nº 08/2022 não estabeleçam um limite específico para o parâmetro de potássio, estudos conduzidos por ESTEVES (2011) indicam que as concentrações médias de potássio em rios da América do Sul são em torno de 2 mg L^{-1} . Essas medições fornecem uma referência útil para avaliar a presença desse elemento nas águas fluviais da região.

A série histórica contendo a concentração de potássio para cada estação de monitoramento, pode ser vista na Figura 23, a seguir.

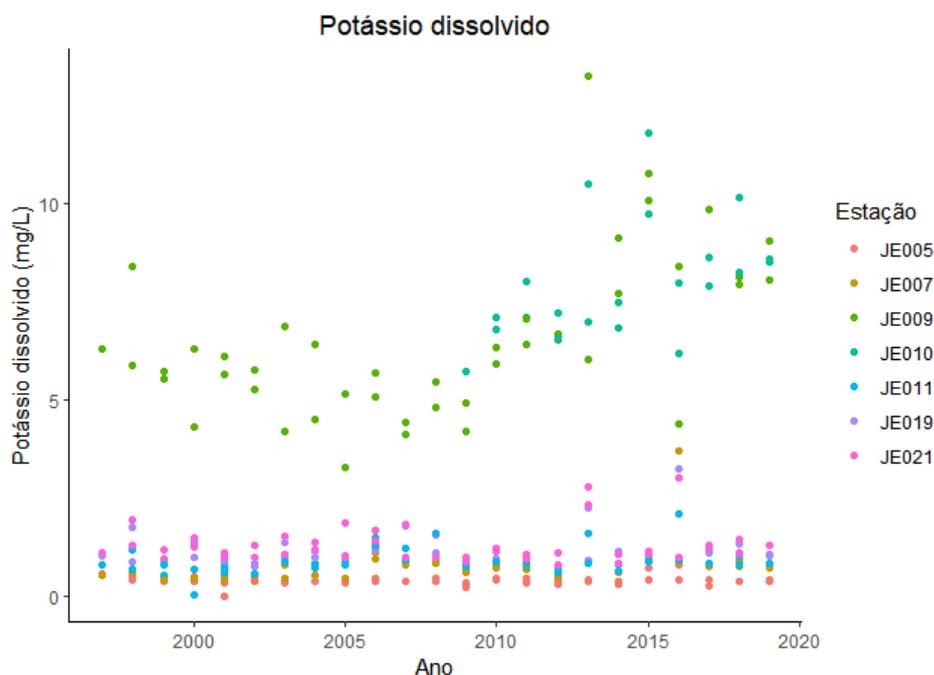


Figura 23 - Série histórica da distribuição de dados de potássio por ano, em cada estação de monitoramento

Durante a maioria das campanhas de monitoramento, foi observado que as estações JE005, JE007, JE011, JE019 e JE021 apresentaram concentrações médias de potássio entre 0,42 e 1,32 mg L⁻¹. No entanto, as estações JE009 e JE010 mostraram concentrações médias mais elevadas, com valores de 6,54 e 8,00 mg L⁻¹, respectivamente. Além disso, foram registrados picos máximos de potássio nessas estações, chegando a 13,25 mg L⁻¹ na JE009 e 11,79 mg L⁻¹ na JE010. Essas variações indicam uma maior presença de potássio nessas duas estações em comparação com as demais. (IGAM, 2008)

Segundo PREZOTTO (2009), o potássio é o macronutriente mais extraído pela cana de açúcar. Em sistemas de produção sem queima, a maior parte do potássio extraído pela cana de açúcar retorna ao sistema de produção. Isso ocorre porque as folhas permanecem no talhão e o potássio retirado pelos colmos é devolvido ao solo por meio da aplicação da vinhaça. A queima de biomassa é uma prática empregada intencionalmente na colheita manual de cana-de-açúcar com a função de eliminar animais peçonhentos e facilitar o corte manual, bem como na produção de pastos e limpeza e preparo de terrenos para plantio. As queimadas modificam a composição química do solo e, após a ocorrência de chuvas, as substâncias presentes nas cinzas chegam às águas subterrâneas e superficiais por meio do escoamento superficial. ANDREAE

(1983) afirma que o excesso de potássio no material particulado é proposto como indicador da queima de biomassa. Desta forma, infere-se que a queima de canaviais pode aumentar a concentração de potássio em corpos d'água. (REIS, 2021; EMBRAPA, 2019)

A alta concentração de potássio no rio Salinas pode estar relacionada às intensas atividades agrícolas que ocorrem na região. No ano de 2013, as cidades de Salinas e Rubelita realizaram uma extensa colheita, abrangendo 450 hectares de milho, 880 hectares de cana-de-açúcar, 360 hectares de feijão e 300 hectares de mandioca. A cana-de-açúcar se destaca como a cultura de maior produção na região. Vale ressaltar que Salinas é amplamente reconhecida como a Capital Mundial da Cachaça, sendo responsável pela maior produção artesanal desse destilado no Brasil e no mundo. A área delimitada pela Indicação de Procedência Cachaça de Salinas abrange tanto Salinas quanto Rubelita. Essas intensivas atividades agrícolas, especialmente o cultivo extensivo de cana-de-açúcar, podem resultar em uma significativa liberação de potássio para os corpos d'água, o que contribui para as concentrações elevadas observadas no rio Salinas. A utilização de fertilizantes contendo potássio nas plantações agrícolas, combinada com processos de lixiviação do solo, pode aumentar a presença desse elemento nas águas da região. (JESUS et al., 2016; VIEIRA, 2020)

Durante diferentes estações do ano, as condições climáticas, o escoamento de água e os processos biogeoquímicos podem variar, resultando em mudanças na composição e nas propriedades da água. De acordo com análise dos gráficos de boxplot expostos no Anexo A e apoio da Tabela 2, foi possível propor a argumentação descrita nos parágrafos a seguir.

Em resumo, as estações de monitoramento JE009 e JE010 mostraram contaminação por coliformes durante todas as estações, indicando a necessidade de medidas de controle mais eficazes. Os valores de pH foram menores no verão e outono, já a alcalinidade e dureza são maiores no inverno. Enquanto a concentração de cloreto apresentou aumento na primavera e verão no rio Jequitinhonha e no verão e outono no rio Salinas. Em geral, chuvas tendem a aumentar a taxa de lixiviação de nutrientes e poluentes da agricultura para os rios e lagos, o que pode ser a causa do aumento da concentração de cloreto nas estações citadas. No entanto, observa-se que na região do rio Salinas há também um aumento em parte do período seco, época que, segundo LEMOS (2010) ocorre efeito de concentração em decorrência da elevada evaporação no corpo d'água. (AGUIAR JÚNIOR et al., 2013)

Não foi observado um padrão sazonal consistente para a condutividade elétrica, potássio, nitrogênio amoniacal e nitrito. Conforme mencionado ao longo do texto, estes parâmetros podem sofrer influência de diferentes fontes e processos, resultando em variações imprevisíveis ao longo do ano. A cor verdadeira e a DQO foram mais altas no verão e outono

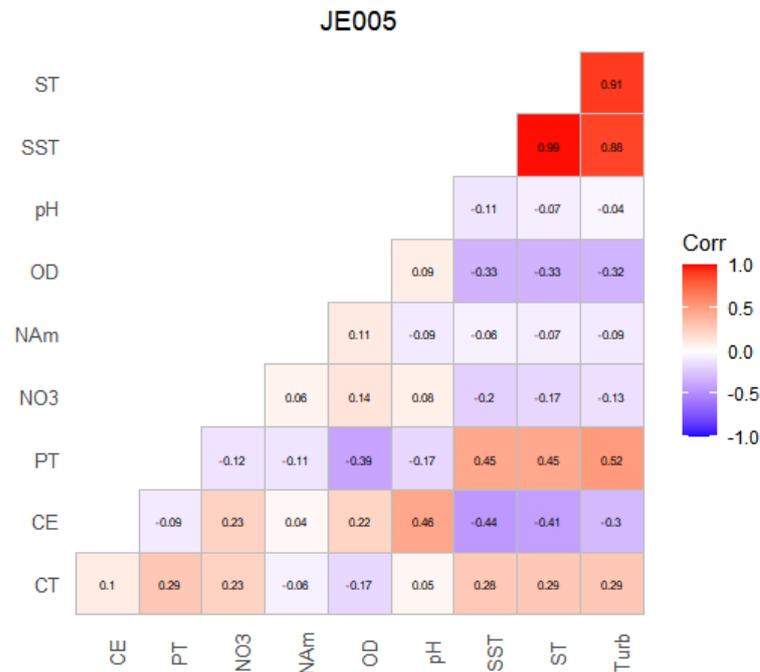
em todas as estações de monitoramento. Durante o verão, observou-se uma tendência de aumento nos níveis de fósforo em várias estações de monitoramento, incluindo JE005, JE009, JE011, JE019 e JE021. Na estação JE010, as concentrações de fósforo foram altas ao longo de todo o ano, com menor dispersão de dados durante o verão. Conforme FARAGE (2009), diversos fatores podem contribuir para o aumento do fósforo durante o período chuvoso, entre eles a solubilização de sais e o deslocamento de íons retidos nas partículas do solo, os quais são transportados para o meio aquático.

O nitrato e o nitrogênio orgânico apresentaram maiores concentrações na primavera, mas nas estações JE009 e JE010 as concentrações de nitrato são mais dispersas e elevadas ao longo do ano. O oxigênio dissolvido foi menor no verão, com maior dispersão na estação JE010. Vale destacar que a elevação da temperatura da água durante o verão diminui a retenção de oxigênio nos corpos d'água, pois a solubilidade do oxigênio é maior em águas frias. Já a turbidez e os sólidos suspensos tendem a ser maiores no verão, isso pode ser atribuído a fatores como o aumento da atividade erosiva e o escoamento superficial urbano. Esses padrões sazonais ressaltam a importância do monitoramento contínuo da qualidade da água e da implementação de medidas de proteção e controle adequadas, isso pode estar relacionado ao aumento da atividade erosiva, ao escoamento de sedimentos e à presença de partículas em suspensão durante as chuvas mais intensas. (SISTE et al., 2011)

5.2 Análise de Correlação Linear

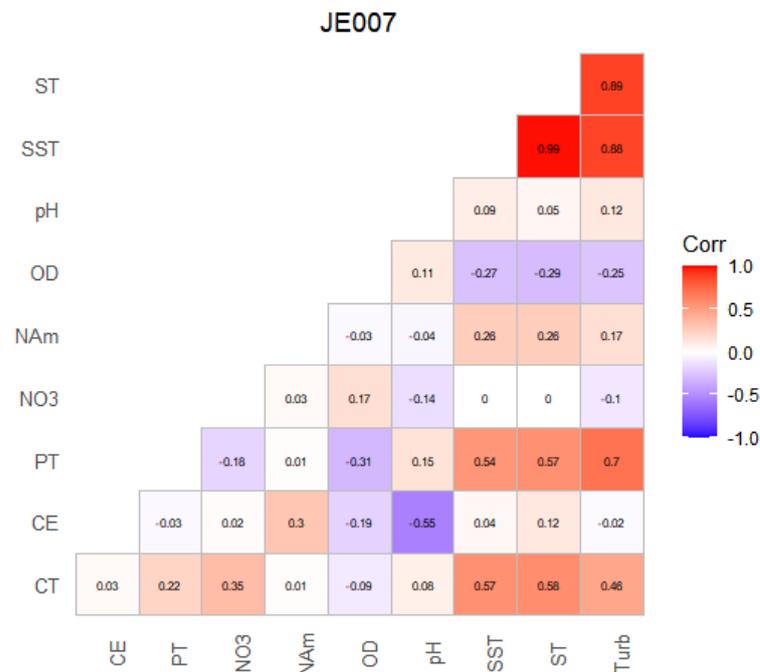
Nas Figuras 24 a 30, são apresentadas os valores de correlação de Pearson referente a todos os parâmetros de qualidade da água utilizados neste trabalho, para as estações de monitoramento JE005, JE007, JE009, JE010, JE011, JE019 e JE021, localizadas na BHRJ.

A correlação de Pearson para cada estação de monitoramento pode ser vista nas Figuras 24 a 30, a seguir.



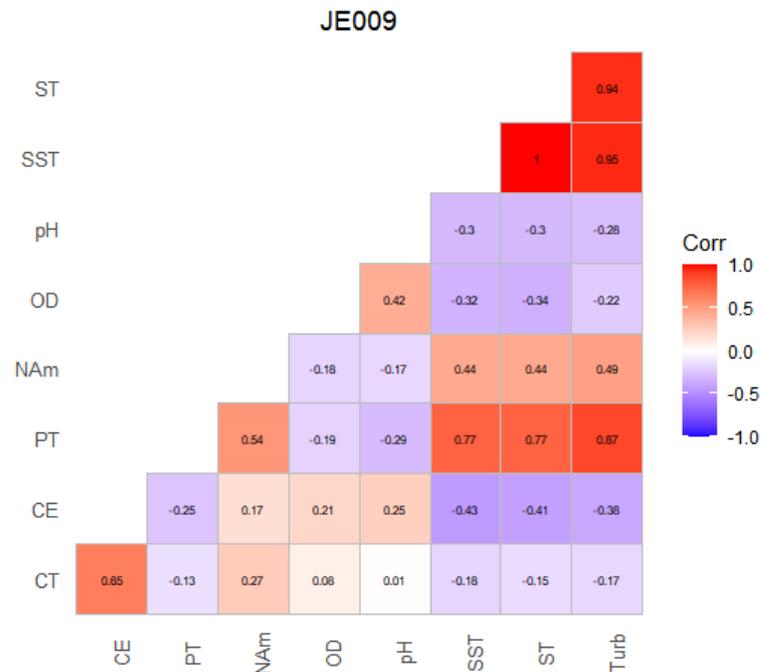
Cloreto Total (CT); Condutividade Elétrica in Loco (CE); Fósforo Total (PT); Nitrato (NO3); Nitrogênio Amoniacal Total (NAm); Oxigênio Dissolvido (OD); Potencial Hidrogeniônico in Loco (pH); Sólidos em Suspensão Totais (SST); Sólidos Totais (ST); Turbidez (Turb)

Figura 24 - Matriz de correlação de Pearson estação JE005



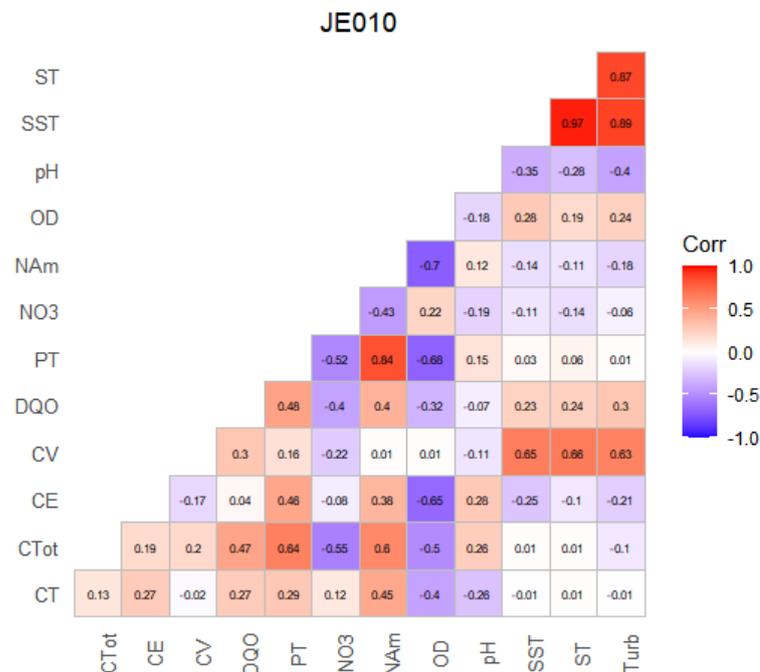
Cloreto Total (CT); Condutividade Elétrica in Loco (CE); Fósforo Total (PT); Nitrato (NO3); Nitrogênio Amoniacal Total (NAm); Oxigênio Dissolvido (OD); Potencial Hidrogeniônico in Loco (pH); Sólidos em Suspensão Totais (SST); Sólidos Totais (ST); Turbidez (Turb)

Figura 25 - Matriz de correlação de Pearson estação JE007



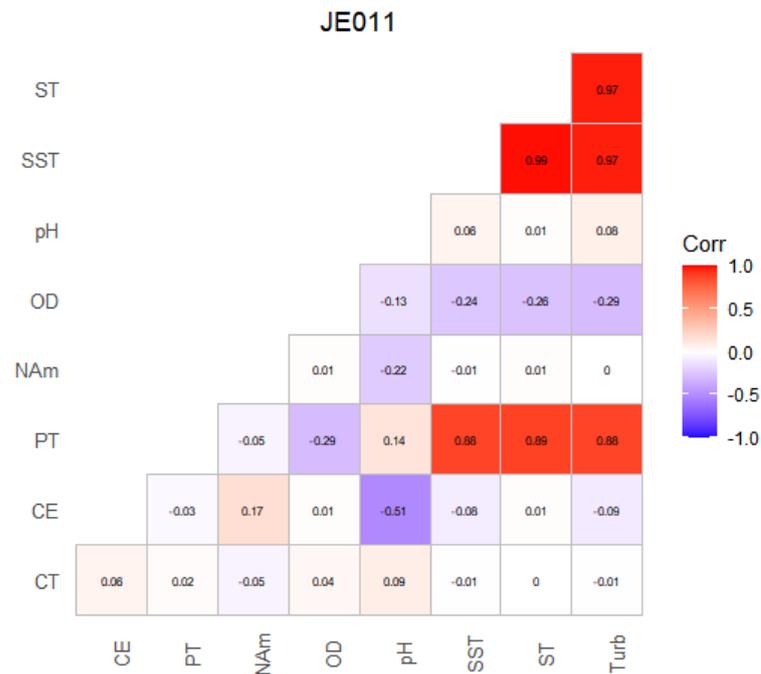
Cloreto Total (CT); Condutividade Elétrica in Loco (CE); Fósforo Total (PT); Nitrogênio Amoniacal Total (NA_m); Oxigênio Dissolvido (OD); Potencial Hidrogeniônico in Loco (pH); Sólidos em Suspensão Totais (SST); Sólidos Totais (ST); Turbidez (Turb).

Figura 26 - Matriz de correlação de Pearson estação JE009



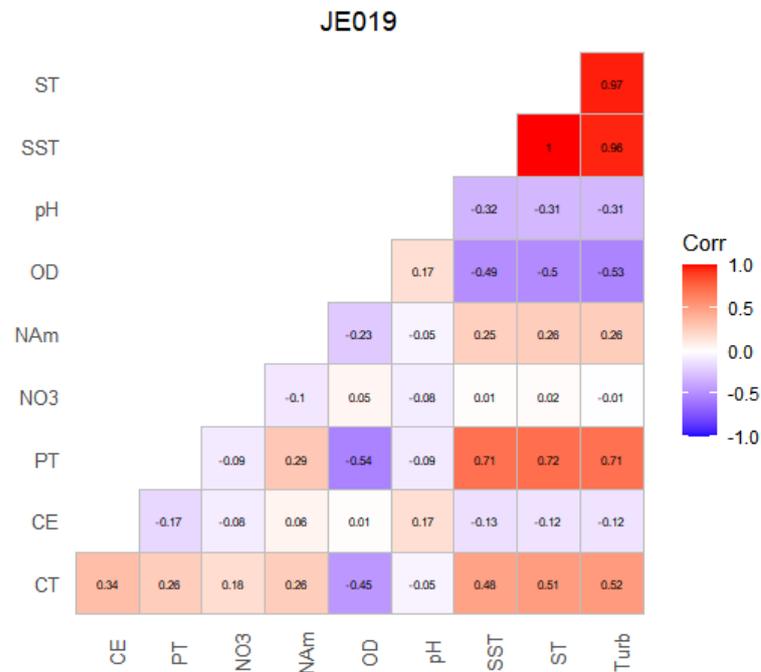
Cloreto Total (CT); Coliformes Totais (CT_{tot}); Condutividade Elétrica in Loco (CE); Cor Verdadeira (CV); Demanda Química de Oxigênio (DQO); Fósforo Total (PT); Nitrato (NO₃); Nitrogênio Amoniacal Total (NA_m); Oxigênio Dissolvido (OD); Potencial Hidrogeniônico in Loco (pH); Sólidos em Suspensão Totais (SST); Sólidos Totais (ST); Turbidez (Turb)

Figura 27 - Matriz de correlação de Pearson estação JE010



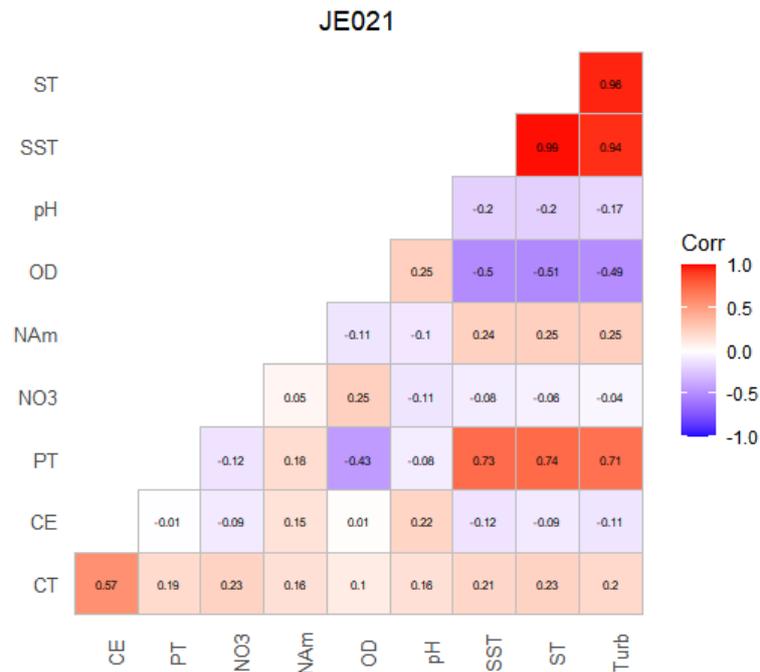
Cloreto Total (CT); Condutividade Elétrica in Loco (CE); Fósforo Total (PT); Nitrogênio Amoniacal Total (NAm); Oxigênio Dissolvido (OD); Potencial Hidrogeniônico in Loco (pH); Sólidos em Suspensão Totais (SST); Sólidos Totais (ST); Turbidez (Turb).

Figura 28 - Matriz de correlação de Pearson estação JE011



Cloreto Total (CT); Condutividade Elétrica in Loco (CE); Fósforo Total (PT); Nitrato (NO3); Nitrogênio Amoniacal Total (NAm); Oxigênio Dissolvido (OD); Potencial Hidrogeniônico in Loco (pH); Sólidos em Suspensão Totais (SST); Sólidos Totais (ST); Turbidez (Turb)

Figura 29 - Matriz de correlação de Pearson estação JE019



Cloreto Total (CT); Condutividade Elétrica in Loco (CE); Fósforo Total (PT); Nitrato (NO₃); Nitrogênio Amoniacal Total (NA_m); Oxigênio Dissolvido (OD); Potencial Hidrogeniônico in Loco (pH); Sólidos Dissolvidos Totais (SDT); Sólidos em Suspensão Totais (SST); Sólidos Totais (ST); Turbidez (Turb).

Figura 30 - Matriz de correlação de Pearson estação JE021

Convém ressaltar que foram empregados os mesmos dados, retirados do banco de dados brutos do IGAM, utilizados para criar a Tabela 2. As correlações significativas encontradas neste trabalho levam em consideração a classificação de que valores de “r” compreendidos entre 0,70 e 1 indicam forte correlação. (PARANHOS et al. 2014 apud COHEN, 1988)

Em todas as estações de monitoramento, a turbidez apresentou uma forte correlação, com valores acima de 0,70, com os sólidos totais e sólidos em suspensão totais. Além disso, também foi observada uma correlação forte entre os sólidos totais e os sólidos em suspensão em todas as estações. Esses resultados indicam uma associação significativa entre a turbidez, os sólidos totais e os sólidos em suspensão, sugerindo que as concentrações de sólidos totais estão altamente relacionadas às concentrações de sólidos em suspensão na água. Isso significa que um aumento na turbidez está associado a maiores concentrações desses sólidos na água. (BRASIL, 2006)

Nas estações JE009, JE011, JE019 e JE021 foi observada uma correlação positiva forte entre os parâmetros fósforo total e turbidez, bem como uma correlação positiva forte entre fósforo total e sólidos totais e em suspensão totais. Na estação JE007, também foi encontrada uma correlação positiva forte entre fósforo total e turbidez, porém com valores de correlação um pouco menores para fósforo total e sólidos totais e em suspensão totais (0,57 e 0,54,

respectivamente). Conforme McDOWELL et al. (2001) afirmam, o fósforo é transportado para corpos de água por meio do fósforo dissolvido na água de escoamento e do fósforo adsorvido às partículas do solo erodido. Em consonância, VON SPERLING (1996) afirma que o fósforo é frequentemente transportado por partículas sólidas em suspensão na água. Portanto, a associação entre fósforo, sólidos e turbidez pode indicar a solubilização do fósforo em sedimentos oriundos de erosão.

Na estação JE010, foi identificada uma correlação positiva significativa entre os parâmetros de fósforo total e nitrogênio amoniacal total. Além disso, também foi observada uma correlação negativa forte entre o nitrogênio amoniacal total e o oxigênio dissolvido e outra negativa igual a 0,68 entre fósforo e oxigênio dissolvido. De forma semelhante, MILZ (2018) também relata uma correlação positiva entre o nitrogênio amoniacal e o fósforo total em seu trabalho.

Essas correlações sugerem que as fontes desses nutrientes estão relacionadas, sendo os esgotos sanitários não tratados e os fertilizantes agrícolas fontes comuns para a entrada desses nutrientes no ambiente aquático. No entanto, é importante destacar que o nitrogênio amoniacal desempenha um papel importante como indicador da poluição causada por despejos domésticos, sendo sua presença significativa nos efluentes de esgotos sanitários um claro indicativo da poluição orgânica gerada pelos resíduos domésticos. Segundo BRAGA et al., (2005) o despejo de esgotos domésticos em corpos de água tem um impacto significativo na diminuição da concentração de oxigênio dissolvido disponível na água. Portanto, é possível inferir que os despejos domésticos podem ser os responsáveis pelo aporte de nitrogênio amoniacal e fósforo na estação JE010, influenciando o crescimento de algas e resultando na diminuição da concentração de oxigênio dissolvido. Essa interação entre os nutrientes provenientes dos despejos domésticos e a diminuição do oxigênio dissolvido evidencia os efeitos da eutrofização. (OLIVEIRA, 2018; SMOL, 2008; GARCIA, 2012, VON SPERLING, 1996)

6 CONCLUSÃO

O objetivo geral deste estudo foi avaliar a qualidade da água da bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha no Baixo e Médio Jequitinhonha, bem como analisar as correlações entre os parâmetros de qualidade da água no período de 1997 a 2019. Para alcançar esse objetivo, foram realizadas a avaliação da variabilidade dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água, bem como a realização de análises estatísticas em busca de correlações.

Os resultados revelaram importantes alterações na qualidade da água nas estações JE007 e JE011, devido à influência da Usina Hidrelétrica de Irapé. Essas mudanças resultaram em problemas para as comunidades locais, como redução do pH, aumento da concentração de manganês, dureza total elevada e condutividade alta, causando coceira na pele, doenças intestinais e mau cheiro e sabor desagradável da água, além da mortandade de peixes e recusa dos animais em consumir a água do rio.

As estações JE009 e JE010 também enfrentam desafios significativos em relação à qualidade da água. A estação JE009 apresentou aumento na concentração de nitrato, além de concentrações críticas de oxigênio dissolvido em alguns momentos, possivelmente indicando que a contaminação por despejos de esgoto sanitário é constante e levam à oxidação dos nitrogenados reduzidos. Nas estações JE009 e JE010, os altos valores de potássio registrados podem estar relacionados à presença de canaviais na região. A estação JE010 também mostrou concentrações médias de oxigênio dissolvido abaixo do limite estabelecido para águas de classe 2, sugerindo uma possível demanda de oxigênio causada pela contaminação por esgotos sanitários. Além disso, foram registrados valores acima do limite máximo para o nitrogênio amoniacal em algumas campanhas.

Os resultados obtidos proporcionaram uma compreensão abrangente da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha. Foi possível identificar padrões sazonais e tendências nos parâmetros avaliados, evidenciando a importância do monitoramento contínuo da água nessa região. A análise estatística revelou correlações significativas entre os parâmetros de qualidade da água, indicando relações complexas entre eles. Especificamente, foram observadas correlações fortes entre turbidez, sólidos totais, sólidos em suspensão, fósforo total, nitrogênio amoniacal total e oxigênio dissolvido, ressaltando correlações que indicam que reforçam a hipótese de despejo de esgotos sanitários.

Esses resultados fornecem subsídios importantes para a gestão e conservação dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Jequitinhonha. A identificação de correlações

entre os parâmetros de qualidade da água sugere a existência de fontes comuns de contaminação, como esgotos domésticos e fertilizantes agrícolas, que afetam a qualidade da água e contribuem para a eutrofização dos corpos d'água. A compreensão dessas relações auxilia na implementação de medidas de proteção e controle adequadas, visando a preservação da qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos.

Esses resultados ressaltam a importância de ações de monitoramento e controle da qualidade da água nessa região, especialmente no que diz respeito à poluição proveniente de esgotos sanitários. É fundamental que medidas sejam tomadas para reduzir a presença de elementos prejudiciais, como nitrato e potássio, e garantir uma adequada disponibilidade de oxigênio dissolvido para a manutenção da vida aquática.

6.1 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). **Enquadramento dos corpos d'água em classes**. Brasília: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, 2020.

AGUIAR JUNIOR, T. R. DE; PARRON, L. M.; FERREIRA, M. T. **Análise da retenção de nutrientes agrícolas lixiviado para o lençol freático pela vegetação riparia**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Anais...**Bento Gonçalves: 2013.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. The occurrence of nitrogen compounds in well water. **Revista de Saúde Pública**, v. 32, n. 2, p. 160–165, abr. 1998.

ALVES, L. S. **Desenvolvimento de medidor de condutividade elétrica da água para fins de monitoramento ambiental**. Porto Alegre, BR-RS Universidade Federal do Rio Grande do Sul, , 2016. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/150061>>

ALVES, T. A. N. **Efeitos do Rompimento da Barragem de Rejeitos B1 do Complexo da Mina Córrego do Feijão Sobre a Qualidade da Água do Rio Paraopeba-MG**. , 2019. Disponível em: <https://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2020/02/201222080362_Thais-Aryadne.pdf>

ANDREAE, M. O. Soot carbon and excess fine potassium: long-range transport of combustion-derived aerosols. **Science**, v. 220, n. 4602, p. 1148–1151, jun. 1983.

ARRUDA, N. M. B. DE. **Avaliação de variáveis de qualidade de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas de Foz do Areia, Segredo e Caxias, como instrumento de gestão de bacias hidrográficas**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2014.

ART, H. W. **Dicionário De Ecologia E Ciências Ambientais**. 2. ed. São Paulo: Melhoramentos, 2001.

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. Tradução: Ricardo Bicca De Alencastro. 7. ed. [s.l.] Bookman, 2018.

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO ESTADO DE MINAS GÉRIAS (ARSAE - MG). **Sistema de Esgotamento Sanitário da sede do Município de Salinas**. (ARSAE Ed.), 2014. Disponível em: <http://arsae.mg.gov.br/images/Relatorios/Rf_tec_op_ses_salinas.pdf>

BARBOSA, R. P. **Aplicação do Índice de Proteção da Vida Aquática (IVA) ao sistema estuarino da baía de Vitória**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, jun. 2010.

BRANCO, S. M. Aspectos institucionais e legais do controle da poluição. Em: PORTO, R. L. L. (Ed.). **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos/Edusp, 1991. p. 349–373.

BRASIL, SAÚDE DA SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. M. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

CHAPMAN, D.; KIMSTACK, V. The selection of water quality variables. Em: **Water quality assessment**. London: Chapman & Hall, 1992. p. 51–117.

COHEN, J. Statistical Power Analysis. **Current Directions in Psychological Science**, v. 1, n. 3, p. 98–101, 1992.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (BRASIL). **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, DF, 2005.

COSTA, P. DE C.; GALIZONI, F. M. À Margem de Irapé: consequências da barragem no rio Jequitinhonha uma década após sua implantação. **Revista Espinhaço**, v. 9, n. 1, jun. 2020.

CASTELÕES, L. **Pesquisas comprovam efeitos danosos das cinzas de queimadas no solo e na água.**, 2019.

DELIBERAÇÃO NORMATIVA CONJUNTA COPAM-CERH/MG Nº 8, DE 21 DE NOVEMBRO DE 2022., [s.d.]. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=56521>>

ESTEVES, F. DE A. **Fundamentos de limnologia**. [2. ed.] ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

ESTEVES, F. DE A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FARAGE, J. DE A. P. **Influência do uso e da ocupação do solo na qualidade da água e capacidade autodepurativa do Rio Pomba**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

FARIAS, T. D. DE. **Avaliação da precipitação de carbonato de cálcio na presença de diferentes inibidores**. Rio de Janeiro, Brasil: Instituto de Química, jun. 2017.

FERREIRA, V. DE O. **Paisagem, recursos hídricos e desenvolvimento econômico na Bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2007.

FERREIRA, V. DE O. **Aspectos litoestruturais e de relevo na bacia do rio Jequitinhonha, em Minas Gerais: subsídios para a gestão de recursos hídricos**. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. **Anais...**Viçosa/MG: 2009.

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

FIGLIARELLI, C. H. U. Estudo do oxigênio dissolvido aliado à análise de uso de solo da área de preservação permanente do Rio Castelo-ES, Brasil / Dissolved oxygen study allied in the soil use analysis of the permanent preservative area of the castelo River-ES, Brazil. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 1, p. 887–900, dez. 2018.

FIGLIARELLI, A. R.; BENEDETTI FILHO, E. A Importância do Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos. **Química e Sociedade**, 2021.

FRANCO, B. D. M.; LANDGRAF, M. Fatores intrínsecos e extrínsecos que controlam o desenvolvimento microbiano nos alimentos. Em: **Microbiologia dos Alimentos**. 5. ed. São Paulo: Atheneu, 2003.

FREITAS, S. S. **Eutrofização no Reservatório Marcela em Itabaiana – SE, e suas implicações ambientais.**, 2001.

GARCIA, C. A. B.; PASSOS, E. DE A. **Química Ambiental**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2012.

GESTA/UFMG – GRUPO DE ESTUDOS EM TEMÁTICAS AMBIENTAIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Relatório técnico “Impactos da UHE Irapé para comunidades a jusante da barragem”**. Belo Horizonte - MG, 2011.

IEPHA/MG. **Guia de Bens Tombados**. 2nd ed ed. Belo Horizonte - Minas Gerais: Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais - IEPHA/MG, 2014.

Índice de Qualidade das Águas (IQA)., [s.d.]. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2019: resumo executivo anual**. (Igam, Ed.), 2021. Disponível em: <<http://200.198.57.118:8080/jspui/handle/123456789/3801>>

LEE, S. W. et al. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. **Landscape and Urban Planning**, v. 92, n. 2, p. 80–89, 2009.

Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997., [s.d.].

Lei nº 12.584, de 17 de julho de 1997., [s.d.].

LEMOS, M. DE; FERREIRA NETO, M.; DIAS, N. DA S. Sazonalidade e variabilidade espacial da qualidade da água na Lagoa do Apodi, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 155–164, fev. 2010.

LENZI, E.; LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B. **Introdução à química da água: ciência, vida e sobrevivência**. [s.l.] Livros Técnicos e Científicos, 2009.

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

LISBOA, A. **Octacilíada: uma odisséia do norte de Minas**. [s.l.] Editora Canaã, 1992.

MACEDO, J. A. B. DE. **Águas & águas**. 3. ed. Belo Horizonte: Embrapa Gado de Leite, 2007.

MAGALHÃES, M. A. **A seca e as humanidades no processo de acesso à água: as barragens do Rio Salinas e o desenvolvimento regional**. Universidade Federal de Uberlândia, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/23318>>

MANAHAN, S. E. **Química Ambiental**. [s.l.] Grupo A, 2013.

Manual prático de análise de água. 3. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2009.

MARTINS, G. L. A. **A disponibilidade e a qualidade da água na promoção do desenvolvimento socioeconômico no município de Jenipapo de Minas - MG. : PPGTAS - Mestrado Profissional em Tecnologia, Ambiente e Sociedade (Dissertações)**., 2016. Disponível em: <<http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/1697>>

MATTHIENSEN, A. et al. **Monitoramento e Diagnóstico de Qualidade de Água Superficial**., jun. 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/126567>>

MCDOWELL, R. W. et al. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 59, n. 3, p. 269–284, maio 2001.

MILZ, B. **Avaliação da qualidade da água e mapeamento por sensoriamento remoto (Landsat-8/Oli) do compartimento ambiental Corpo Central I da Represa Billings (São Paulo, SP)**. , 2018. Disponível em: <<https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/52571>>

MOHRIAK, W.; SZATMARI, P.; COUTO ANJOS, S. M. **Sal - Geologia e Tectônica - Exemplos nas Bacias Brasileiras**. São Paulo: Editora Beca, 2009.

MORAES, P. B. **Tratamento Biológico de Efluentes Líquidos/Tratamento Físico-Químico de Efluentes Líquidos.** , 2008.

NOCE, C. M. et al. **Nova divisão estratigráfica regional do Grupo Macaúbas na Faixa Araçuaí: o registro de uma bacia neoproterozóica.** SBG, Simp. Geol. MG. **Anais...**1997.

OLIVEIRA, A. K. G.; DI SOUZA, L. Alteração das concentrações de nitrogênio e fósforo na bacia do Rio Apodi-Mossoró em função dos efeitos da estiagem e espacialidade. **Blucher Chemistry Proceedings**, v. 3, n. 1, p. 566–576, 2015.

PARANHOS, R. et al. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: o Retorno. **Leviathan (São Paulo)**, n. 8, p. 66–95, jun. 2014.

PARENTE, C. V.; ET AL. Depósitos de escarnitos mineralizados em ferro e cobre do Arco Magmático de Santa Quitéria, Ceará, Província Borborema do nordeste do Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, p. 359–382, 2015.

PEREIRA, R. S. Identificação e Caracterização das Fontes de Poluição em Sistemas Hídricos. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos – ReRH**, v. 1, n. 1, p. 20–36, 2004.

PINTO, S. S.; SILVA, C. S. DA. **Medidas de posição ou tendência central.** , 2012. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br/handle/1/10223>>

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos.** São Paulo, SP: [s.n.].

POLLOCK, M. S.; CLARKE, L. M. J.; DUBÉ, M. G. The effects of hypoxia on fishes: from ecological relevance to physiological effects. **Environmental Reviews**, v. 15, n. NA, p. 1–14, 2007.

Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. , [s.d.]. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html>

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA CASA CIVIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS.** , 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>

PREZOTTO, P. **Biodegradação do carbono orgânico, mineralização do nitrogênio e alterações químicas em solos tratados com vinhaça**. [s.l.] Instituto Agronômico, 2009.

Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2016. São Paulo: [s.n.].

REIS, D. C. O. DOS. **Íons majoritários em fase gasosa, no material particulado e na água de chuva da atmosfera de Ribeirão Preto, uma cidade canavieira do estado de São Paulo.**, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/T.59.2021.tde-26012022-100337>>

RESENDE, A. V. DE. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**: Embrapa Cerrados. Documentos. Planaltina: [s.n.]. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC>>.

RIBEIRO, E. M. et al. Agricultura familiar e programas de desenvolvimento rural no Alto Jequitinhonha. **Revista Economia Sociologia Rural**, v. 45, n. 4, p. 1075–1102, 2007.

RIBEIRO, E. M. **Sete Estudos sobre a Agricultura Familiar do Vale do Jequitinhonha**. 1. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2013.

RONGOEI, P. J. K.; OUTA, N. O. *Cyperus papyrus* L. Growth Rate and Mortality in Relation to Water Quantity, Quality and Soil Characteristics in Nyando Floodplain Wetland, Kenya. **Open Journal of Ecology**, v. 6, n. 12, p. 1297–1314, nov. 2016.

(SEMAD) MINAS GERAIS. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Panorama de abastecimento de água e esgotamento sanitário 2021**. Belo Horizonte: Semad, 2021.

SETTI, A. A.; OTHERS. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2001. v. 328

SILVA, A. F. **Avaliação do potencial geotérmico da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha**. Teófilo Otoni: Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Ambiente e Sociedade, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, 2021.

SILVA, M. T. L. **Aplicação do índice de conformidade ao enquadramento (ICE) de cursos d'água**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.

SISTE, C. E.; GIRÃO, E. G.; DUNCAN, B. L. **Manual para formação e capacitação de grupos comunitários em metodologias participativas de monitoramento da qualidade da água-módulo III: avaliação físico-química.** [s.l.: s.n.].

SMOL, J. P.; CARABALLO, P. Pollution of lakes and rivers: a paleoenvironmental perspective. **Bulletin of Marine Science**, v. 83, n. 2, p. 438, 2008.

Statistics Without Maths for Psychology. 7th. ed. [s.l.] Pearson, 2017.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water.** : Water Supply Paper.U.S. Geological Survey, , 1985.

VASCONCELOS, M. DA G. **Avaliação integrada da qualidade da água do Rio Uberabinha - MG com base na caracterização química dos sedimentos e de espécimes da ictiofauna.** Uberlândia, 2012.

VIANA, L. G. et al. Qualidade das águas da Lagoa do Taí, em São João da Barra, RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 7, n. 1, p. 139–151, 2013.

VIEIRA, T. A. DOS S.; ET AL. Obtenção de indicação geográfica: concentração produtiva e estratégia competitiva do APL da cachaça região Salinas/MG. **Agronomia: Jornadas Científicas-Volume 2**, v. 2, n. 1, p. 113–122, 2020.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade da água e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. Modelling of coliform removal in 186 facultative and maturation ponds around the world. **Water research**, v. 39, n. 20, p. 5261–5273, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2018.

ZÜGE, G.; BARATTO VENDRAME, Z. Caracterização e análise de cloretos da água do Parque Ecológico Honorato Toniolo, Guaporé-RS. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, n. 2, 2020

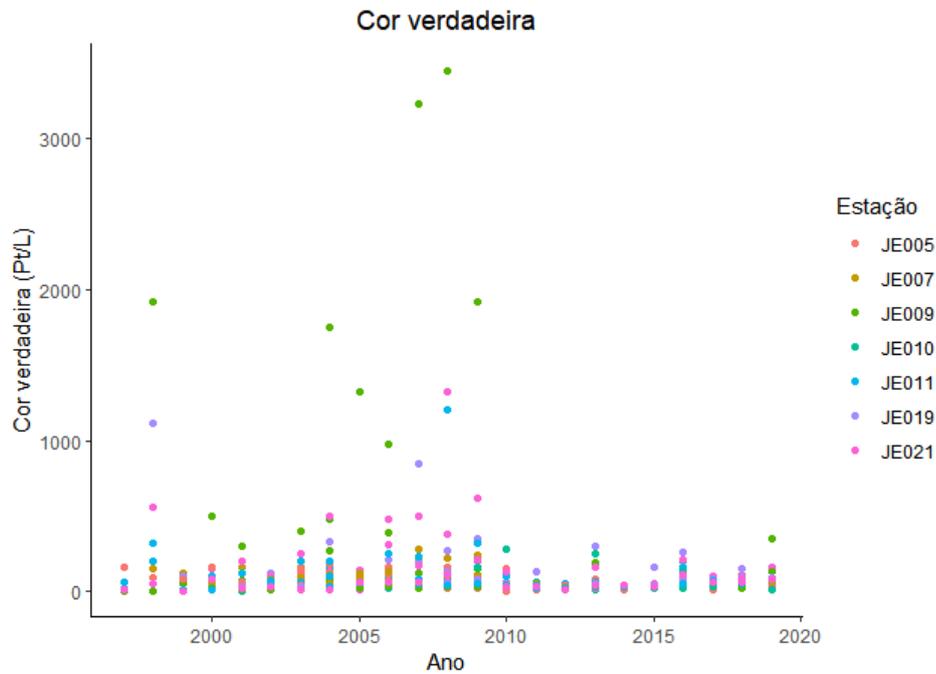
ANEXO A – GRÁFICOS DE DISPERSÃO E BOXPLOT

Figura 31 - Série histórica da distribuição de dados de cor verdadeira por ano, em cada estação de monitoramento

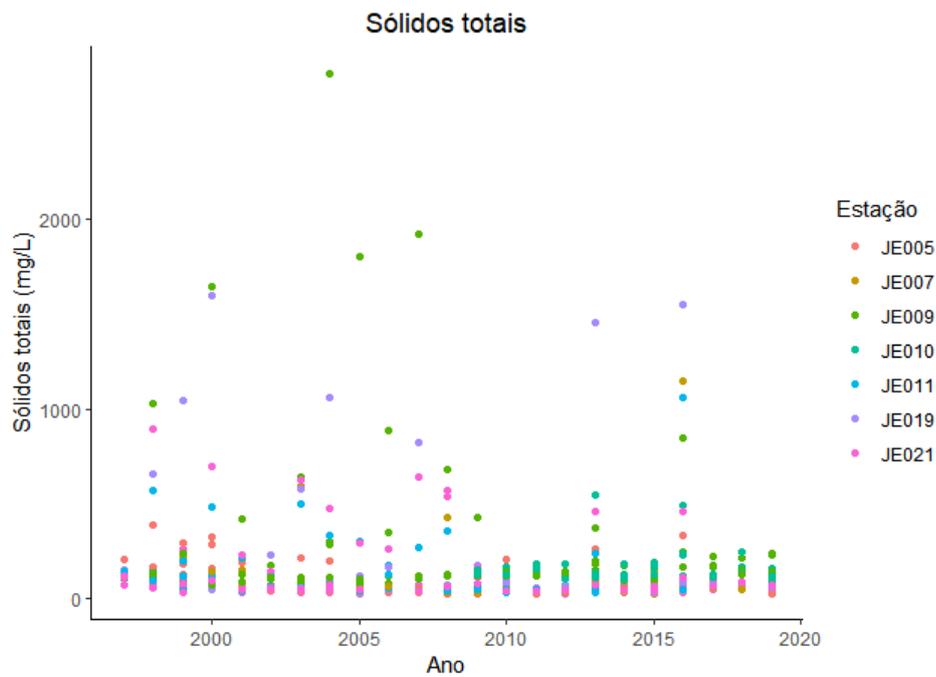


Figura 32 - Série histórica da distribuição de dados de sólidos totais por ano, em cada estação de monitoramento

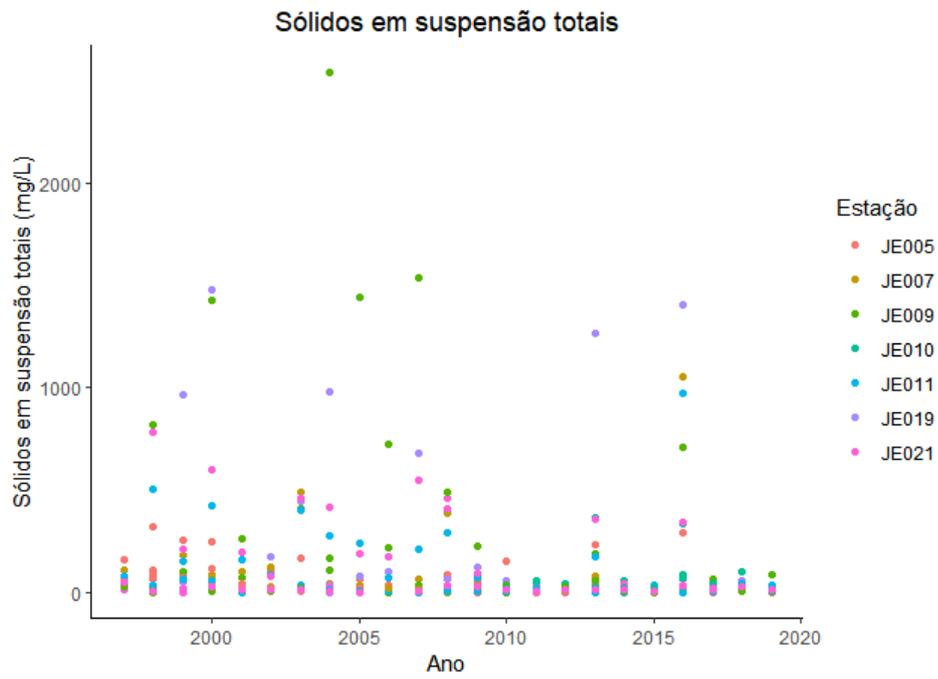


Figura 33 - Série histórica da distribuição de dados de sólidos em suspensão por ano, em cada estação de monitoramento

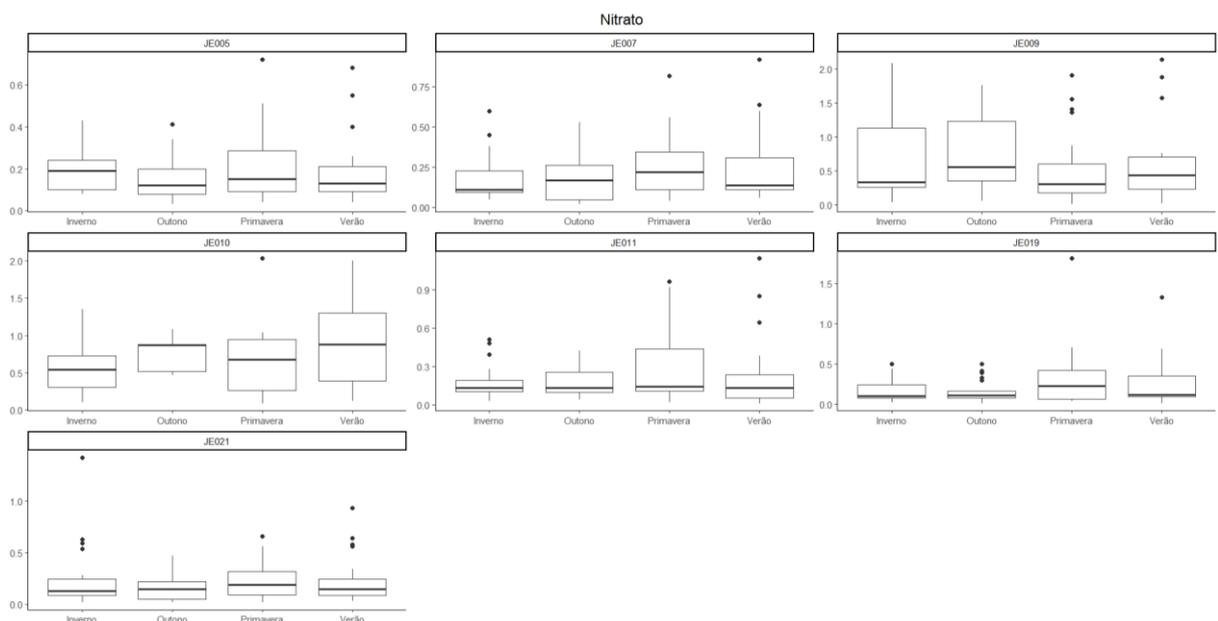


Figura 34 - Sazonalidade do parâmetro de nitrato por estação do ano em toda a série histórica

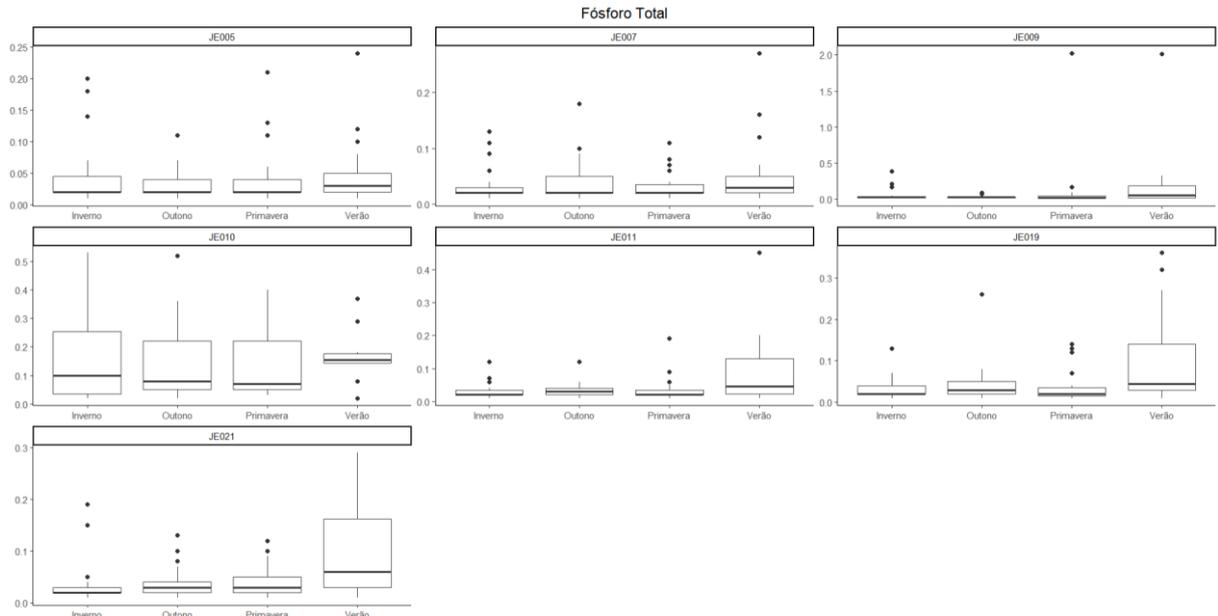


Figura 35 - Sazonalidade do parâmetro de fósforo por estação do ano em toda a série histórica

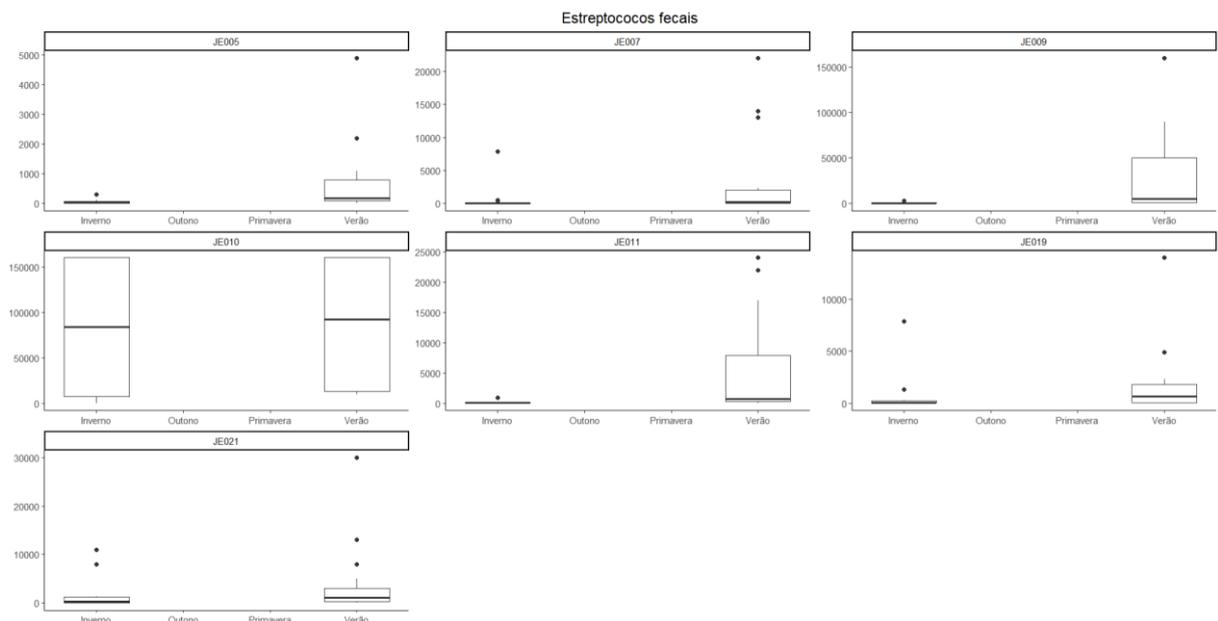


Figura 36 - Sazonalidade do parâmetro de estreptococos fecais por estação do ano em toda a série histórica

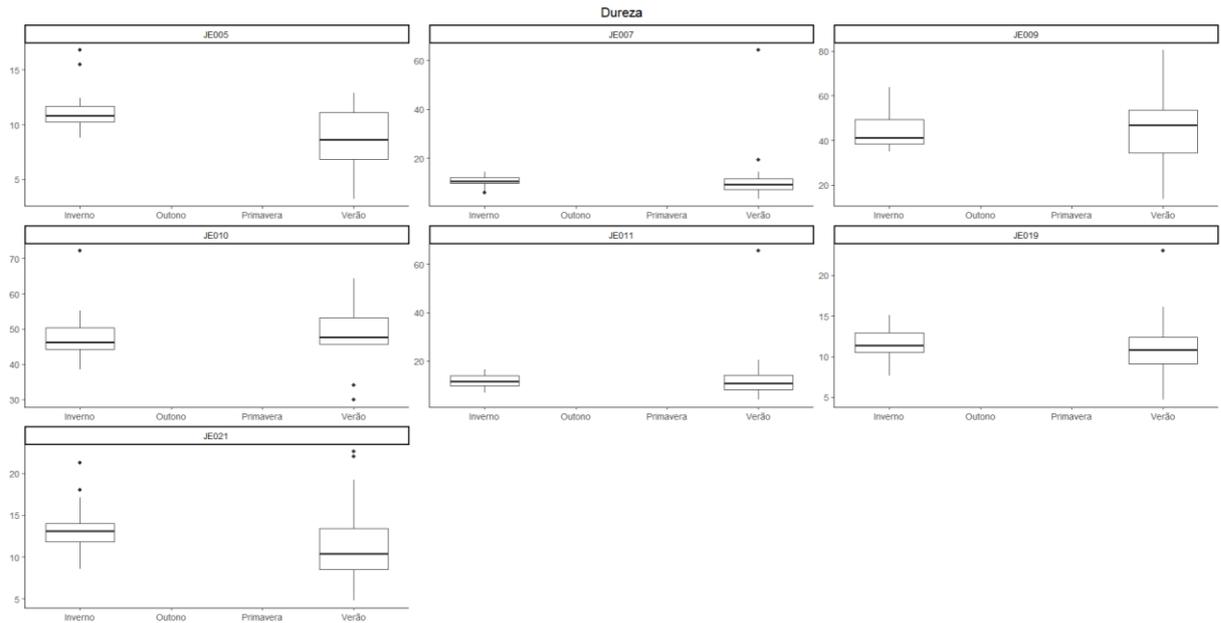


Figura 37 - Sazonalidade do parâmetro de dureza por estação do ano em toda a série histórica

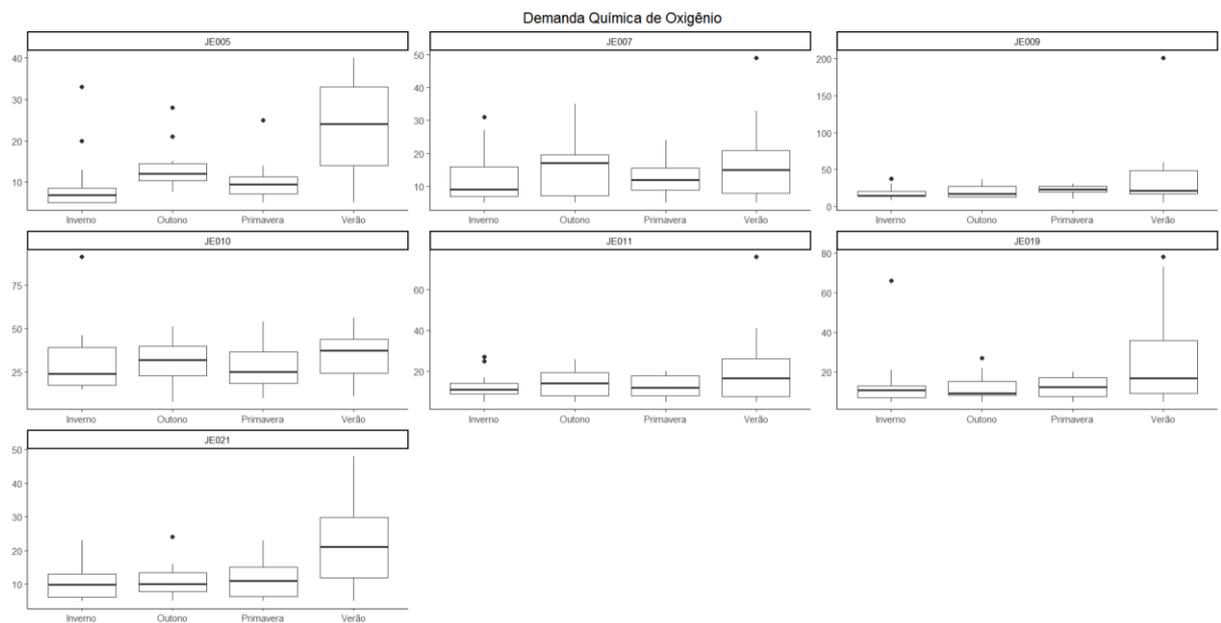


Figura 38 - Sazonalidade do parâmetro de demanda química de oxigênio por estação do ano em toda a série histórica

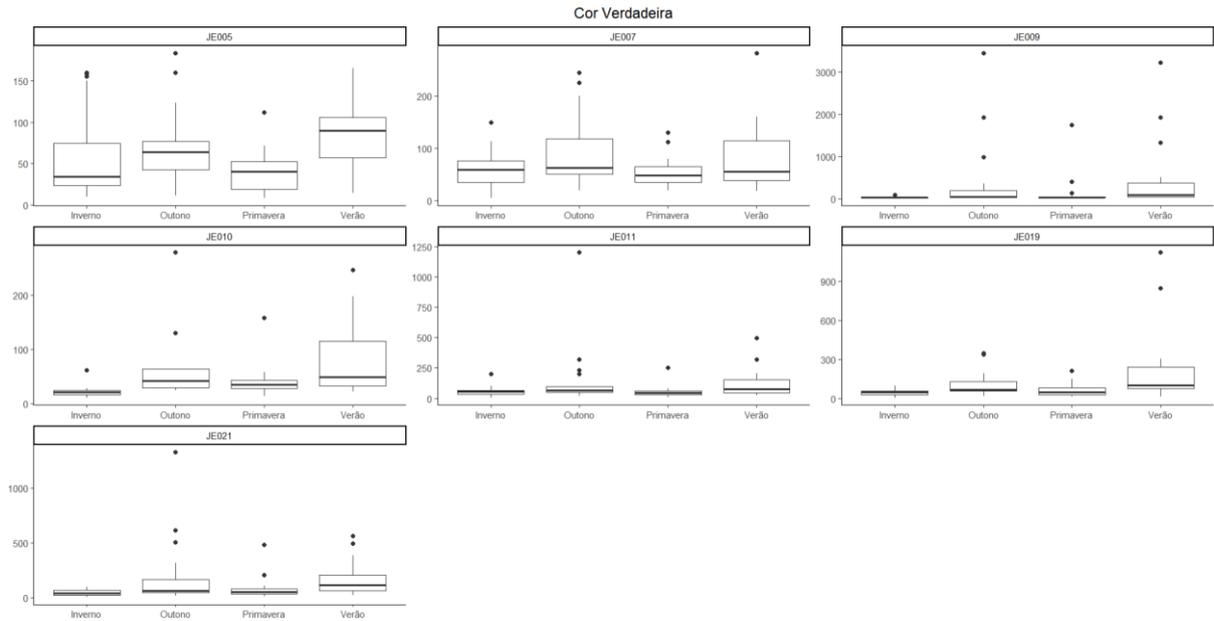


Figura 39 - Sazonalidade do parâmetro de cor verdadeira por estação do ano em toda a série histórica

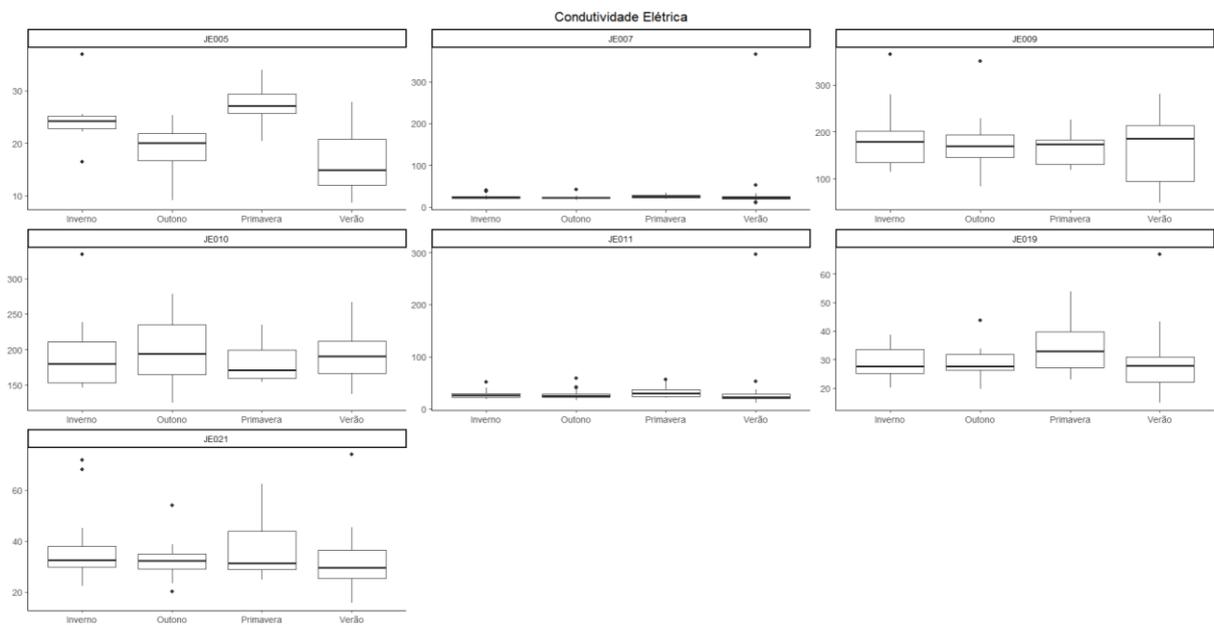


Figura 40 - Sazonalidade do parâmetro de condutividade elétrica por estação do ano em toda a série histórica

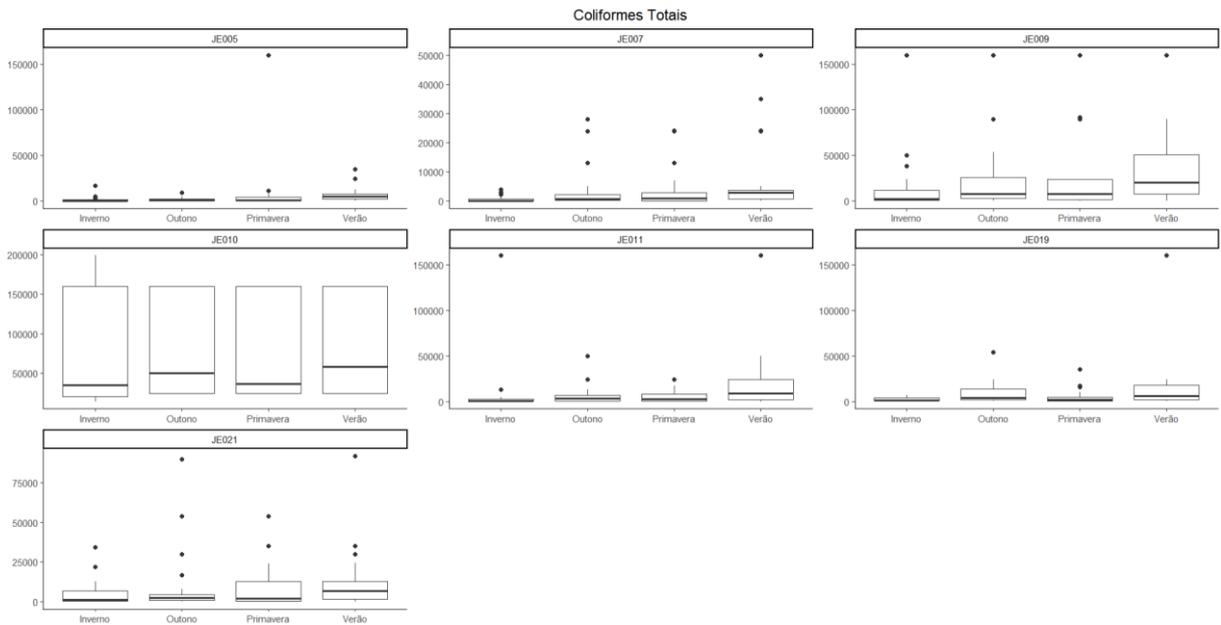


Figura 41 - Sazonalidade do parâmetro de coliformes totais por estação do ano em toda a série histórica

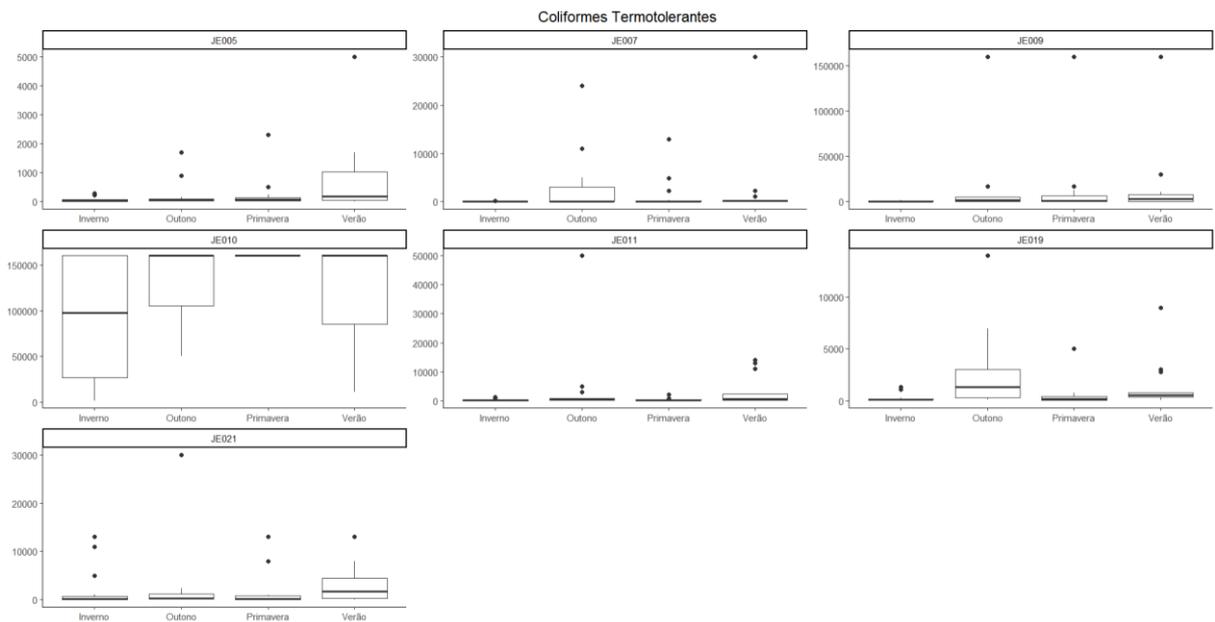


Figura 42 - Sazonalidade do parâmetro de coliformes termotolerantes por estação do ano em toda a série histórica

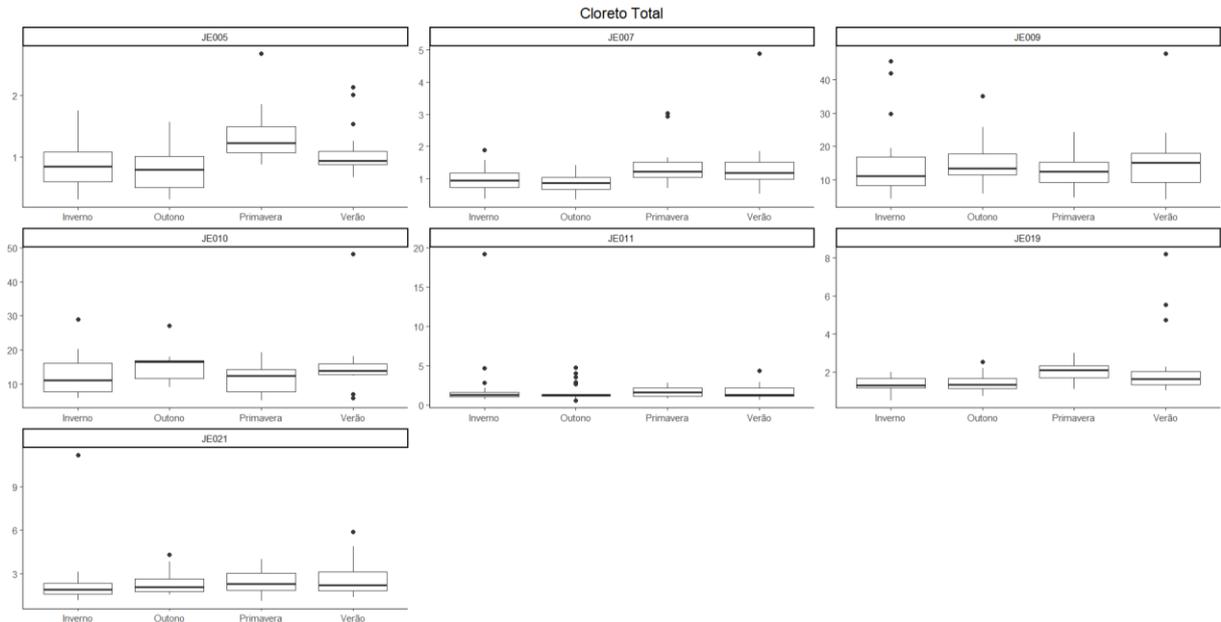


Figura 43 Sazonalidade do parâmetro de cloreto por estação do ano em toda a série histórica

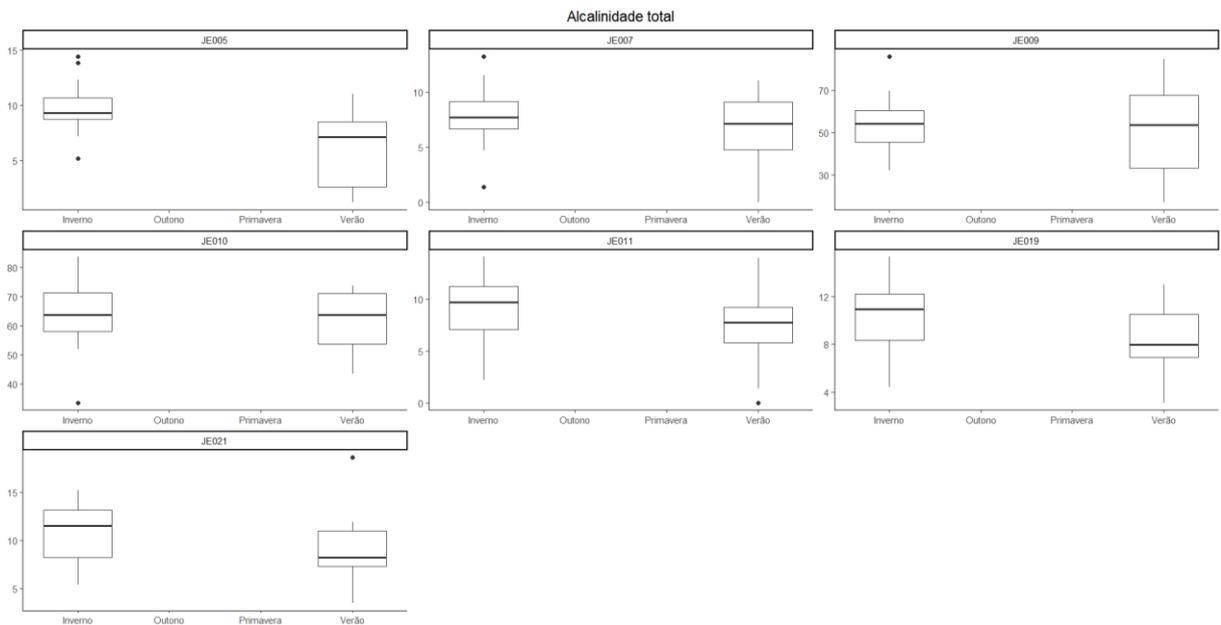


Figura 44 - Sazonalidade do parâmetro de alcalinidade por estação do ano em toda a série histórica

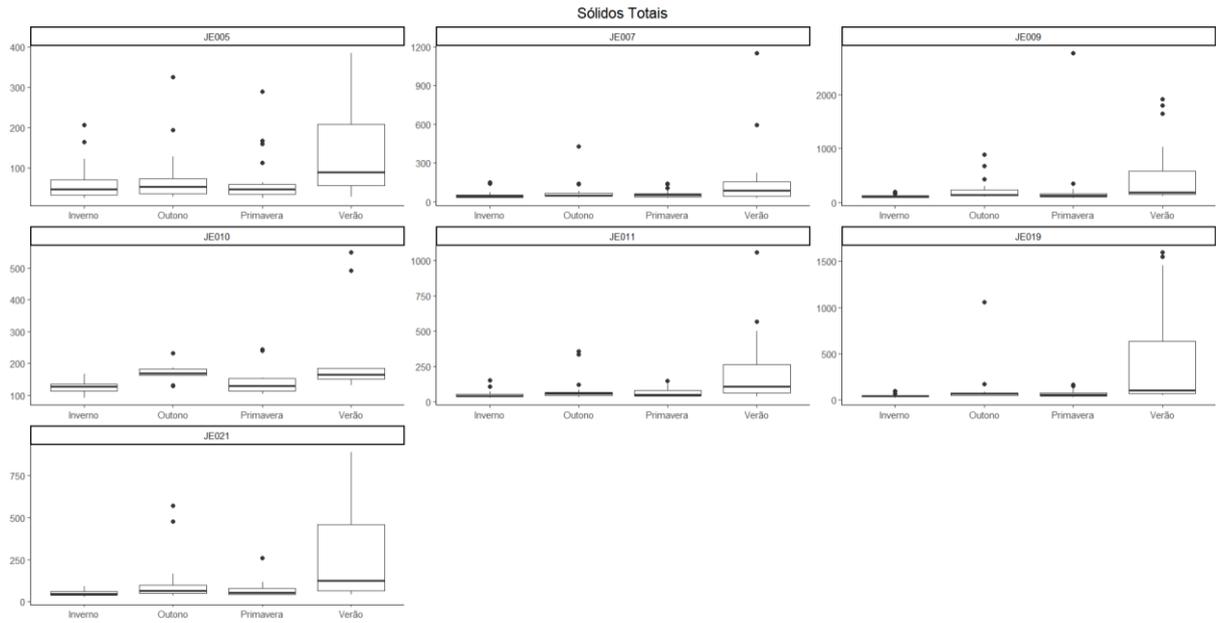


Figura 45 - Sazonalidade do parâmetro de sólidos totais por estação do ano em toda a série histórica

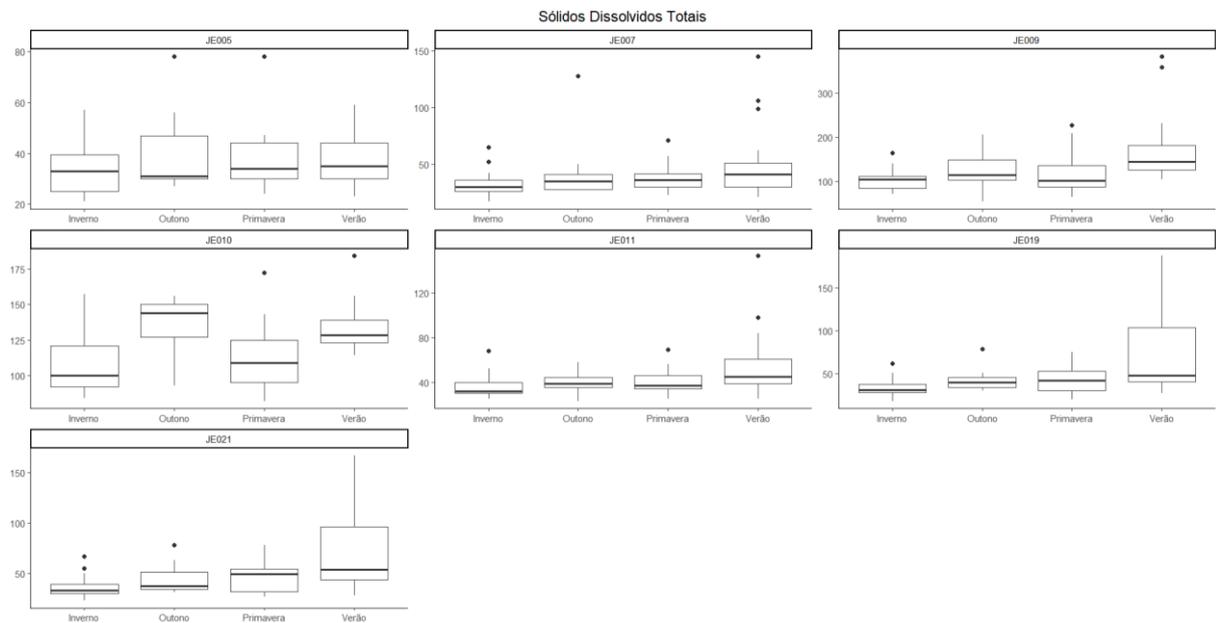


Figura 46 - Sazonalidade do parâmetro de sólidos dissolvidos por estação do ano em toda a série histórica

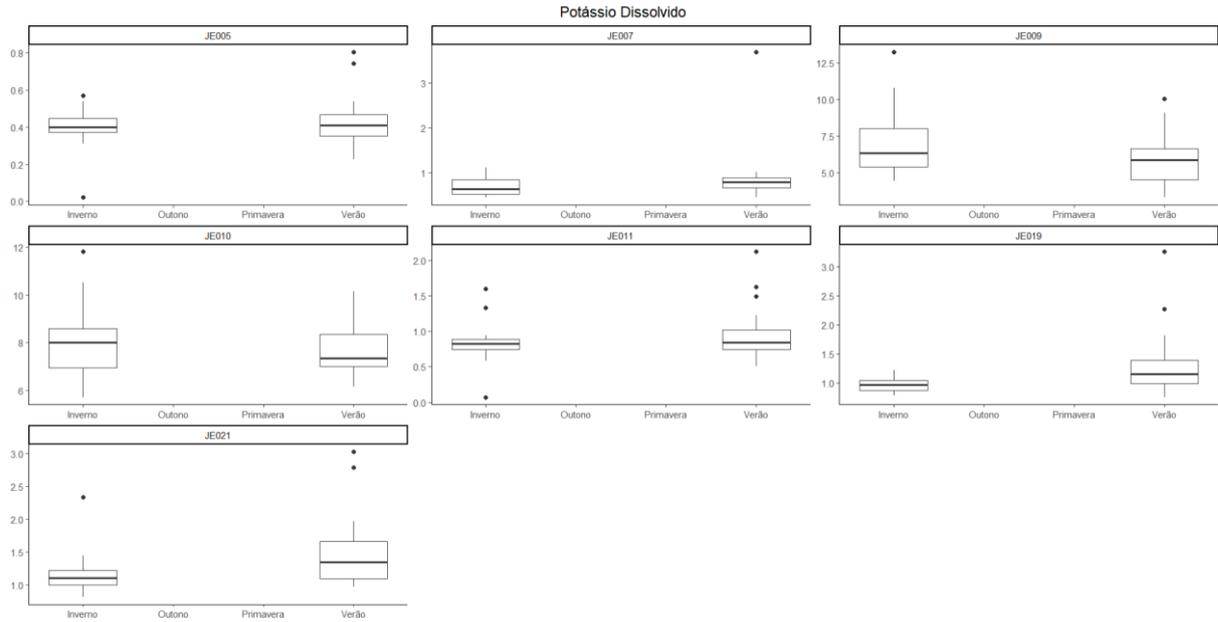


Figura 47 - Sazonalidade do parâmetro de potássio por estação do ano em toda a série histórica

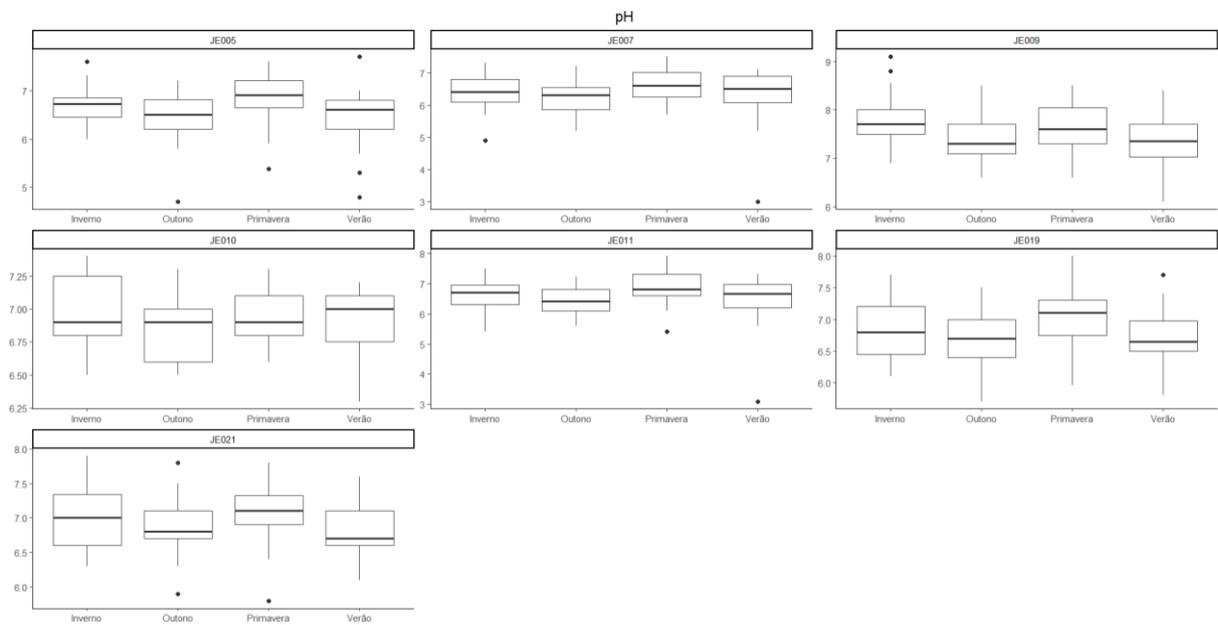


Figura 48 - Sazonalidade do parâmetro de pH por estação do ano em toda a série histórica

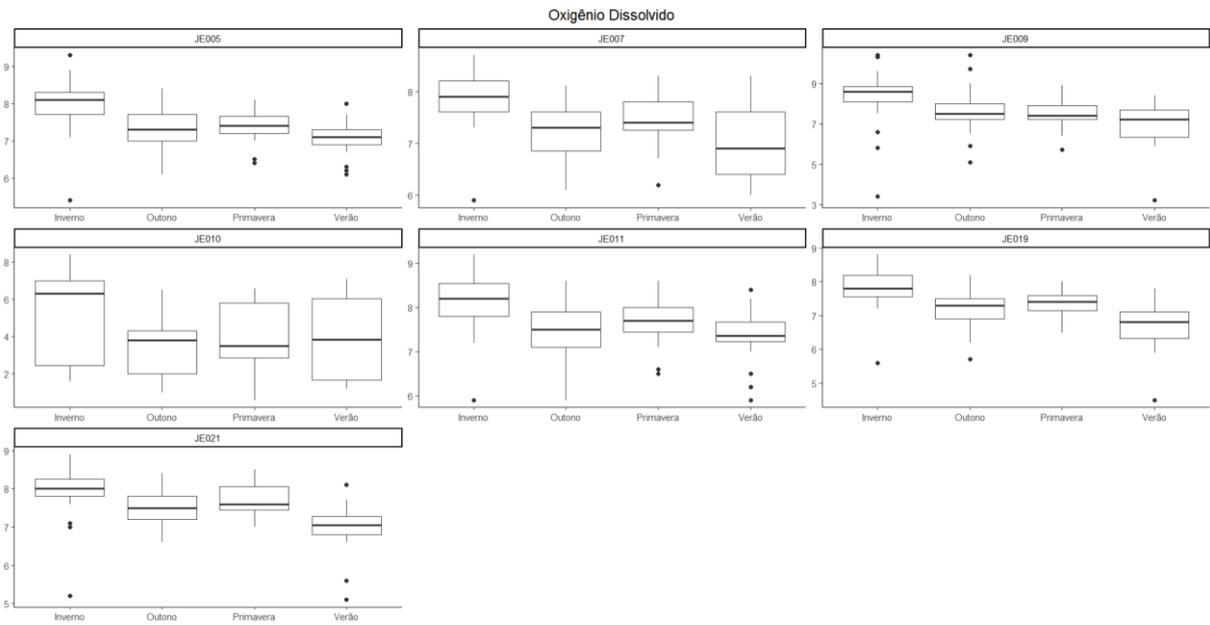


Figura 49 - Sazonalidade do parâmetro de oxigênio dissolvido por estação do ano em toda a série histórica

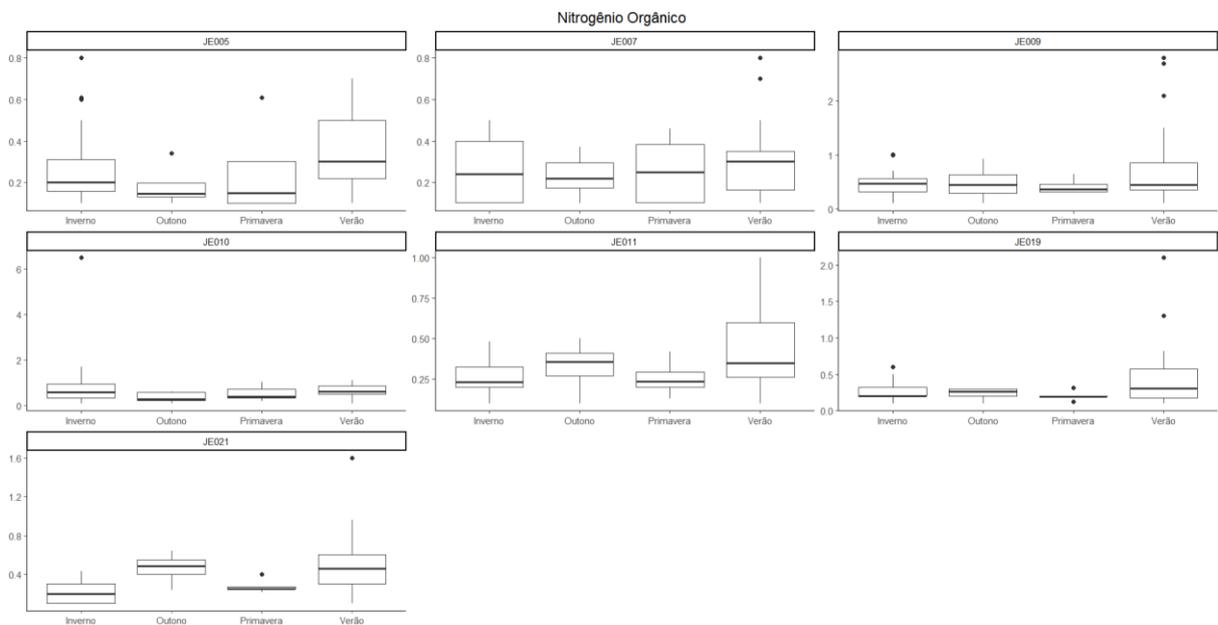


Figura 50 - Sazonalidade do parâmetro de nitrogênio orgânico por estação do ano em toda a série histórica

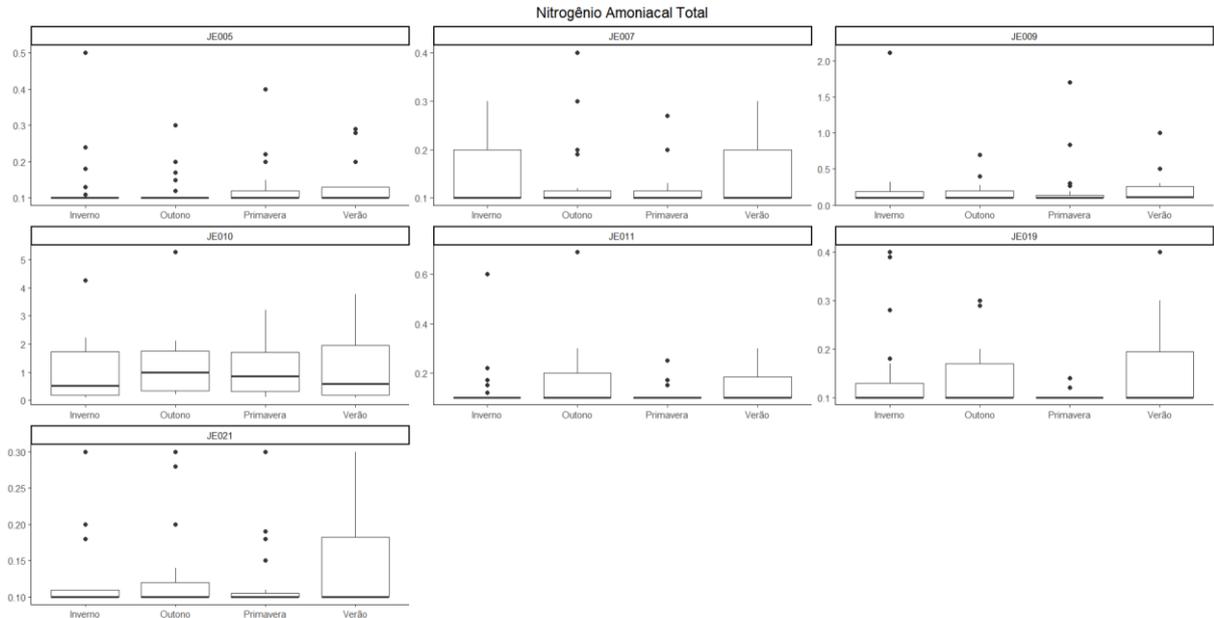


Figura 51 - Sazonalidade do parâmetro de nitrogênio amoniaco por estação do ano em toda a série histórica

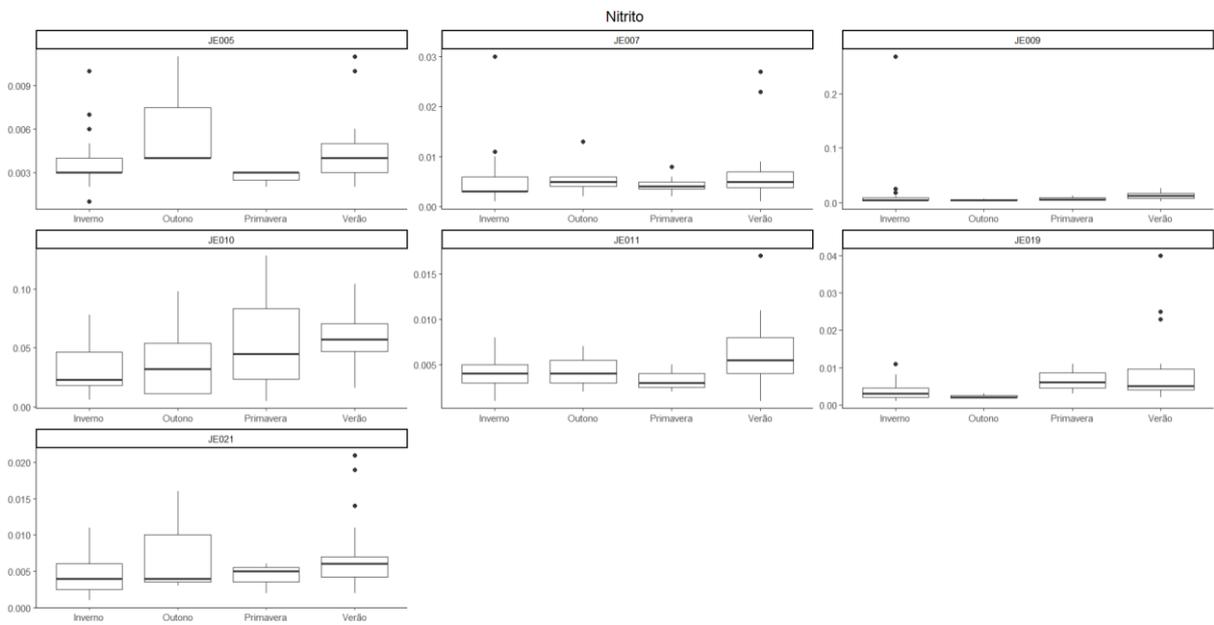


Figura 52 - Sazonalidade do parâmetro de nitrito por estação do ano em toda a série histórica



CEFET-MG

Coordenação do Curso de Bacharelado em Química Tecnológica

Trabalho de Conclusão de Curso

DECLARAÇÃO

Eu, Patrícia Sueli de Rezende, lotada no Departamento de Química, Campus Nova Suíça do CEFET-MG, orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso da discente Victória Cristiny Tavares Santos, matrícula 201712410318, declaro que, a discente realizou as correções e modificações sugeridas pela banca examinadora e que aprovo a versão final corrigida do trabalho intitulado ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DE ÁGUA DA BACIA DO RIO JEQUITINHONHA.

Belo Horizonte, 27 de junho de 2023.

Assinatura e Carimbo



Emitido em 27/06/2023

DECLARAÇÃO Nº 10/2023 - DEQUI (11.55.09)
(Nº do Documento: 2979)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 27/06/2023 18:21)
CLEVERSON FERNANDO GARCIA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DEQUI (11.55.09)
Matrícula: ###504#8

(Assinado digitalmente em 30/06/2023 10:42)
PATRICIA SUELI DE REZENDE
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DEQUI (11.55.09)
Matrícula: ###214#2

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número: **2979**, ano: **2023**, tipo: **DECLARAÇÃO**, data de emissão: **27/06/2023** e o código de verificação: **e555ff585b**