

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

Karla Lorrane de Oliveira

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DE RESERVATÓRIOS E PRINCIPAIS**  
**TRIBUTÁRIOS:**

**Estudo de caso do reservatório da usina hidrelétrica de Irapé – MG**

**Belo Horizonte**

**2020**

Karla Lorrane de Oliveira

**QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DE RESERVATÓRIOS E PRINCIPAIS  
TRIBUTÁRIOS:  
Estudo de caso do reservatório da usina hidrelétrica de Irapé – MG**

**Versão final**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof. Dra. Sílvia Corrêa Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Cristiano Christofaro Matosinhos

Belo Horizonte  
2020

O48q

Oliveira, Karla Lorrane de.

Qualidade das águas superficiais de reservatórios e principais tributários [recurso eletrônico]: estudo de caso do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Irapé - MG / Karla Lorrane de Oliveira. – 2020.

1 recurso online (xv, 161 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira.

Coorientador: Cristiano Christofaro Matosinhos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 85-142.

Bibliografia: f. 71-84.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Meio ambiente - Teses.  
3. Água - Qualidade - Teses. 4. Reservatórios - Teses. 5. Solo - Uso - Teses. I. Oliveira, Sílvia Maria Alves Corrêa. II. Matosinhos, Cristiano Christófar. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

*Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos*

*Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte - BRASIL*

*Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br*

*http://www.smarh.eng.ufmg.br*

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Qualidade das Águas Superficiais de Reservatórios e Entorno: Estudo de Caso do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Irapé - Mg

**KARLA LORRANE DE OLIVEIRA**

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Profª SÍLVIA MARIA ALVES CORRÊA OLIVEIRA

Profª MARIA CLARA VIEIRA MARTINS STARLING

Profª LENORA NUNES LUDOLF GOMES

Prof. CRISTIANO CHRISTOFARO MATOSINHOS

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Prof. Antonio Teixeira de Matos  
Coordenador

Versão Final aprovada por

Profª. Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira  
Orientadora

Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2020.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Universidade Federal de Minas Gerais, em especial ao Programa de Pós-Graduação de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SMARH), pela oportunidade que me foi concedida.

A todos os profissionais que compartilharam comigo seus conhecimentos, e pela dedicação, paciência e todo o apoio que me foi dado durante o mestrado. Destaco, aqui, minha orientadora Sílvia Oliveira e meu coorientador Cristiano Christofaro, que dedicaram uma parte do seu tempo para me auxiliar na execução deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade de participar desse momento tão importante, e pelas contribuições acerca do trabalho.

A todos do Grupo de Estudos para Tratamento Estatístico de Dados Ambientais (GETEDA) por todo apoio e ajuda que me foram dados e pelos momentos de descontração ao longo desses dois anos.

À Cemig pela parceria e pela disponibilização dos dados de monitoramento aqui utilizados.

Ao CNPq pela disponibilização da bolsa de estudo.

Aos meus pais, pelo amor e incentivo incessáveis e por me guiarem e me apoiarem sempre em minhas decisões, fazendo-o com todo o carinho e dedicação possíveis.

Aos demais familiares, pelo suporte e carinho me dados ao longo da vida.

Agradeço aos velhos e novos amigos, em especial ao meu grande amigo e namorado André Luís, por todas as palavras de conforto que me ajudaram a não me desesperar diante das dificuldades, e a minha amiga Bruna Regina pela longa parceria e pelo auxílio nas traduções necessárias nesse projeto.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a minha formação. Hoje comemoro essa vitória com a certeza de que sem vocês não teria chegado tão longe.

Deixo aqui, portanto, os meus sinceros agradecimentos!

## RESUMO

Nessa pesquisa foram utilizadas técnicas estatísticas não paramétricas e multivariadas, cálculo do índice de conformidade ao enquadramento (ICE) e análises de violação à legislação e de tendência aos dados de monitoramento de parâmetros físico-químicos de qualidade de água, gerados entre 2008 e 2018, com o intuito de avaliar a qualidade da água do reservatório da UHE de Irapé e seus tributários, sob uma perspectiva espaço-temporal, relacionando as variações observadas com os tipos de ambientes (lêntico e lótico) e o uso do solo da bacia.

A análise multivariada de Cluster separou as estações em dois grupos, conforme suas localizações e o tipo de ambiente no qual estão inseridas. Os resultados do teste não paramétrico de Kruskal Wallis, seguido pelo teste de comparações múltiplas, juntamente com os gráficos *box-plots*, sugeriram uma melhor qualidade de água no grupo formado por estações localizadas no reservatório e próximas a ele, se comparado ao grupo formado pelos seus tributários. Em relação à violação, os parâmetros ferro dissolvido, DBO,  $P_T$  e pH apresentaram desconformidades pelo menos uma vez em todas as estações e todos os onze anos da série histórica, com o ferro dissolvido merecendo destaque, por apresentar tendência de elevação em 64,3% das estações de monitoramento. Apesar das desconformidades observadas, 61,3% dos 88 ICE calculados para cada ano foram qualificados como “bom” e 29,5% como “aceitável”, indicando que, no geral, a qualidade das águas do reservatório e nos seus tributários é adequada aos usos propostos para a Classe 2 de enquadramento. Além disso, a análise de influência da sazonalidade apontou que o ICE referente ao período chuvoso se manteve na mesma faixa em 43% das estações de monitoramento e piorou em 57% delas, quando comparados aos do período seco, o que pode acontecer devido ao propenso maior aporte de nutrientes consequente do maior carreamento de material alóctone para os corpos d'água.

O uso do solo segue o padrão para as áreas de influência das estações de monitoramento estudadas, sobressaindo-se os usos “floresta natural”, que pode ser associado aos bons resultados de índice obtidos, e “agropecuária” e “reflorestamento”, que podem estar relacionados aos altos valores de porcentagem de violação obtidos para o  $P_T$ .

**Palavras-chave:** Qualidade das águas; Reservatórios; Uso e ocupação do solo.

## ABSTRACT

This research used nonparametric and multivariate statistical techniques, calculation of the CCME water quality index (CCME-WQI) and analysis of violations of legislation and trends in data from water quality monitoring, in order to evaluate water quality of the Irapé UHE reservoir and its tributaries, from a space-time perspective, relating the variations observed with the types of environments (lentic and lotic) and the use of the basin's soil.

Cluster multivariate analysis separated the stations into two groups, according to their location and the type of the environment in which they are located. The results of the Kruskal Wallis nonparametric test, followed by the multiple comparison test, together with the box-plot graphs, suggested better water quality in the group formed by stations located in the reservoir and nearby. Related to the violation, the parameters of dissolved iron, BOD, PT and pH showed non-conformities at least once in all seasons and in every year of the historical series, specially the dissolved iron, for presenting an increasing trend of 64,3% in the monitoring stations. Despite the observed non-conformities, 61,3% of the 88 calculated CCME-WQI were classified as “good” and 29,5% as “acceptable”, indicating in general that the quality of the water analyzed is adequate for the proposed uses for Class 2 in Brazil, which are waters that can be consumed after simplified treatment. Furthermore, the seasonality influence analysis showed that the CCME-WQI for the rainy season remained in the same range in 43% of the monitoring stations and decreased in 57% of them, when compared to the dry season, which may be due to the propensity greater supply of nutrients as a result of the greater transport of allochthonous material to the water bodies.

The soil use follows the pattern for the areas of influence of the monitoring stations studied, with emphasis on the uses of “natural forest”, which can be associated with the good index results obtained, “agriculture and livestock” and “reforestation”, which can be related to the high values of percentage of violation obtained for PT.

**Keywords:** Water quality; reservoirs; land use and land covers.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Linha do tempo da trajetória do projeto Irapé, desde a sua concepção até a sua inauguração

Figura 4.2 – Localização geográfica da UHE Irapé e municípios diretamente atingidos pelo seu reservatório

Figura 5.1 – Fluxograma da metodologia utilizada para a seleção do banco de dados a ser utilizado no presente estudo

Figura 5.2 – Fluxograma da metodologia utilizada no presente estudo após a seleção do banco de dados

Figura 6.1 – Localização geográfica das estações de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e principais tributários selecionadas para o presente estudo

Figura 6.2 – Dendrograma da análise de agrupamento gerado pelo método *Ward* a partir dos dados de monitoramento da qualidade da água da UHE Irapé, referente ao período de 2008 a 2018 para 14 parâmetros e 14 estações de monitoramento

Figura 6.3 – Mapa de localização das estações de monitoramento destacadas por agrupamentos formados na AA

Figuras 6.4 – *Box-plots* por parâmetro que apresentou diferença significativa no teste de KW ( $p < 0,05$ ), por agrupamento formado pela AA

Figura 6.5 – *Box-plots* para visualização da ocorrência de violação de cada parâmetro aos padrões expressos pela DN conjunta COPAM/CERH n 01/08, em cada estação de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Figura 6.6 – Classes de uso do solo identificados em cada área de influência das estações de monitoramento da UHE Irapé e porcentagem dos três principais usos

Figura 6.7 – Alterações nas áreas das classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR03-LO, ao longo da série histórica analisada

Figura AIV.1 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR03-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

Figura AIV.2 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR06-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

Figura AIV.3 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR08-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%



Figura AIV.4 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR09-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

Figura AIV.5 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR10-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

Figura AIV.6 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR11-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

Figura AIV.7 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR70-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

Figura AIV.8 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR95-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

Figura AIV.9 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR115-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

Figura AIV.10 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR20-LE. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

Figura AIV.11 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR30-LE. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

Figura AIV.12 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR40-LE. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

Figura AIV.13 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR50-LE. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

Figura AIV.14 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR60-LE. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

Figura AVII.1 – Áreas de influência (AI) das estações de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e seus principais tributários

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Resumo das atividades a serem desenvolvidas numa rede de monitoramento

Tabela 3.2 – Trabalhos de avaliação de dados de monitoramento da qualidade das águas combinando diferentes ferramentas estatísticas

Tabela 4.1 – Descrição das características técnicas da UHE Irapé

Tabela 5.1 – Classificação do ICE conforme *Canadian Council of Ministers of the Environment*

Tabela 5.2 – Classes de uso do solo identificadas na bacia do Alto Jequitinhonha

Tabela 6.1 – Número de coletas realizadas em superfície, no monitoramento das estações do reservatório da UHE Irapé e principais tributários, em cada estação, por ano

Tabela 6.2 – Descrição das estações de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e principais tributários selecionadas para o estudo

Tabela 6.3 – Descrição do banco de dados original do reservatório da UHE Irapé e principais tributários e do selecionado após análises

Tabela 6.4 – Nome, notação de referência, unidade e metodologia utilizada para mensuração dos parâmetros selecionados

Tabela 6.5 – Valores das distâncias de ligação (DL) nas quais os grupos foram formados ao longo dos passos da análise de agrupamento

Tabelas 6.6 – Resultado do teste de comparações múltiplas por parâmetro, após diferença significativa indicada pelo teste de KW ( $p < 0,05$ ), considerando os agrupamentos formados pela AA (G1, G2, VIR95-LO e VIR60-LE)

Tabela 6.7 – Resultados compilados do teste de comparações múltiplas e dos *box-plots*, por parâmetro

Tabela 6.8 – Percentual de violação dos parâmetros analisados, em cada estação de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e principais tributários, durante toda a série histórica analisada

Tabela 6.9 – Resumo da influência da sazonalidade e das tendências temporais para os valores dos parâmetros analisados, em cada estação de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela 6.10 – Número de testes (número de coletas x número de parâmetros) realizados em cada estação, por ano, no reservatório DA UHE Irapé e tributários

Tabela 6.11 – Número de testes (número de coletas x número de parâmetros) utilizados no cálculo do índice após as exclusões dos anos e estações que não possuíram coletas trimestrais

Tabela 6.12 – Índices de Conformidade ao Enquadramento, por estação e ano, aplicados ao banco de dados de monitoramento da UHE Irapé e principais tributários

Tabela 6.13 – Índices de Conformidade ao Enquadramento, por estação e período, aplicados ao banco de dados de monitoramento da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AI.1 – Percentual de dados faltantes de cada parâmetro analisado no monitoramento da Cemig entre 2008 e 2018

Tabela AII.1 – p-valores de todos os parâmetros e em cada estação de monitoramento da UHE Irapé e principais tributários resultantes do Teste de Normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 0,05

Tabela AIII.1 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro  $alc_T$

Tabela AIII.2 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro coliformes termotolerantes.

Tabela AIII.3 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro CE

Tabela AIII.4 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro DBO

Tabela AIII.5 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro  $Fe_d$

Tabela AIII.6 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro  $P_T$

Tabela AIII.7 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro  $N-NO_3^-$

Tabela AIII.8 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro  $N-NH_4^+$

Tabela AIII.9 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro OD

Tabela AIII.10 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro pH

Tabela AIII.11 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro SDT

Tabela AIII.12 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro  $SO_4^{2-T}$

Tabela AIII.13 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro temperatura

Tabela AIII.14 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro turbidez

Tabela AV.1 – Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro  $Alc_T$ , em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AV.2 – Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro coliformes termotolerantes, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AV.3 – Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro CE, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AV.4 – Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro DBO, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AV.5 – Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro  $Fe_d$ , em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AV.6 – Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro  $P_T$ , em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AV.7 – Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro  $N-NO_3^-$ , em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AV.8 – Resultados das análises de tendência do parâmetro  $N-NH_4^+$ , em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AV.9 – Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro OD, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AV.10 – Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro pH, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AV.11 – Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro SDT, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AV.12 – Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro  $SO_4^{2-T}$ , em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AV.13 – Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro temperatura, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AV.14 – Resultados das análises de tendência do parâmetro turbidez, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Tabela AIV.1 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR03-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AIV.2 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR06-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AIV.3 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR08-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AIV.4 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR09-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AIV.5 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR10-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AIV.6 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR11-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AIV.7 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR70-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AIV.8 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR95-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AIV.9 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR115-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AIV.10 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR20-LE, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AIV.11 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR30-LE, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AIV.12 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR40-LE, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AIV.13 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR50-LE, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AIV.14 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR60-LE, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Tabela AVI.15 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR03-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVI.16 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR06-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVI.17 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR08-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVI.18 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR09-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVI.19 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR10-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVI.20 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR11-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVI.21 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR70-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVI.22 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR95-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVI.23 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR115-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVI.24 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR20-LE, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVI.25 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR30-LE, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVI.26 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR40-LE, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVI.27 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR50-LE, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVI.28 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR60-LE, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Tabela AVIII.1 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR03-LO (área total = 770800 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Tabela AVIII.2 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR06-LO (área total = 405896 ha), em cada ano da série histórica selecionada

Tabela AVIII.3 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR08-LO (área total = 2488 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Tabela AVIII.4 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR09-LO (área total = 59340 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Tabela AVIII.5 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR10-LO (área total = 1317 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Tabela AVIII.6 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR11-LO (área total = 14468 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Tabela AVIII.7 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR70-LO (área total = 1584770 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Tabela AVIII.8 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR95-LO (área total = 2383365 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Tabela AVIII.9 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR115-LO (área total = 1606640 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Tabela AVIII.10 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR20-LE (área total = 935120 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Tabela AVIII.11 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR30-LE (área total = 954445 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Tabela AVIII.12 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR40-LE (área total = 1031525 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Tabela AVIII.13 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR50-LE (área total = 507752 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Tabela AVIII.14 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR60-LE (área total = 1583406 ha) , em cada ano da série histórica selecionada



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AA	Análise de Agrupamento
ACP	Análise de Componentes Principais
AIQ	Amplitude interquartis
Alc <sub>T</sub>	Alcalinidade Total
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANOVA	Análise de Variância
CBH	Conselho de Bacias Hidrográficas
CCC	Coefficiente de Correlação Cofenética
CCME	<i>Canadian Council of Ministers of the Environment</i>
CE	Condutividade elétrica <i>in loco</i>
Cemig	Companhia Energética de Minas Gerais
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Coli. term.	Coliformes termotolerantes
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CP	Componente Principal
CS	Correlação de Spearman
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DN	Deliberação Normativa
FAC	Função de Autocorrelação
Fed	Ferro dissolvido
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICE	Índice de Conformidade ao Enquadramento
Igam	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IQA	Índice de qualidade da água
KW	Kruskal-Wallis
LO	Licença de operação
MDE	Modelo digital de elevação
MK	Mann-Kendall
MK <sub>m</sub>	Mann-Kendall modificado
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sub>T</sub>	Nitrogênio amoniacal total
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
OD	Oxigênio dissolvido
PACUERA	Plano Ambiental de Conservação e Uso da Água do Entorno do Reservatório
pH	Potencial hidrogeniônico (pH) <i>in loco</i>
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PT	Fósforo total
RNQA	Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas Superficiais
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SMK	Sazonal de Mann-Kendall
SMK <sub>m</sub>	Sazonal de Mann-Kendall modificado
S <sub>nv</sub>	Soma normalizada das variações
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>

SISÁGUA

SDT

$\text{SO}_4^{-2}\text{T}$

Turb.

UHE

UPGRH

Sistema de Informação de Qualidade da Água dos  
Reservatórios da Cemig

Sólidos dissolvidos totais

Sulfato total

Turbidez

Usina hidrelétrica

Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos  
Hídricos

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>22</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	22
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>23</b>
3.1	QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	23
3.1.1	<i>Qualidade das águas em reservatórios</i> .....	24
3.2	MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS EM MINAS GERAIS.....	26
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA O TRATAMENTO DE DADOS AMBIENTAIS.....	29
3.3.1	<i>Técnicas estatísticas multivariadas</i> .....	29
3.3.2	<i>Testes estatísticos não paramétricos</i> .....	33
3.3.3	<i>Estudos que empregaram análises multivariadas e testes não paramétricos na avaliação da qualidade das águas</i> .....	35
3.4	ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA: O ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO – ICE.....	38
3.5	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	43
3.5.1	<i>Qualidade das águas e uso e ocupação do solo</i> .....	44
<b>4</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>50</b>
5.1	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DO RESERVATÓRIO DE IRAPÉ E PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS.....	50
5.1.1	<i>Seleção e organização do banco de dados</i> .....	50
5.1.2	<i>Avaliação das variações espaciais na qualidade da água do reservatório e principais tributários</i> .....	52
5.1.3	<i>Violação dos parâmetros de qualidade de água aos limites preconizados pela legislação</i> .....	53
5.1.4	<i>Análise de tendência aos parâmetros de qualidade da água do reservatório e principais tributários</i> .....	54
5.1.5	<i>Aplicação do índice de conformidade ao enquadramento (ICE)</i> .....	55
5.2	RELAÇÃO ENTRE A QUALIDADE DE ÁGUA E OS USOS DO SOLO DA BACIA EM ESTUDO.....	56
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>58</b>
6.1	AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DO RESERVATÓRIO DE IRAPÉ E PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS.....	58
6.1.1	<i>Seleção e organização do banco de dados</i> .....	58
6.1.2	<i>Avaliação das variações espaciais na qualidade da água do reservatório e principais tributários</i> .....	62
6.1.3	<i>Violação dos parâmetros de qualidade de água aos limites preconizados pela legislação</i> .....	71
6.1.4	<i>Análise de tendência aos parâmetros de qualidade da água do reservatório e principais tributários</i> .....	76
6.1.5	<i>Aplicação do índice de conformidade ao enquadramento (ICE)</i> .....	78
6.2	RELAÇÃO ENTRE A QUALIDADE DE ÁGUA E OS USOS DO SOLO DA BACIA EM ESTUDO.....	82
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>87</b>
	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>89</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>90</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A qualidade das águas tem sido cada vez mais alterada por fatores antrópicos e naturais. Algumas dessas modificações impactam negativamente os sistemas aquáticos, tornando-os inadequados para os seus múltiplos usos. Tem-se como exemplos de interferências a crescente urbanização, as condições climáticas, a origem e ou características específicas dos ambientes, a evolução no uso e ocupação do solo do entorno, entre outros.

Quando se discute o termo qualidade da água, deve-se ter em mente que o problema deve ser analisado no nível de bacia hidrográfica, uma vez que esta funciona como um sistema integrado cujos componentes, como clima e solo, exercem influência no escoamento superficial e no aporte de sedimentos, muitas vezes contaminantes, para o leito dos mananciais. Assim, as evoluções no uso do solo em uma bacia acabam afetando, direta ou indiretamente, as características dos cursos hídricos ali presentes. Em geral, usos agrícolas e urbanos são tidos como os que mais influenciam negativamente na qualidade da água, enquanto a vegetação natural possui efeito positivo sobre ela. Deve-se ressaltar, no entanto, que essa relação é complexa, visto que a influência dos padrões de uso da terra depende da escala espaço-temporal. Muitos estudos nessa área, com objetivos e metodologias semelhantes e áreas de estudos diferentes, não entram em consenso em seus resultados (YU et al., 2015; DING et al., 2016; SHI et al., 2016; SANTOS et al., 2017). Desse modo, entende-se que cada bacia e corpo d'água possui suas peculiaridades, e, assim, diversos fatores irão afetar a qualidade de suas águas.

No que diz respeito às características dos mananciais, os corpos hídricos podem ser classificados, segundo a movimentação da sua água, em lóticos (a água flui em correnteza, como nos rios) e lênticos (velocidade da água é pouca ou inexistente, como em lagos e reservatórios). Reservatórios são corpos d'água lênticos, geralmente formados pelo barramento de um curso d'água antes com características lóticas. As alterações advindas desse processo envolvem mudanças no regime fluvial, no tempo de residência da água, na perda por evaporação, nos perfis de oxigênio e temperatura da água, causando sua estratificação em zonas verticais, além de consequências que afetam as comunidades aquáticas (CRUZ; FABRIZY, 1995; FILHO et al., 2009; CARPENTER; STANLEY; ZANDEN, 2011), tornando distinta a escala espaço-temporal dos fenômenos que ocorrem entre esses ambientes. Desse modo, ainda que os elementos responsáveis pelas alterações de qualidade da água dentro de uma bacia possam ser os mesmos para um rio e um reservatório artificial nele construído, os processos

físicos, químicos e biológicos tendem a apresentar características, intensidades e importâncias diferenciadas.

Com base no exposto, nota-se que a medição de parâmetros físicos, químicos e biológicos por programas de monitoramento da qualidade das águas superficiais constitui etapa essencial no fornecimento de informações necessárias para melhor conhecimento das condições e singularidades de cada corpo hídrico. No entanto, esses programas geram, muitas vezes, um conjunto de dados de complexa interpretação, e a aplicação de ferramentas que auxiliem nesse processo torna-se fundamental. Técnicas estatísticas podem ser utilizadas a fim de simplificar a forma dos dados e extrair informações úteis. Além disso, podem ser aplicados índices que traduzem de forma indireta a influência que os fatores antrópicos e naturais provocam na dinâmica ambiental dos ecossistemas aquáticos. Esses índices podem ser utilizados como ferramentas complementares, podendo ser associados aos resultados obtidos pelas análises estatísticas. A aplicação de tais metodologias torna-se, portanto, essencial para se conhecer as condições de qualidade da água de um corpo hídrico e as principais alterações ocorridas ao longo de uma série histórica, levando em conta as especificidades do manancial e de sua bacia.

Este trabalho insere-se no contexto de um grupo de pesquisa que vem estudando a qualidade das águas superficiais das bacias hidrográficas de Minas Gerais nos últimos dez anos, e busca compreender a dinâmica da qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica de Irapé, bem como de seus contribuintes. A pesquisa se justifica pela necessidade de avaliação integrada da qualidade das águas das bacias hidrográficas, com a aplicação de ferramentas estatísticas para a avaliação de um conjunto complexo de dados gerados pelo programa de monitoramento realizado pela Cemig no reservatório e em seus tributários. À partir dos resultados das análises estatísticas, associados ao cálculo de índices de qualidade de água e análise de violação dos parâmetros à legislação ambiental vigente, foram identificados os pontos mais impactados do reservatório e dos seus contribuintes e foi possível compreender a evolução e o comportamento dos poluentes. Esses resultados, quando relacionados à influência de fatores externos, como uso do solo e tipo de ambiente, permitiram avaliar as possíveis causas das condições da qualidade da água na bacia em estudo, tornando-se subsídio para a definição de estratégias que busquem a melhoria ou manutenção da qualidade dos seus corpos d'água.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a qualidade da água superficial do reservatório de Irapé e de seus principais tributários, sob uma perspectiva espaço-temporal, relacionando as variações observadas com os usos do solo na bacia hidrográfica.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Analisar as variações espaciais dos dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais dos ambientes lênticos e lóticos da região de estudo;
- analisar o percentual de violação dos parâmetros de qualidade de água monitorados em relação aos limites preconizados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008;
- avaliar a ocorrência de variações temporais nos valores dos parâmetros de qualidade da água monitorados;
- avaliar a qualidade da água do reservatório e tributários segundo o índice de conformidade ao enquadramento (ICE);
- relacionar os resultados de qualidade de água superficiais obtidos aos usos do solo da bacia em estudo.

## 3 REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1 *Qualidade das águas*

Pode-se definir qualidade da água como um conjunto de características de natureza física, química e biológica que, quando mantidas dentro de certos limites, viabilizam determinado uso ou conjunto de usos (DERÍSIO, 2012). Essas características podem ser afetadas naturalmente, por fatores geológicos, hidrológicos, meteorológicos, topográficos e biológicos, variando de acordo com a sazonalidade, condições climáticas e o regime de cheias e estiagens locais, ou ainda por ações antrópicas, modificando as características da água através de atividades que resultam em uma intencional ou acidental contaminação ou poluição dos corpos d'água (CARVALHO, 2008; MATTHIENSEN *et al.*, 2014). A poluição advinda de origem antrópica, no entanto, tende a acontecer de maneira mais intensa, já que inúmeras atividades são capazes de introduzir substâncias e materiais anteriormente não existentes, ou que já existiam, mas sob quantidades menores, no ambiente aquático (SODRÉ, 2012).

Quanto à forma de dispersão da poluição, tem-se duas categorias. Uma consiste nas fontes de poluição pontuais, nas quais os poluentes chegam em um determinado corpo d'água de maneira concentrada no espaço, com localização definida, tendo-se como principal exemplo o descarte de esgotos domésticos ou industriais, tratados ou não. Dessa forma, podem ser mais facilmente identificadas e diagnosticadas, sendo, em muitos casos, possível estabelecer ações corretivas ou punitivas (SODRÉ, 2012; LIMA *et al.*, 2016). A outra categoria é dada pelas fontes de poluição difusas que, ao contrário das fontes pontuais, são geradas em áreas extensas e podem ser transportadas de inúmeras maneiras até atingir o corpo aquático receptor, o que torna difícil a identificação da fonte exata da descarga e dos meios de difusão do poluente. Assim, na maioria das vezes, não é possível monitorar os agentes poluentes a partir do ponto de origem, dificultando, dessa forma, a identificação, mensuração e controle das cargas poluidoras (LIBOS, 2002; SODRÉ, 2012; LIMA *et al.*, 2016).

Logo, os fatores que geram alterações à qualidade das águas, sejam eles naturais ou antrópicos, de origem pontual ou difusa, interferem na dinâmica hidrológica, limitando os múltiplos usos da água e a saúde, segurança e bem-estar dos seus usuários, a biodiversidade dos ecossistemas, o desenvolvimento sócio-econômico da região na qual os corpos d'água estão inseridos, entre outras consequências (PORTO, 2012; SOUZA *et al.*, 2014).

### 3.1.1 Qualidade das águas em reservatórios

A construção de grandes reservatórios no Brasil teve início em 1901, com a construção da represa Edgar de Souza, em São Paulo. Em consequência do desenvolvimento industrial e sócioeconômico e alto potencial hidrogenético do país, outras inúmeras barragens foram construídas desde então, tendo como principal objetivo a geração de energia elétrica, mas visando também a utilização da água para seus múltiplos fins – abastecimento, irrigação, recreação, transporte, entre outros (BRANCO; ROCHA, 1977; ESTEVES, 1998).

Em geral, esses reservatórios, que são corpos d'água lênticos, são formados pela construção de barramentos em cursos d'água antes com características lóticas, o que perturba não só o comportamento natural dos rios represados como também atinge as regiões circunvizinhas (ESTEVES, 1998; LOPES; SANTOS, 2002). Um impacto comum à formação do lago, por exemplo, é a perda e fragmentação de habitats, que promove significativos impactos negativos na fauna (CAMPOS; SILVA, 2012), como a variação na movimentação de animais residentes em uma determinada localidade alagada pela represa devido à perda de conectividade entre habitats, sendo especialmente danoso à migração e dispersão de organismos (ZIV *et al.*, 2012). Alterações advindas desse barramento, como na velocidade, perfil de temperatura e perfil de oxigênio da água, são somente alguns dos resultados imediatos, que implicam em efeitos negativos dos grandes reservatórios à montante e sobre o próprio ambiente aquático formado. À jusante da represa também podem surgir consequências com implicações ecológicas, sendo as mais importantes decorrentes de dois fenômenos principais: (i) alteração no regime hidrológico, onde muitas vezes o regime de cheia e seca torna-se aperiódico e independente do regime pluviométrico da região. Como consequência, muitas espécies vegetais e animais, que dependem da sazonalidade, têm seu ciclo de crescimento e reprodutivo fortemente alterado, o que leva muitas populações a forte redução ou mesmo extinção; e (ii) alterações na qualidade física e química da água (ESTEVES, 1998). Em suma, todo o processo acarreta em mudanças que são transformadoras do curso hídrico, como a mudança do regime fluvial, elevação da perda por evaporação, maior tempo de residência da água, além de consequências que afetam as comunidades aquáticas (CRUZ; FABRIZY, 1995; FILHO *et al.*, 2009; CARPENTER; STANLEY; ZANDEN, 2011).

Um exemplo de modificação provocada pelo represamento diz respeito ao volume de água dos ambientes, que constitui um fator que pode influenciar a qualidade da água dos corpos d'água, já que tende a interferir na capacidade de diluição do mesmo. Geralmente, os reservatórios



volumosos apresentam capacidade de assimilação de poluentes superior àquela encontrada em corpos d'água pequenos e rasos (RUAS, 2006). No entanto, se por um lado o volume tende a diluir os poluentes nos reservatórios, por outro, alterações na velocidade da água podem trazer modificações negativas na qualidade da água desses ambientes. Nesse sentido, uma das maiores problemáticas que podem surgir é em relação ao aspecto sedimentológico. A redução das velocidades da corrente provocam uma deposição gradual dos sedimentos carregados, levando ao assoreamento dos reservatórios e tendo como consequência a diminuição da sua capacidade de armazenamento, além dos impactos ambientais que podem ser gerados. Todos esses danos econômicos e ambientais podem ser expressivos e de difícil remediação (CARVALHO *et al.*, 2000). Além do aspecto quantitativo, tem-se que, junto aos sedimentos, são carregados também outras substâncias e materiais que, em maiores concentrações, podem se tornar prejudiciais e alterar a qualidade das águas, principalmente no fundo do reservatório. Os nutrientes são grandes exemplos dessas substâncias, em especial o fósforo, que possui relativa facilidade de adsorção e dessorção nas partículas sedimentáveis. Desse modo, os sedimentos podem atuar como dreno ou fonte de fósforo na água, diminuindo ou potencializando os impactos por ele causados, a exemplo da eutrofização (CARVALHO *et al.*, 2000, WANG *et al.*, 2009; LI *et al.*, 2019).

As mudanças do comportamento lótico para um comportamento lêntico podem gerar, ainda, uma possível diferenciação nas características da água dentro de um mesmo reservatório, uma vez que o comportamento lêntico tende a se acentuar a medida que se aproxima da barragem (RODRIGUES, 2002). Tem-se, então, um fator importante na estrutura de um reservatório que diz respeito à sua possível compartimentalização horizontal. Em geral, observa-se três compartimentos distintos em um reservatório, que se distinguem pelo regime hidráulico, transporte de sedimento, infiltração da luz e pelas características da comunidade planctônica e bentônica (QUEIROZ JÚNIOR, 2016). A zona lacustre, localizada próximo a barragem, possui características que assemelham-se ao ambiente de lago; a fluvial, localizada na parte alta do reservatório, apresenta características próximas às de rio; e a zona de transição fica localizada entre os dois ambientes. Dessa forma, em geral, o compartimento fluvial é mais raso, apresentando maior velocidade de fluxo e, conseqüentemente, menor tempo de retenção, menor penetração de luz, maior concentração de material em suspensão e de nutrientes, sendo a maior parte da produção alóctone. O compartimento lacustre possui características opostas às do fluvial, e o de transição possui características intermediárias (SERAFIM JÚNIOR, 2012).

Com todas essas considerações, percebe-se que, ainda que os elementos responsáveis por contribuir para a existência dos problemas de qualidade de água dentro de uma bacia possam ser os mesmos para um rio e um reservatório artificial nele construído, a escala temporal-espacial dos fenômenos que ocorrem entre esses ambientes é distinta. Desse modo, os processos físicos, químicos e biológicos tendem a apresentar características, intensidades e importâncias também diferenciadas (PORTO *et al.*, 1991). A medição de parâmetros físicos, químicos e ou biológicos por programas de monitoramento da qualidade das águas superficiais constitui, portanto, etapa essencial no fornecimento de informações necessárias para melhor conhecimento das condições de um corpo hídrico, sendo fundamental para o gerenciamento destes ecossistemas e de considerável importância para o desenvolvimento sustentável desses ambientes e de todo seu entorno.

### **3.2 Monitoramento da qualidade das águas em Minas Gerais**

Os usos múltiplos, o descumprimento das legislações ambientais e a insuficiente fiscalização, associados ao crescimento demográfico e ao desenvolvimento das sociedades e do grau de urbanização, impactam, de maneira cada vez mais preocupante, os sistemas aquáticos (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Soma-se a isso a dinâmica sistêmica e integrada entre os componentes de uma bacia hidrográfica, o que torna difícil a compreensão e previsão do seu comportamento. Assim, algumas ferramentas surgem com o intuito de promover a gestão adequada dos recursos hídricos, a fim de minimizar os impactos negativos na qualidade das águas.

No âmbito das bacias hidrográficas, quando se quer ter uma visão de conjunto da qualidade das águas, emprega-se um esquema de amostragem em vários pontos, ao longo do tempo, constituindo as rede de monitoramento de qualidade de águas. De modo geral, essas atividades de monitoramento se dividem em duas fases: a de aquisição e a de utilização de dados. Embora ambas sejam importantes para a eficácia do sistema como um todo, normalmente é dada mais atenção a primeira fase, que consiste basicamente de coleta de amostras, análises de laboratório e armazenagem e recuperação dos dados. No entanto, um sistema completo de monitoramento deve compreender o trabalho com a informação, desde o projeto do sistema até o uso da informação para as tomadas de decisão (DERÍSIO, 2012). Uma perspectiva global das atividades a serem realizadas após a definição dos objetivos do monitoramento é apresentada na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Resumo das atividades a serem desenvolvidas numa rede de monitoramento

<b>Atividades básicas</b>	<b>Detalhamento</b>
Definição da rede	Localização das estações de amostragem Escolha dos parâmetros Fixação da frequência de amostragem
Coleta das amostras	Técnica de amostragem Medidas de campo Local da coleta Preservação da amostra Transporte da amostra Controle da qualidade dos dados
Análises de laboratório	Métodos de análise Procedimentos operacionais Controle de qualidade analítica Registro de dados
Processamento de dados	Recebimento dos dados de laboratório e de campo Triagem e verificação dos dados Armazenamento e recuperação dos dados Listagem dos dados Disseminação dos dados
Análise de dados	Resumo de estatística básica Análises estatísticas Interpretação e avaliação da qualidade Análise das séries temporais Aplicação de índice de qualidade Aplicação de modelos de qualidade
Utilização da informação	Verificação da necessidade de informação Forma de apresentação Procedimentos operacionais Avaliação da utilização

Fonte: Derísio (2012)

Em suma, a rede de monitoramento é um conjunto de estações de amostragem estrategicamente localizadas na área de uma bacia hidrográfica, que visam representar, com boa aproximação, as condições existentes e as tendências de evolução de qualidade das águas (DERÍSIO, 2012). Esse monitoramento constitui etapa essencial no fornecimento de informações necessárias para melhor conhecimento das principais alterações ocorridas ao longo de uma série histórica e das atuais condições de um corpo hídrico, por meio do acompanhamento das suas características físicas, químicas e biológicas (SOARES *et al.*, 2017), tornando-se fator primordial para a adequada gestão dos recursos hídricos, e essencial para as ações de planejamento, licenciamento, outorga, fiscalização e enquadramento de corpos d'água (ANA, 2014). O intuito é assegurar que os valores dos parâmetros de qualidade de água se mantenham dentro dos limites preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 em nível nacional e pela

Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG n.º 01/2008 em nível estadual, que visam dispor sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, além de estabelecer condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005; COPAM; CERH, 2008). Assim, garantir o cumprimento dessas condições impostas, garante, por sua vez, os múltiplos usos atribuídos a cada classe de enquadramento, sendo esse o principal motivo de análises de violação dos parâmetros de qualidade da água aos padrões impostos por lei serem realizadas em muitos estudos que envolvem a qualidade das águas (TRINDADE, 2013; COSTA *et al.*, 2015; LIMA, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2017; SABINO; LAGE; NORONHA, 2017; CALAZANS *et al.*, 2018; SOUZA; LOVERDE-OLIVEIRA; ALVES, 2018; PINTO; CALAZANS; OLIVEIRA, 2019).

No Brasil, a Agência Nacional das Águas (ANA) criou, em 2013, a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas Superficiais – RNQA, e por meio da Resolução nº 903/2013 estabeleceu suas diretrizes (ANA, 2013a). A rede abrange corpos d'água superficiais de domínio estadual e da União, e conta com uma estratégia de cooperação entre os operadores das redes de monitoramento, padronizando e ampliando o monitoramento em nível nacional. Desse modo, os Estados continuam sendo os principais responsáveis pelo estabelecimento e operação das redes de monitoramento, mas os dados gerados ficam mais fáceis de serem analisados e os custos de implementação e operação são reduzidos (ANA, 2014). Em Minas Gerais, o monitoramento das águas é realizado por meio do Projeto Águas de Minas, gerido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – Igam. Em execução desde 1997, o programa objetiva: i) conhecer e avaliar as condições da qualidade das águas superficiais em Minas Gerais, divulgando-as aos usuários; ii) apoiar a proposição de metas de qualidade, fornecendo subsídios para a gestão dos recursos hídricos; iii) verificar a efetividade de ações de controle ambiental implementadas e propor prioridades de atuação (IGAM, 2017).

Outras empresas realizam monitoramento próprio das suas atividades, a fim de se ter uma melhor compreensão e controle dos impactos por elas gerados. Esse monitoramento deve ter como base a Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº03/2010, que estabelece as condições e os procedimentos a serem observados e monitorados pelos concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica. A Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) monitora a qualidade das águas de 52 reservatórios sob sua direção. Os dados gerados à partir das coletas são armazenados no Sistema Cemig de Monitoramento e Controle de Qualidade da Água de Reservatórios - SISÁGUA - e podem ser utilizados pela Cemig, em todas as suas unidades, e

por seus parceiros, para interpretação de eventos, dando suporte às ações que visem melhorias na qualidade da água e o controle e manejo da fauna aquática (CEMIG, 2009).

Em função do número de variáveis envolvidas e de suas variações no tempo e no espaço, esses programas de monitoramento acabam por gerar um conjunto de dados difícil de interpretar e analisar para se concluir quais ações devem ser tomadas (SOUZA, 2013; IGAM, 2017), exigindo, assim, a aplicação de métodos estatísticos que simplifiquem a forma dos dados, extraindo informação útil e interpretável (SINGH *et al.*, 2006). Dentro dessa lógica, o uso de análises estatísticas em dados de monitoramento tem aparato legal por meio da Resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005).

### **3.3 Análise estatística para o tratamento de dados ambientais**

#### **3.3.1 Técnicas estatísticas multivariadas**

A Estatística Multivariada pode ser conceituada como um conjunto de métodos estatísticos que permite a análise concomitante de medidas múltiplas para cada indivíduo ou objeto em estudo. Para uma análise ser considerada verdadeiramente multivariada, todas as variáveis devem ser aleatórias e inter-relacionadas de modo que seus diversos efeitos não possam ser significativamente interpretados separadamente. Assim, o caráter multivariado de uma análise reside nas combinações múltiplas de variáveis, e não apenas na quantidade de variáveis ou observações (REIS, 2001; HAIR *et al.*, 2009).

A possibilidade de aplicação de análise multivariada a conjuntos de dados múltiplos, contendo muitas variáveis e unidades experimentais, tornou alto o nível de interesse científico acerca dessas técnicas em diversas áreas de conhecimento (VIALLE *et al.*, 2011). Na área ambiental, França (2009) justifica o uso da análise multivariada ao defender que, uma vez que o conjunto de dados de qualidade ambiental é composto por diversas variáveis, mensuradas em diferentes escalas e unidades, com distribuição espacial distinta, a avaliação desses dados não é um trabalho trivial, dificultando o emprego da estatística clássica.

Assim, técnicas multivariadas têm sido aplicadas a banco de dados de monitoramento da qualidade da água para alcançar diferentes objetivos, tais como evidenciar variações espaço-temporais da qualidade da água e identificar os principais parâmetros responsáveis por essas variações; extrair informações sobre as similaridades entre períodos, parâmetros e pontos de monitoramento; identificar as possíveis fontes de poluição de diferentes pontos de um corpo

d'água; e avaliar redes de monitoramento de qualidade das águas e propor adequações (SHRESTHA; KAZAMA, 2007; SOUZA, 2009; BU *et al.*, 2010; ALAM *et al.*, 2010; ZHANG *et al.*, 2011; VIANA, 2014; CALAZANS, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Dentre as técnicas estatísticas multivariadas mais utilizadas tem-se a Análise de Agrupamento (AA), também conhecida como análise de cluster. A AA, em sua aplicação, engloba uma variedade de técnicas e algoritmos, e objetiva dividir um grande grupo de objetos em pequenas classes (cluster), com base nas suas semelhanças (VICINI, 2005; HAIR *et al.*, 2009). Em suma, dado um conjunto de  $n$  indivíduos para os quais existem informações traduzidas em  $p$  variáveis, o método procede, a cada passo do algoritmo, ao agrupamento ou partição dos indivíduos em função dessas informações existentes, de maneira que aqueles pertencentes a um mesmo grupo sejam sempre mais semelhantes entre si do que os elementos dos demais agrupamentos (REIS, 2001). Os clusters resultantes devem, portanto, apresentar alta homogeneidade interna (dentro dos agrupamentos) e alta heterogeneidade externa (entre os agrupamentos) (SHRESTHA; KAZAMA, 2007; ZHANG *et al.*, 2011).

Genericamente, a análise compreende algumas etapas: 1) seleção dos indivíduos a serem agrupados; 2) definição de um conjunto de variáveis que fornecerão as informações necessárias para o agrupamento desses indivíduos; 3) padronização dos dados a serem utilizados em uma mesma unidade de medida; 4) definição de uma medida de distância ou de semelhança entre cada dois indivíduos (medidas de similaridade ou dissimilaridade) que varia, entre outros aspectos, com o tipo das variáveis em estudo (quantitativa, qualitativa, binárias ou multicategóricas). No geral, a distância euclidiana é a medida de distância mais comumente utilizada para a AA. Considerando o caso mais simples, no qual existem  $n$  indivíduos, cada qual possuindo valores para  $p$  variáveis, a distância euclidiana entre eles é obtida por meio do teorema de Pitágoras, para um espaço multidimensional (VICINI, 2005); 5) definição do método de agrupamento a ser utilizado (hierárquico ou não-hierárquico); 6) escolha do critério de agregação ou desagregação a ser utilizado (ligação simples, ligação completa, método de *Ward*, método centroide, etc.); 7) decisão sobre o número de grupos resultantes; 8) interpretação dos resultados, ilustrados tipicamente sob forma de um dendrograma (REIS, 2001; VICINI, 2005; SIMEONOV *et al.*, 2002).

A existência de uma ampla possibilidade de critérios de partição e ou agrupamento dos indivíduos, conforme listado nas etapas 4, 5, 6 e 7 do método, torna a aplicação da AA desafiadora.

Em seu trabalho, Trindade (2013) utilizou a AA com o método aglomerativo hierárquico pela técnica de agrupamento de ligação completa, considerando como medida de dissimilaridade a distância euclidiana. O objetivo foi agrupar as UPGRHs da bacia do rio São Francisco em função de suas similaridades, levando em consideração os dados físico-químicos e microbiológicos do monitoramento da qualidade da água. Como resultado, obteve a formação de quatro *clusters* agrupados conforme a localização das bacias, refletindo também a sua proximidade geográfica e destacou a UPGRH SF5, que se refere à Unidade do rio das Velhas, e se manteve isolada das demais. Segundo a autora, o resultado pode ser explicado pela SF5 ser uma bacia sabidamente impactada e possuir características que a distingue das demais, com alta densidade populacional e nível de industrialização.

Souza (2017) empregou a AA com o intuito de avaliar a similaridade das estações de monitoramento de qualidade das águas superficiais das bacias dos rios Piracicaba e Paraopeba em função dos valores dos parâmetros de qualidade da água mensurados. Para tal, também considerou o método aglomerativo hierárquico e como medida de dissimilaridade a distância euclidiana, no entanto, utilizou o método de *Ward* na elaboração do dendrograma. Para a bacia do Piracicaba obteve a formação de quatro *clusters*, sendo um deles formado por uma única estação, RD030, que apresentou o maior número de parâmetros em desconformidade com a legislação ambiental, sendo, portanto, a mais impactada em toda a bacia. Para a bacia do Paraopeba, a AA resultou na formação de seis *clusters*, três deles referentes às estações BP073, BP071 e BP098, que podem, portanto, ser consideradas as mais relevantes, uma vez que também foram inseridas dentre as mais impactadas da bacia.

Para subsidiar de maneira quantitativa a decisão tomada, tem-se o embasamento que um método é melhor do que outro quando o dendrograma obtido fornece uma imagem menos distorcida da realidade (VICINI, 2005). É possível avaliar esse grau de deformação provocado pela construção do dendrograma calculando-se o coeficiente de correlação cofenético (CCC), conforme proposto por Sokal & Rohlf (1962). O CCC trata-se do coeficiente de correlação linear de Pearson entre os elementos da matriz de dissimilaridade (matriz de distâncias entre as estações de monitoramento obtida a partir dos dados originais) e os elementos da matriz cofenética (matriz de distâncias entre as estações de monitoramento obtida a partir do

dendrograma), estimando, assim, o ajuste entre ambas as matrizes (SOKAL & ROHLF, 1962). Valores mais próximos a 1 indicam um ajuste regular entre a matriz de similaridade e o dendrograma obtido e, portanto, uma melhor representação dos resultados, ao passo que valores menores que 0,7 apontam que o método de agrupamento utilizado deve ser questionado (ROHLF, 1970).

Christofaro *et al.* (2017) utilizaram a AA em dados de monitoramento de qualidade de água do reservatório da UHE Nova Ponte, localizada no estado de Minas Gerais. Para basear sua decisão do método a ser empregado, testou quatro critérios de agregação (ligação simples, ligação completa, *Ward* e *average*), calculando o coeficiente de correlação cofenética (CCC). Ao final, empregou o método *average*, que apresentou o maior CCC (0,80), e obteve três *clusters* formados, principalmente, com base na profundidade da coleta das amostras de água.

Portanto, são várias as possibilidades de emprego da AA em dados de qualidade da água. De modo geral, a classificação depende da capacidade de avaliação e do discernimento do pesquisador, atrelados, principalmente, ao seu conhecimento no que diz respeito ao objeto ou campo da pesquisa (POHLMANN, 2007; ALVES, 2012).

Assim, quando aplicada a dados de monitoramento de qualidade das águas, a AA permite agrupar as estações de monitoramento por similaridade da qualidade da água, tendendo a apresentar, assim, clusters com diferentes níveis de poluição (BU *et al.*, 2010; XU *et al.*, 2012; XIN *et al.*, 2015; SABINO; LAGE; NORONHA, 2017). Esses agrupamentos podem ser formados, por exemplo, com base na proximidade geográfica das estações (TOKLATI *et al.*, 2015; FREITAS, 2017; TRINDADE *et al.*, 2017), nos diferentes usos de solo presentes na bacia (KÄNDLER *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017), na época da coleta e frequência de monitoramento (ZHOU *et al.*, 2007; ZHANG *et al.*, 2011; XU *et al.*, 2012; XIN *et al.*, 2015), e, no caso de reservatórios, segundo as diferentes zonas formadas pela estratificação comum a esse tipo de ambiente (CHRISTOFARO *et al.*, 2017) ou diferentes características morfométricas (FREITAS, 2017).

Deve-se ter em mente, no entanto, que esse tipo de análise geralmente se destina a gerar hipóteses (análise exploratória) e não tecer confirmações a respeito dos dados (análise confirmatória) como nos testes não paramétricos de hipótese (VICINI, 2005), sendo necessária a validação posterior dos resultados obtidos através da aplicação de outros métodos estatísticos (REIS, 2001).



### 3.3.2 Testes estatísticos não paramétricos

Os testes estatísticos podem ser divididos em paramétricos e não paramétricos. A principal diferença entre eles é que os testes não paramétricos não requerem que os dados sejam analisados conforme os modelos normais ou qualquer outra forma específica de distribuição, característica exigida dos paramétricos (GUIMARÃES, 2012). Dados ambientais sofrem influências de diversas variáveis, seus valores são aleatórios e, no geral, não possuem dependências entre si, principalmente quando analisados sob uma frequência mais esparsa de coleta (trimestralmente ou mensalmente), possuindo tipicamente distribuição não normal (CRIPPA, 2006). Dessa maneira, os testes não paramétricos são os mais indicados para o tratamento desse tipo de dado.

Existem diversos testes estatísticos não paramétricos disponíveis utilizados para diferentes fins. Um objetivo comumente visado busca testar os valores de tendência central (teste de hipóteses) de um determinado conjunto de dados (CHRISTOFARO *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017; DANTAS *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Muitas vezes, quando o pesquisador coleta dados para aprender sobre os processos que pretende avaliar, possui ideias prévias, denominadas hipóteses, de como os sistemas deverão se comportar. Essas hipóteses são baseadas, geralmente, no seu conhecimento empírico sobre o tema e em estudos similares que já tenham sido realizados. O objetivo da coleta dos dados é testar se essas hipóteses podem ser confirmadas com evidências fornecidas pelos mesmos. Assim, os testes estatísticos são a forma mais quantitativa para determinar se as hipóteses previamente levantadas podem ser substanciadas ou se devem ser modificadas ou rejeitadas completamente (HELSEL; HIRSCH, 2002). Em suma, o teste de hipóteses é um procedimento fundamentado na análise estatística de uma amostra, por meio da teoria de probabilidades, usado para avaliar determinados parâmetros que são desconhecidos numa população (MOURA, 2013). No geral, tem duas principais vantagens: garantem que todo analista de um conjunto de dados, usando os mesmos métodos, obtenha um mesmo resultado final, de modo que os cálculos podem ser verificados e aceitos por outras pessoas; e apresentam uma medida da força do teste (o p-valor) que embasa o processo de tomada de decisão como evidência (HELSEL; HIRSCH, 2002).

Outros objetivos incluem testar a correlação (KENGAL *et al.*, 2015, ATIQUE; AN, 2019), e a tendência de um conjunto de dados a ser analisado (SHOWKAT; DAR; HAQ, 2014; COSTA *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017; TRINDADE *et al.*, 2017; ATIQUE; AN, 2019).

Os procedimentos para análise de tendências se baseiam em análises de regressão e em testes de hipóteses, onde a variável explicativa de interesse é, geralmente, o tempo (HELSEL; HIRSCH, 2002). Esse tipo de análise objetiva determinar, estatisticamente, se os valores de uma variável aleatória estão diminuindo ou aumentando, o que significa que a distribuição da probabilidade dessa variável mudou ao longo de um determinado período de tempo (HELSEL; HIRSCH, 2002; YENILMEZ; KESKIN; AKSOY, 2011). No âmbito dos estudos ambientais, testar a tendência dos valores dos parâmetros físico-químicos de cursos d'água recebeu considerável atenção nos últimos anos, uma vez que a qualidade da água tem sido cada vez mais modificada por fatores externos, como a crescente urbanização (MATTHIENSEN *et al.*, 2014; PENEV *et al.*, 2014). Assim, analisar essas tendências é uma atividade essencial no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, uma vez que torna os dados da qualidade da água mais compreensíveis, de modo a fornecer diretrizes científicas aos tomadores de decisão política (HELSEL; HIRSCH, 2002; PENEV *et al.*, 2014).

Um método comumente utilizado nessa área é o teste de Mann-Kendall (MK), devido a sua simplicidade e robustez (YENILMEZ; KESKIN; AKSOY, 2011). Desde a sua elaboração por Mann (1945) e Kendall (1975), o teste já passou por modificações, visto que o teste original não considerou efeitos de correlação serial ou sazonalidade entre os dados analisados, que podem resultar na interpretação incorreta dos resultados dos testes de tendência (HUSSAIN; MAHMUD, 2019). Desse modo, para dados em que há uma influência da sazonalidade, tem-se a versão denominada teste Sazonal de Mann-Kendall (SMK), proposto por Hirsch *et al.* (1982) e para dados autocorrelacionados tem-se os testes de Mann-Kendall e Sazonal de Mann-Kendall modificados (MKm e SMKm), propostos por Hamed e Rao (1997).

Yenilmez, Keskin e Aksoy (2011) aplicaram o teste de MK aos dados de qualidade da água no lago Eymir, durante um período de 10 anos, levando em consideração os valores dos parâmetros oxigênio dissolvido, fósforo total, sólidos em suspensão e profundidade de Secchi. Além disso, examinaram as tendências nas médias anuais de precipitação, volume do lago e temperatura ambiente. De acordo com os resultados, os valores de precipitação, volume e temperatura ambiente exibem tendências decrescentes em 1998-2008, bem como nos valores dos parâmetros fósforo total e profundidade de Secchi. Já para o oxigênio dissolvido e sólidos em suspensão as

tendências foram crescentes. Os autores concluíram que a mudança no volume do lago teve impacto nas tendências de oxigênio dissolvido, sólidos em suspensão e profundidade de Secchi e que, portanto, além das condições eutróficas, o balanço hídrico e as condições de seca impactam a qualidade da água do lago.

Showkat, Dar e Haq (2014) aplicaram o MK, juntamente com o método paramétrico de regressão linear, aos dados de qualidade da água em 14 parâmetros monitorados em três estações localizadas ao longo do rio Jhelum, no Paquistão, no período de 2001 a 2012. A análise foi realizada em duas escalas de tempo distintas: sazonal e anual. Tendências crescentes para os parâmetros sódio, cloreto e cálcio foram identificadas por ambos os métodos, nas três estações analisadas, ao passo que para a turbidez a tendência foi identificada apenas no MK. Os resultados revelaram ainda que os valores dos parâmetros de qualidade da água, no geral, aumentaram nas estações primavera e inverno, e foram diluídas nas estações verão e outono, durante o período do estudo. Na conclusão, os autores destacam a eficiência dos testes não paramétricos em relação aos paramétricos quando aplicados a dados de qualidade de água.

Em suma, existem vários testes não paramétricos e os critérios para a seleção do teste mais adequado envolvem, além do objetivo do estudo, a simplicidade do procedimento, a facilidade na obtenção de tabelas de valores críticos para a estatística do teste, a disponibilidade dos pacotes estatísticos e a eficácia do procedimento (OLIVEIRA, 2018).

### **3.3.3 Estudos que empregaram análises multivariadas e testes não paramétricos na avaliação da qualidade das águas**

Como mencionado anteriormente, as análises multivariadas são exploratórias e permitem gerar hipóteses acerca dos dados analisados. No entanto, a confirmação dessas hipóteses só é possível por meio da aplicação de outras ferramentas estatísticas. Dessa maneira, diversos estudos combinam o uso de análises multivariadas e técnicas estatísticas não paramétricas para analisar dados de monitoramento de qualidade das águas e, assim, obter resultados que facilitarão a identificar os problemas nos corpos d'água estudados. Alguns desses estudos estão resumidos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Trabalhos de avaliação de dados de monitoramento da qualidade das águas combinando diferentes ferramentas estatísticas

REFERÊNCIA	LOCAL DE ESTUDO	OBJETIVO DO ESTUDO	FERRAMENTAS UTILIZADAS	RESULTADOS GERAIS
ATIQUÉ e AN (2019)	Reservatório Chungju, Coréia do Sul	Avaliar as variações da qualidade da água e fazer análises de tendências temporais de parâmetros físicos e químicos do reservatório, num período de 1992 a 2016	CP; MK; AA; ACP.	As concentrações de pH, nitrogênio total, demanda química de oxigênio, fósforo total, NH <sub>4</sub> -N e NH <sub>3</sub> -N obtiveram aumento gradual ao longo dos anos, indicando ambiente rico em nutrientes  A ACP e a AA apontaram que a deterioração da qualidade da água pode ser atribuída aos poluentes de origem não pontuais originários principalmente do escoamento doméstico e do uso agrícola da área
CALAZANS <i>et al.</i> (2018)	Bacia do rio Paraopeba, Brasil	Avaliar e propor ajustes na rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Paraopeba	AA; KW; ACP	A AA resultou em 8 clusters. Os clusters 1, 2, 3, 4, 5 e 6 foram compostos por no máximo duas estações de monitoramento. Isso indica que essas estações possuem características únicas, indicando uma maior relevância das mesmas na rede de monitoramento  A AA identificou uma maior similaridade na qualidade das águas das estações BP094 e BP092, que estão localizados geograficamente perto, devendo ser analisada a possibilidade de exclusão de uma delas da rede de monitoramento  O KW apontou as estações de monitoramento BP073 e BP071 como sendo as mais degradadas  A ACP identificou os parâmetros coliformes termotolerantes, manganês total e fósforo total como sendo os que mais influenciam a qualidade de água da região, sendo importante a manutenção do seu monitoramento
CHRISTOFARO <i>et al.</i> (2017)	Reservatório da hidrelétrica de Nova Ponte, Brasil	Avaliar a variabilidade espacial e temporal da qualidade de águas superficiais em um grande reservatório hidrelétrico	KW; ACP; AA.	A AA agrupou 14 locais em três grupos principais: locais lóticos, metade da zona fótica e fundo  Apenas sólidos dissolvidos, nitrato e demanda química de oxigênio não apresentaram diferença significativa entre grupos de clusters formados  Os resultados do PCA mostraram mudanças temporais da qualidade da água em todos os grupos  As causas de deterioração da água foram relacionadas às atividades agrícolas e pecuárias
NAVARROL <i>et al.</i> (2017)	Baía de Cartagena, Colômbia	Analisar a variabilidade da qualidade das águas em 13 pontos da baía de Cartagena, no período 2001-2017	KW; ACP AA.	As 13 estações foram agrupadas em três grupos (baixo, moderado e alto nível de poluição) de acordo com suas localizações (áreas turísticas e portuárias, zona industrial e foz do dique)  Os principais parâmetros responsáveis pelas variações da qualidade da água são relacionados a nutrientes, oxigênio dissolvido, poluição fecal e orgânica (advindos de efluentes industriais e domésticos)

Tabela 3.2 – Trabalhos de avaliação de dados de monitoramento da qualidade das águas combinando diferentes ferramentas estatísticas (cont.)

REFERÊNCIA	LOCAL DE ESTUDO	OBJETIVO DO ESTUDO	FERRAMENTAS UTILIZADAS	RESULTADOS GERAIS
KENGNAL <i>et al.</i> (2015)	Áreas rurais e urbanas próximas ao rio Krishna, Índia	Avaliar a dinâmica da qualidade das águas, através da análise dos parâmetros físico-químicos no segmento estudado, de 2007 a 2011.	CP; ACP Teste t	Foi identificada correlação altamente positiva entre oxigênio dissolvido e pH e entre coliformes e DQO e correlação altamente negativa entre coliformes e oxigênio dissolvido e entre nitrato e DBO  O teste t apontou que os locais de amostragem localizados após descarga do esgoto mostraram maior níveis de poluição, com consequentes, problemas de eutrofização  A ACP apontou que os parâmetros nitrato e oxigênio dissolvido são os que mais afetam a qualidade da água na área rural, enquanto o pH e oxigênio dissolvido sobressaem na área urbana
XIN <i>et al.</i> , (2015)	Reservatório de Danjiangkou, China	Realizar uma pesquisa integrada sobre avaliação, previsão e a proteção da qualidade da água no reservatório, a fim de melhorar sua gestão	SMK; AA.	As concentrações de DQO e fósforo total mostraram uma tendência de crescimento ao longo dos anos  A AA resultou em 3 clusters referentes as poluições fracas, moderadas e pesadas. Esses resultados sugerem que o rio Shending está fortemente poluído e que os rios Jianghe, Sihe e Jianhe estão moderadamente poluídos
TRINDADE <i>et al.</i> (2017)	Sub-bacia do Rio das Velhas, Brasil	Apresentar uma análise da tendência temporal e espacial da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas	MK; CS; KW; AA.	Estações de monitoramento localizadas nas proximidades dos grandes centros urbanos apresentaram as maiores variações em relação às 11 variáveis estudadas.  Elevação dos valores de coliformes termotolerantes e nitrato ao longo do tempo de estudo, em toda a sub-bacia  IQA apresentou tendência significativa apenas em sete das 29 estações
VEGA <i>et al.</i> , (1998)	O rio Pisuerga, Espanha	Investigar a qualidade da água do rio, avaliando a influência da poluição e da sazonalidade na qualidade de suas águas e discriminar os efeitos individuais do clima e das atividades humanas na hidroquímica do rio.	ANOVA; Teste F ACP; AA.	4 componentes principais explicam 81,5% das variâncias dos parâmetros  A rotação Varimax originou quatro novos componentes que explicam 67,8% da variância, no qual a componente 1 foi interpretada como componente mineral  A ACP em combinação com a ANOVA permitiu identificar e avaliar fontes de variação espacial (poluição de origem antropogênica) e temporal (sazonal e climática), afetando a qualidade e a bioquímica da água do rio  A AA resultou em padrões de classificação semelhantes à ACP

AA – Análise de Agrupamento; ACP – Análise de Componentes Principais; ANOVA – Análise de Variância; CP – Correlação de Pearson; CS – Correlação de Spearman; KW – Kruskal-Wallis; MK – Mann-Kendal; SMK – Sazonal de Mann-Kendal.

### 3.4 Índices de qualidade da água: o índice de conformidade ao enquadramento – ICE

Outra forma de avaliação da qualidade das águas consiste na aplicação de índices de qualidade que buscam representar a influência de fatores antrópicos e naturais na dinâmica ambiental dos ecossistemas aquáticos. Os índices foram introduzidos em estudos de avaliação da qualidade da água em meados da década de 1960, surgindo por meio da necessidade de pesquisadores e cientistas em definir a qualidade da água e apresentá-la de maneira simples e consolidada, mas sem perder a sua base científica (SUTADIAN *et al.*, 2015). Possibilitam, dessa maneira, a comunicação com o público leigo, ao representar diversas variáveis em um único número, combinando diversas unidades de medidas diferentes em uma única. Por outro lado, podem acarretar perda de informações das variáveis individuais e da sua interação, não substituindo assim uma avaliação detalhada da qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica (CETESB, 2018), devendo ser utilizados simultaneamente com outras metodologias.

O Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* – CCME em 1997, no Canadá, tem como objetivo avaliar a distância entre a qualidade da água atual e a meta estabelecida pelo enquadramento de um corpo de água (CCME, 2001). Sua definição se baseia na comparação dos valores dos dados de monitoramento da qualidade da água com os padrões oficiais de qualidade da água, que no Brasil são instituídos pela resolução do CONAMA nº 357/2005 em nível federal, e pela deliberação normativa conjunta do COPAM/CERH nº 01/2008, em nível estadual, em Minas Gerais (SILVA, 2017). Segundo a CCME (2001) o índice é a combinação de três fatores que representam o não atendimento aos critérios de qualidade propostos, ou seja, representam a desconformidade ao enquadramento. Assim, o ICE é composto pelos seguintes fatores:

Fator 1 – abrangência do impacto causado pela desconformidade: representa o número de variáveis de qualidade da água que, pelo menos uma vez no período de observação, violaram os limites estabelecidos. É calculado pela Equação 3.1:

$$F_1 = \left( \frac{\text{número de variáveis que ultrapassaram o limite legal}}{\text{número total de variáveis}} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Fator 2 – frequência com que as desconformidades ocorrem: representa a porcentagem de vezes que variáveis de qualidade da água estiveram em desconformidade em relação ao número de coletas realizadas no período de observação. É dada pela Equação 3.2:

$$F_2 = \left( \frac{\text{número de testes que violaram}}{\text{número total de testes}} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

Fator 3 – amplitude da desconformidade: representa a quantidade pela qual o valor testado violou, isto é, a diferença entre o valor mensurado e o valor a ser alcançado de acordo com o objetivo de qualidade da água estipulado pela legislação. O  $F_3$  é calculado em três etapas:

a) Variação  $\Delta v$ : número de vezes em que o valor individual excedeu (“maior que”) ou não atingiu (“menor que”) o limite previsto na legislação, sendo:

Se a condição de violação é não exceder o limite (Equação 3.3):

$$\Delta v = \left( \frac{\text{valor do teste que falhou}}{\text{valor do padrão}} \right) - 1 \quad (3.3)$$

Se a condição de violação é não ser abaixo do limite (Equação 3.4):

$$\Delta v = \left( \frac{\text{valor do padrão}}{\text{valor do teste que falhou}} \right) - 1 \quad (3.4)$$

b) Soma normalizada das variações ( $snv$ ): reunião dos valores que estão em desconformidades, ou seja, soma de todas as variações individuais que não atenderam aos limites estabelecidos pela legislação, dividido pelo número total de coletas (Equação 3.5):

$$snv = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta v_i}{\text{número total de coletas}} \quad (3.5)$$

c) O fator 3 é então calculado pela soma normalizada das variações dos objetivos ( $snv$ ), sendo que estas foram reduzidas a uma variável entre 0 e 100, conforme Equação 3.6:

$$F_3 = \frac{snv}{(0,01 \times snv) + 0,01} \quad (3.6)$$

Por fim, o ICE pode ser calculado empregando-se a Equação 3.7:

$$ICE = 100 - \left( \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (3.7)$$

O índice varia de 0 a 100, sendo que, quanto mais próximo de zero, o resultado indica uma situação em que a condição do corpo hídrico está muito distante do enquadramento desejado. Os resultados do índice foram divididos em cinco categorias pelo CCME: Excelente (95-100), bom (80-94), razoável (65-79), marginal (45-64) e péssimo (0-44), mas, segundo Silva (2017), podem ser modificadas por critérios técnicos de acordo com os objetivos do interessado.

Segundo Sutadian *et al.* (2015), dos sete índices identificados por eles como sendo os mais usuais, o do CCME foi o único que realizou uma análise de sensibilidade em todas as etapas do seu desenvolvimento. Essa análise visa estudar a resposta de uma variável de saída (ou seja, o valor final do índice) a variações ou influência das incertezas de entrada (CCME 2006).

A metodologia proposta pelo CCME (2001) não define os parâmetros, mas propõe algumas diretrizes para que os resultados obtidos sejam os mais próximos da realidade. A utilização de muitos parâmetros para realização do cálculo, por exemplo, pode depreciar algum parâmetro importante, ao passo que um número reduzido de parâmetros pode subestimar parâmetros menos significantes para a qualidade da água. Assim, atualmente, o CCME recomenda um mínimo de 8 e máximo de 20 parâmetros a serem utilizados no cálculo (CCME, 2012). Em seu trabalho, Amaro (2009) aplicou o ICE estabelecendo quatro combinações de parâmetros: (i) todos os parâmetros monitorados e que possuem padrões de classificação; (ii) parâmetros mais sensíveis aos usos da água (24 no total); (iii) parâmetros gerais (cor, OD, pH e sólidos dissolvidos); (iv) parâmetros gerais mais DBO e *Escherichia coli*, obtendo resultados mais satisfatórios para as duas primeiras combinações. Além disso, os parâmetros que devem compor o índice dependem da finalidade da informação que se pretende e das características do corpo hídrico em estudo, e principalmente da disponibilidade de dados de monitoramento (SILVA, 2017).

O ICE pode ser útil no rastreamento de alterações de qualidade de água em um determinado local ao longo do tempo ou usado para comparar diferentes locais onde se analisam as mesmas variáveis e que possuem os mesmo usos (CCME, 2001), e sua utilização é vantajosa em relação aos demais devido à facilidade de aplicação e a flexibilização em relação aos parâmetros, período e tipo de corpo hídrico a serem utilizados, permitindo adaptar a verificação da conformidade ao enquadramento segundo os usos preponderantes do curso d'água avaliado e, principalmente, a disponibilidade de dados coletados (CCME, 2001; AMARO, 2009; PESSOA, AZEVEDO, RIBEIRO, 2018). No entanto, é importante ressaltar que essa flexibilização pode



se tornar uma desvantagem à medida que as seleções e adaptações não sejam realizadas de maneira cuidadosa, subestimando ou superestimando os resultados obtidos (CCME, 2001).

Sutadian *et al.* (2015) revisou 30 índices e ao final apontou o ICE como sendo o mais usual tomando como base dois critérios: o número de aplicações em revistas especializadas e a utilização por agências governamentais. Segundo o CCME (2001), o índice foi adotado para uso no Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em três formas: um índice global de qualidade da água potável, um índice de qualidade da água aceitável e um índice sanitário, cada um com parâmetros específicos a serem usados no cálculo. Nessas formas, são usados para avaliar a qualidade da água no Marrocos, Argentina, Japão, Coréia, Bélgica, Polônia, Suíça, África do Sul, Índia, Paquistão e Federação Russa.

Na área acadêmica existem diversas aplicações do ICE. Foi utilizado, por exemplo, por Hassan, Al-Obaidy e Shaawiat (2018), que buscaram determinar a qualidade da água do rio Al-Shamiyah, no Iraque, e avaliar sua adequação à vida aquática. Os autores utilizaram dezesseis parâmetros coletados mensalmente em quatro locais ao longo do rio, em um período de um ano (2013 a 2014). Como resultado, a qualidade da água de Al-Shamiyah variou entre 70,1 e 84,47 nos locais estudados, valores classificados entre “aceitável” e “bom”. Junto com uma análise de componentes principais, tais resultados permitiram aos autores concluir que a qualidade da água está em um nível desejável, parecendo não ser afetada por quaisquer poluentes que possam ter chegado ao rio, e permanecendo com qualidade necessária para manter os organismos aquáticos mais sensíveis, presentes no Al-Shamivah.

Além desse, o índice foi adotado em diversos outros estudos de qualidade da água em países como Canadá (LUMB; HALLIWELL; SHARMA, 2006; HURLEY; SADIG; MAZUMDER, 2012), Chile (ESPEJO *et al.*, 2012), China (ZHAO *et al.*, 2016; XIA *et al.*, 2018), Grécia (ALEXAKIS *et al.*, 2016), Egito (ABDEL-SATAR; ALI; GOHER, 2017), Nigéria (OGBOZIGE *et al.*, 2017), Turquia (BOYACIOGLU, 2010; DEDE; TELCI; ARAL, 2013), Índia (HANSDA *et al.*, 2017), entre outros.

No Brasil também existem trabalhos que utilizam o ICE como metodologia de avaliação da qualidade da água (AMARO, 2009; BORTOLIN *et al.*, 2013; MENEZES; SILVA JR.; PRADO, 2013; CARVALHO, 2017; SILVA *et al.*, 2017; PESSOA; AZEVEDO; RIBEIRO, 2018). No entanto, vale ressaltar que restrições de recursos (técnicos, humanos e financeiros)

podem sugerir frequências esparsas de amostragem, dificultando a inferência de informações por meio de tais dados (LIMA, 2004)

Um objetivo comum a alguns desses trabalhos é comparar o ICE com outros índices de qualidade de água, o que, no geral, traz resultados tidos como satisfatórios (ALMEIDA, 2007; MARQUES *et al.*, 2007).

Outros relacionam os resultados do índice com outros fatores, como períodos do ano (seco e chuvoso) ou uso e ocupação do solo (CABRAL; MELLO, 2015; JULIEN *et al.*, 2018; OLIVEIRA *et al.*, 2018; BARBOSA; SANTOS; MICHELAN, 2019). O CBH do Rio das Velhas (2015), no âmbito da atualização do Plano Diretor do Rio das Velhas, utilizou o ICE como um dos índices para avaliar a qualidade da água na bacia, no período de 2004 a 2018. Foram calculados dois índices: ICE (Sanitário+Industrial) e ICE (Industrial), diferenciados entre si pela escolha dos parâmetros. Em geral, os resultados do ICE (Sanitário+Industrial) apresentaram resultados consideravelmente mais críticos em relação ao ICE (Industrial), o que salienta a influência dos esgotos domésticos na degradação da qualidade das águas da bacia. Já a análise sazonal indicou pior condição na época de chuvas, nas duas abordagens consideradas para o cálculo do ICE.

Ressaltando uma das vantagens citadas pelo CCME (2001) na utilização do índice, que é a sua fácil aplicabilidade para qualquer tipo de corpo hídrico, o trabalho de Menezes, Silva Jr. e Prado (2013) traz um ICE aplicado a dados de águas subterrâneas de dezesseis municípios do Rio de Janeiro. O índice foi calculado com duas composições: a)  $\text{Na}^+$ , Fe, Al,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Mn,  $\text{NO}_3^-$  e Cl<sup>-</sup> b) estes e outros cátions, ânions, pH e coliformes termotolerantes. Os resultados das duas composições apresentaram diferenças, mas, de forma geral, as águas do Sul Fluminense obtiveram os melhores índices com cerca de 70% das amostras qualificadas dentro das classes ótima e boa. Já para as águas do Noroeste e dos Litorais Norte e Leste, a maior parte das amostras foi classificada entre regular e muito ruim.

Além dos trabalhos acadêmicos, o índice já foi utilizado também por órgãos públicos estaduais e nacionais. O Instituto Mineiro de Gestão das Águas, por exemplo, traz em seu relatório anual de 2013, um ICE adaptado com o objetivo de representar a qualidade das águas nas bacias hidrográficas monitoradas no âmbito do Programa Águas de Minas, no biênio 2012-2013. Foram definidos, para cada bacia, parâmetros distintos de acordo com os usos preponderantes. Na comparação entre as principais bacias hidrográficas de Minas Gerais, as melhores condições

(ICE Ótimo) foram observadas nas bacias dos rios Grande, Paranaíba e nos rios Pandeiros/Calindó, nas estações localizadas, respectivamente, no rio Grande a jusante do Reservatório de Furnas (BG051), no rio Araguari a jusante do reservatório de Miranda (PB019) e no rio Carinhanha a montante da sua foz no rio São Francisco (SF034). Já as piores condições (ICE Péssimo) foram mais recorrentes nas bacias dos rios Itapemirim/Itabapoana, rios Piracicaba/Jaguari, rio Paraopeba, rio das Velhas e dos Afluentes do rio Verde Grande (IGAM, 2014a).

A Agência Nacional das Águas (ANA) também aplicou o índice em seu relatório de 2013. Considerou os nove parâmetros que compõem o índice de qualidade de água – IQA com os dados de monitoramento do ano de 2011, calculando o ICE para 928 pontos distribuídos no país. Do total de pontos analisados, 44% se encontram em condições ótimas, boas ou regulares do ICE, nas quais se considera que a qualidade da água ainda está protegida e 56% dos pontos de monitoramento apresentam condições ruins ou péssimas do ICE, indicando que, com frequência, os padrões de qualidade estabelecidos na legislação não são atendidos (ANA, 2013b).

Desse modo, percebe-se que o ICE proposto pela CCME é uma ferramenta multifacetada de gerenciamento de recursos hídricos que possui muitas aplicações potenciais e pode ser usado em diversas situações (KHAN. KHAN; HALL, 2005). No entanto, vale ressaltar que é necessário cuidado ao fazer afirmações quanto aos resultados obtidos, uma vez que o ICE está intimamente ligado ao enquadramento dos corpos d'água e muitos rios no Brasil não foram submetidos ao processo de enquadramento ou não possuem as propostas de enquadramento realmente efetivadas (MACHADO; KNAPIK; BITENCOURT, 2019). Esses rios são automaticamente considerados como Classe II, segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, podendo, desse modo, não ser devidamente representados diante dos seus reais usos preponderantes.

### **3.5 Uso e ocupação do solo**

O crescimento demográfico e o desenvolvimento das sociedades e do grau de urbanização estão diretamente relacionados a um desenvolvimento socioeconômico cada vez mais acentuado, o que impulsionou as evoluções de uso e ocupação do solo nas bacias de contribuição dos corpos d'água. Essa intensa antropização do espaço acabou por alavancar o desenvolvimento de diversas ferramentas de mapeamento e análise do uso do solo por meio de técnicas de

sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica - SIG (RADEMANN; MARCZEWSKI; TRENTIN, 2017). Atualmente, mapas de uso e ocupação do solo, elaborados por diversos profissionais, estão disponíveis ao público em uma plataforma *online* gratuita, no projeto Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil, ou MapBiomias (MAPBIOMAS, 2019). A coleção gerada é obtida a partir da metodologia proposta pelo Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon), sendo os algoritmos aplicados na plataforma *Google Earth Engine*, baseando-se no processamento de imagens digitais de imagens Landsat obtidas desde 1985 até os dias atuais (SOUZA JUNIOR, 2017).

Ainda que seja um projeto relativamente recente, existem alguns estudos que utilizaram o MapBiomias em sua metodologia (VIEIRA; LOBÃO, 2016; ALMEIDA *et al.*, 2018; GARRET *et al.*, 2018; MARIANO *et al.*, 2018; BONAMI *et al.*, 2019). Vale destacar o trabalho realizado por Junger *et al.* (2019), que utilizou o MapBiomias para relacionar uso e ocupação do solo com qualidade de água ao analisar os efeitos da paisagem na saturação de CO<sub>2</sub> em lagos e reservatórios de baixa latitude.

### **3.5.1 Qualidade das águas e uso e ocupação do solo**

Diversos estudos comprovam a relação existente entre o uso e ocupação do solo e a qualidade das águas e identificam usos agrícolas e urbanos como os que mais influenciam na qualidade das águas, tendo efeitos negativos sobre ela (PONTES; MARQUES; MARQUES, 2012; LIU *et al.*, 2015; YU *et al.*, 2015; KÄNDLER *et al.*, 2017).

Usos agrícolas, em geral, são positivamente associados a variáveis de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, em suas diferentes formas (BU *et al.*, 2014; DING *et al.*, 2015; YU *et al.*, 2015), provavelmente devido à fertilização intensiva e à irrigação (YU *et al.*, 2015). Associam-se positivamente também aos sólidos totais e turbidez (TOLEDO; NICOLELLA, 2002; FERNANDES *et al.*, 2012; PONTES; MARQUES; MARQUES, 2012; MENEZES *et al.*, 2016), o que pode ser explicado pela ocorrência de processos erosivos ocasionados pelo manejo inadequado do solo nas práticas agrícolas (TOLEDO; NICOLELLA, 2002). Por outro lado, estudos apontam que esse uso promove um decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido (OD) (TOLEDO; NICOLELLA, 2002; DING *et al.*, 2015), parâmetro necessário e de extrema importância para a respiração de formas aeróbias de vida aquática.

Em contrapartida, vegetações naturais apresentam efeito positivo sobre a qualidade das águas (DING *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2015; YU *et al.*, 2015; KÄNDLER *et al.*, 2017), geralmente apresentando correlação positiva com o OD (PONTES; MARQUES; MARQUES, 2012; DING *et al.*, 2015) e negativa com sólidos totais e turbidez (TOLEDO; NICOLELLA, 2002; FERNANDES *et al.*, 2012; PONTES; MARQUES; MARQUES, 2012) e nutrientes (DING *et al.*, 2015; MENEZES *et al.*, 2016). Menezes *et al.* (2016) explicam que a redução na concentração de alguns nutrientes em seu estudo (principalmente N-NO<sub>3</sub>) sugere a fixação e a absorção desse nutriente em função do efeito filtro da vegetação natural.

No entanto, é importante ressaltar que essa relação é complexa, visto que a influência dos padrões de uso da terra na qualidade da água depende da escala no espaço e no tempo (SHI *et al.*, 2016). Em seu estudo, os autores concluíram que essa influência foi maior durante a estação chuvosa, resultado contrário ao obtido por Yu *et al.* (2015). Outro resultado obtido pelos autores foi uma maior relação entre o uso do solo e as variáveis de qualidade da água quando avaliadas em uma escala ripária, do que nas escalas locais e de bacia, corroborando os resultados encontrados por Santos *et al.* (2017) e contradizendo aqueles obtidos por Ding *et al.* (2016). Deve-se, portanto, ter em mente que cada bacia e cada corpo d'água possuem suas peculiaridades, e, dessa forma, diversos fatores irão afetar a qualidade de suas águas.

## 4 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Alto Jequitinhonha (UPGRH JQ1) é uma das três bacias que compõem a bacia do Jequitinhonha, ocupando 30,20% do seu território e 3,3% da área do Estado de Minas Gerais. Possui uma área de 19.855 km<sup>2</sup> (1.985.500 ha) abrangendo um total de 26 municípios (IGAM, 2010). Sua população é de aproximadamente 131.000 habitantes, sendo 72.000 (59%) residentes em área urbana e 59.000 (41%) em área rural (IBGE, 2010), porcentagem relativamente alta se comparada a maioria das UPGRHs do Estado.

O tipo climático predominante na região é subúmido seco, com temperatura média de aproximadamente 22°C. A precipitação média anual é geralmente superior aos 1.400 mm para altitudes entorno dos 1.300 m (Diamantina), aproximadamente 1.000 mm para altitudes de 700 m (Montes Claros) e na ordem de 800 mm para altitudes inferiores aos 300 m (Araçuaí), sendo o regime pluviométrico na bacia distribuído ao longo do ano em períodos secos (abril a setembro) e chuvosos (outubro a março) (IGAM, 2014b). Os registros de vazão na bacia acompanham essa sazonalidade, sendo que a variação dos valores de vazões médias mensais ao longo do ano possui maiores valores entre os meses de novembro a abril, como resposta ao período mais chuvoso.

O rio principal dá nome à bacia: rio Jequitinhonha. Seus principais afluentes na unidade JQ1 são: ribeirão da Areia, rio Macaúbas, ribeirão do Gigante, rio Itacambiruçu e rio Vacaria, ambos pela margem esquerda do rio Jequitinhonha (IGAM, 2014b). Para gestão desses e outros corpos d'água presentes na bacia, os principais instrumentos previstos pela Política Estadual de Recursos Hídricos estão implementados: plano diretor, enquadramento dos corpos d'água em classe segundo o uso preponderante da água e a outorga de direito de usos de recursos hídricos.

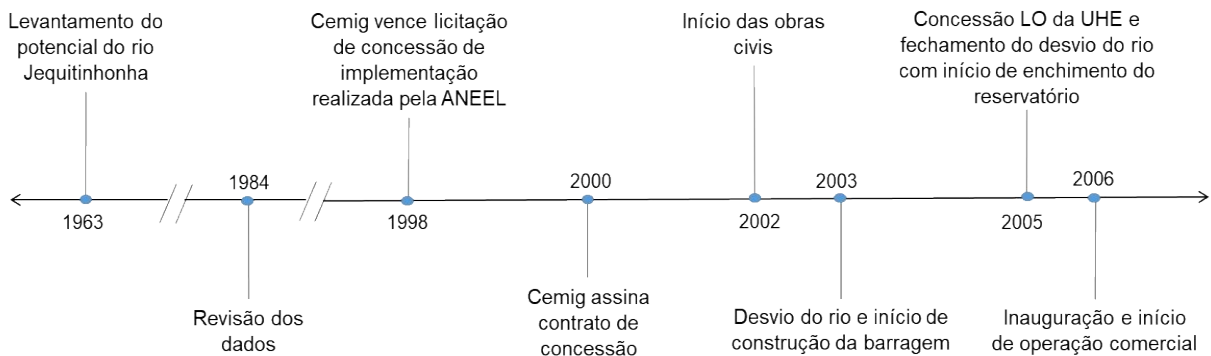
A pedodologia da bacia é composta de Cambissolos (43%), sendo a classe mais representativa, seguidos pelos Latossolos (29,87%), enquanto que os Argissolos e os Neossolos ocorrem de forma pouco expressiva, com 1,79% e 0,84% respectivamente. De forma também representativa ocorrem afloramentos rochosos em 24,5% da área da bacia, associados à região da Serra do Espinhaço (IGAM, 2013).

De acordo o Igam (2014b), com o mapeamento do uso e ocupação do solo JQ1 constata-se que parte de sua superfície encontra-se ainda com a cobertura vegetal conservada. O Campo Cerrado é a classe de uso que ocupa maior extensão, seguido do Cerrado. As áreas cobertas por

solo exposto (representando áreas em preparação de plantio) e lavoura encontram-se dispersas por toda a bacia e concentradas em algumas regiões específicas (Leste e Norte), respectivamente. Segundo da Silva e Miranda (2015), a região do Alto Jequitinhonha se especializou na produção florestal, mais especificamente na produção de *Eucalyptus sp.*, e na agricultura e pecuária. As manchas urbanas é a classe que apresenta o menor percentual entre todas as categorias, uma vez que a população rural tem grande presença na bacia, como relatado anteriormente.

Em relação às atividades industriais, destacam-se especialmente os setores de transformação (fabricação de produtos alimentícios, bebidas alcoólicas e bebidas não alcoólicas) e extração (minerais não metálicos, minério de metais preciosos e pedras, bem como de joalheria, lapidação e ourivesaria). Ressalta-se também a produção artesanal de produtos cerâmicos e têxteis e as construções para geração e distribuição de energia elétrica (IGAM, 2014b). Uma dessas obras é a UHE Irapé (Usina Hidrelétrica Presidente Juscelino Kubitschek), “uma obra estratégica para o Governo do Estado de Minas Gerais, por sua importância social e econômica, em especial para as regiões do Vale do Jequitinhonha e Norte de Minas”. As primeiras investigações sobre Irapé foram realizadas entre 1963 e 1965 por consultores do consórcio Canambra e técnicos da Cemig que participaram de um levantamento dos recursos energéticos da região Sudeste. O trabalho incluiu o inventário do potencial hidrelétrico da bacia do Jequitinhonha, identificando aproveitamentos promissores, como Irapé. Desde então, Irapé passou a ser visto como um projeto relevante para o desenvolvimento da região do Jequitinhonha, uma das mais pobres do estado (CEMIG, 2006). A Figura 4.1 apresenta uma linha do tempo resumindo a trajetória do projeto, até o ano da sua inauguração. Inaugurada em 2006, a usina possui uma barragem de 209m, sendo a mais alta do Brasil e a segunda maior da América Latina, e um reservatório de aproximadamente 143 km<sup>2</sup> que abrange sete municípios mineiros, como ilustrado na Figura 4.2. Possui potência instalada de 399 MW e os níveis d’água operacionais variam entre 470,8m a 510m (CEMIG, 2016). A Tabela 4.1 contém um resumo das características técnicas do empreendimento.

Figura 4.1 – Linha do tempo da trajetória do projeto Irapé, desde a sua concepção até a sua inauguração



ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica  
LO: Licença de operação

Fonte: adaptada de CEMIG, 2012

Tabela 4.1 – Descrição das características técnicas da UHE Irapé

Localização	Municípios de Berilo e Grão Mogol (MG)
Reservatório	Área (km <sup>2</sup> ): 142,95
	Volume total máximo (hm <sup>3</sup> ): 5.954,88
	Volume útil máximo (hm <sup>3</sup> ): 3.689
	NA mínimo operativo (m): 470,8
	NA máximo operativo (m): 510
	Municípios atingidos: Cristália, Botumirim, Grão-Mogol, Turmalina, Berilo, Leme do Prado, José Gonçalves de Minas (MG)
Barragem	Localização: rio Jequitinhonha
	Tipo: Enrocamento compactada com face de concreto
	Comprimento (m): 540 Altura máxima (m): 209
Casa de força	Potência instalada (MW): 399
	Nº de unidades geradoras: 3 Nº de turbinas: 3
	Tipo de turbinas: Francis de eixo vertical
Vertedouro	Tipo: túnel calha
	Capacidade(m <sup>3</sup> /s): 3.798
	Comprimento (m): 652 Nº de comportas: 3

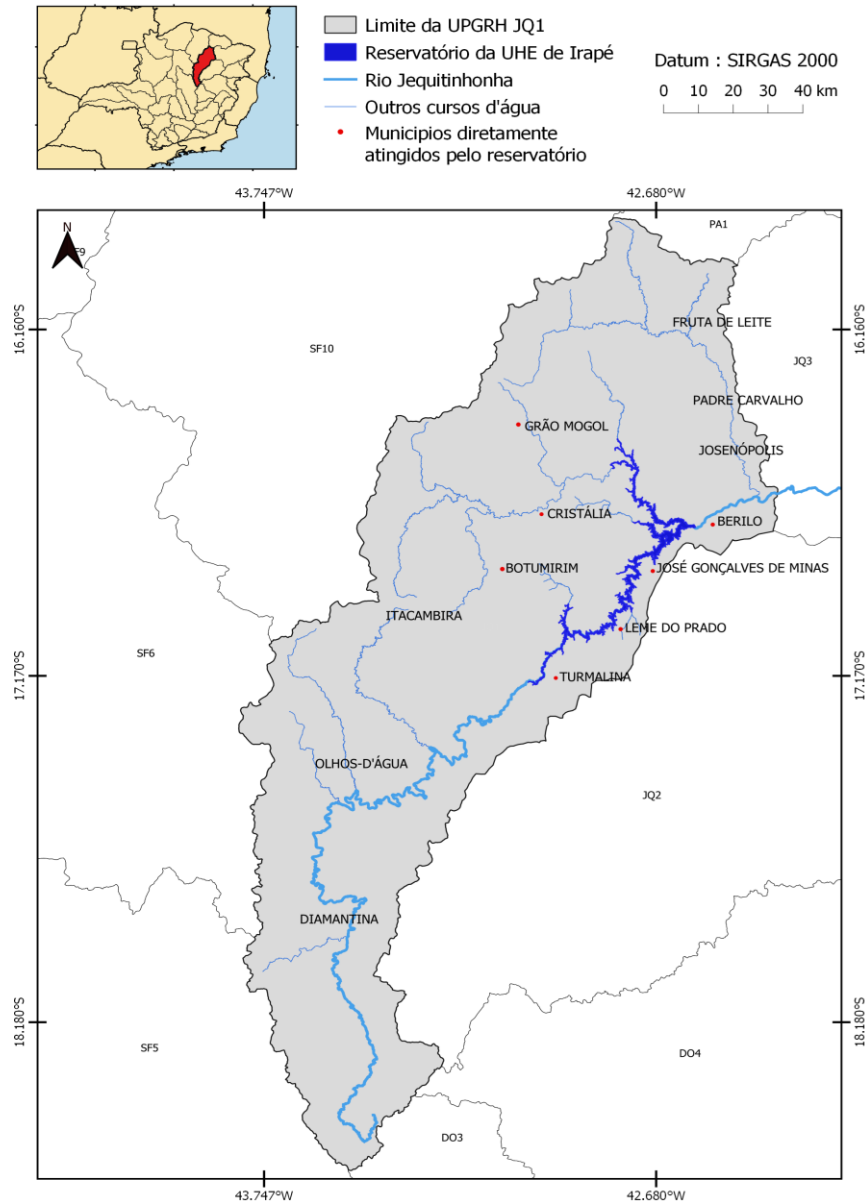
Fonte: adaptada de CEMIG, 2016

No que diz respeito à classificação do relevo, segundo consta no Plano Ambiental de Conservação e Uso da Água do Entorno do Reservatório – PACUERA da UHE Irapé, a área de entorno do reservatório configura, predominantemente, relevo fortemente ondulado, com 25 a 47% de inclinação. Secundariamente ocorrem declividades de relevo muito ondulado, variando entre 15 e 25%. De forma descontínua e isolada, ocorrem, ainda, declividades variando entre 47 e 100%, caracterizando as áreas de uso restritivo (CEMIG, 2012). O plano informa também que, em relação à pedologia, conforme o Mapa de Solos na Área de Entorno da UHE Irapé,



pode-se identificar as seguintes Unidades de Mapeamento: Afloramento Rochoso, Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, Cambissolo Háplico Tb Distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Latossolo Vermelho Distrófico.

Figura 4.2 – Localização geográfica da UHE Irapé e municípios diretamente atingidos pelo seu reservatório



A região é caracterizada também pela geração de acidez no sítio da UHE. Segundo Leão (2004), esse fenômeno ocorre em microambientes onde a água e o oxigênio entram em contato com os minerais sulfetados. A acidez poderá ser diluída pelo excesso de água durante a percolação, neutralizada por minerais que compõem as rochas da região ou originar sais ácidos que se precipitam quando seu produto de solubilidade é excedido.

## **5 METODOLOGIA**

### **5.1 Avaliação da qualidade das águas superficiais do reservatório de Irapé e principais tributários**

A análise da qualidade da água do reservatório e seus contribuintes será realizada em quatro etapas: i) avaliação das variações espaciais por meio da aplicação de análises multivariadas e testes não-paramétricos; ii) cálculo do percentual de violação dos parâmetros de qualidade de água monitorados em relação aos limites preconizados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008; iii) análise de tendência temporal aos parâmetros de qualidade da água; e iv) aplicação do índice de conformidade ao enquadramento (ICE) aos dados de monitoramento.

Os dados secundários utilizados no presente trabalho foram obtidos a partir do monitoramento de qualidade da água realizado pela Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) e de responsabilidade técnica das empresas Água e Terra Planejamento Ambiental Ltda (até o primeiro semestre de 2014) e Brandt Meio Ambiente Ltda. (à partir do segundo semestre de 2014). Inicialmente consistiram em 60 parâmetros, listados na Tabela AI.1 do Apêndice 1, e 16 estações de monitoramento analisados entre 2004 e 2018, com um total de 778 coletas realizadas.

#### **5.1.1 Seleção e organização do banco de dados**

Para a seleção e organização do banco de dados disponibilizado, os dados foram organizados em planilhas e divididos por estação de monitoramento, considerando o ano de implementação da estação e a frequência de amostragem. Desse modo, a seleção do período de estudo e das estações de monitoramento foi feita com base nos anos e estações que contiveram o maior número de séries completas de dados.

Para a determinação dos parâmetros a serem analisados foram calculadas as porcentagens de dados faltantes para o banco de dados estabelecido. Aqueles que apresentaram mais de 60% dos dados faltantes foram excluídos, conforme metodologias aplicadas por Trindade (2013) e Souza (2013). Os parâmetros selecionados nessa primeira etapa passaram por análise individual e foram mantidos ou excluídos com base na sua importância para estudos de qualidade de água, frequência e presença de monitoramento em toda a série histórica e variabilidade dos dados.

Essas etapas podem ser visualizadas resumidamente no fluxograma apresentado na Figura 5.1. Após a seleção dos dados a serem utilizados, seguiu-se com as demais etapas, conforme representado sucintamente no fluxograma da Figura 5.2 e descrito mais detalhadamente nos subitens subsequentes.

Figura 5.1 – Fluxograma da metodologia utilizada para a seleção do banco de dados utilizado no presente estudo

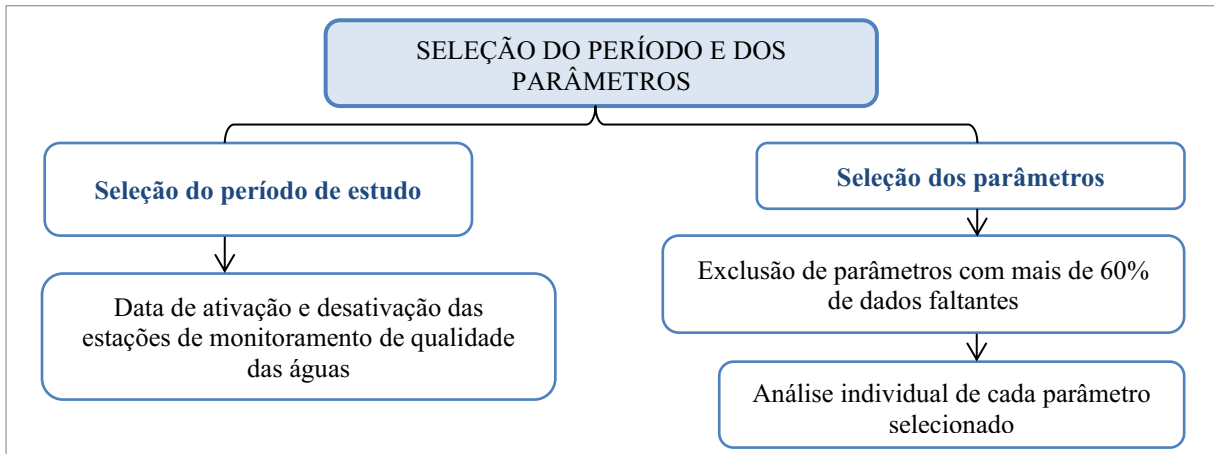


Figura 5.2 – Fluxograma da metodologia utilizada no presente estudo após a seleção do banco de dados

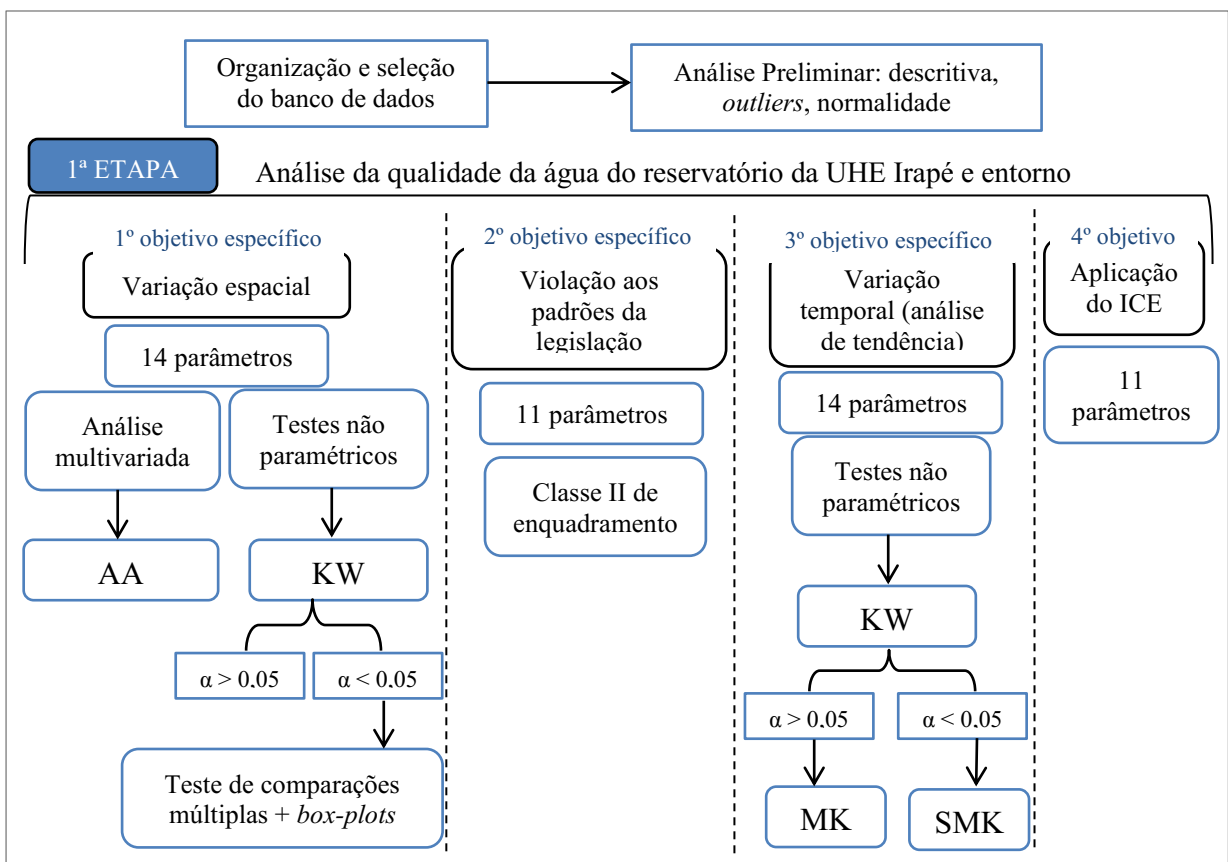
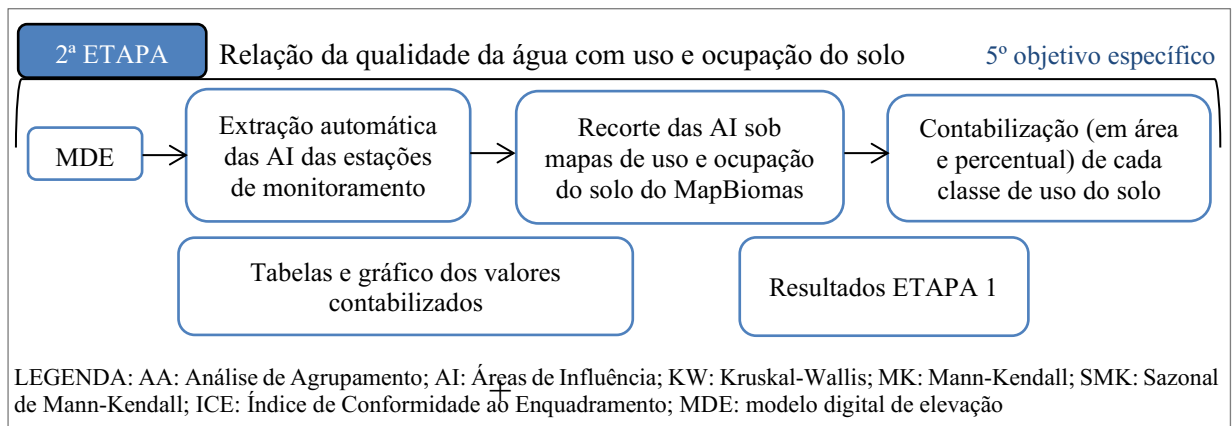


Figura 5.2 – Fluxograma da metodologia utilizada no presente estudo após a seleção do banco de dados (cont.)



## 5.1.2 Avaliação das variações espaciais na qualidade da água do reservatório e principais tributários

### 5.1.2.1 Análise descritiva do banco de dados

O cálculo da estatística descritiva foi efetuado para os dados brutos (não padronizados) de cada parâmetro da qualidade da água, em cada estação de monitoramento, apresentando valores de média, média geométrica, mediana, mínimo e máximo, desvio padrão, percentis 25 e 75% e os coeficientes de assimetria e curtose.

Além disso, o percentual de *outliers* foi calculado pelo método exploratório da amplitude interquartis (AIQ), que é dada pela diferença entre o terceiro quartil (Q3 ou percentil 75%) e primeiro quartil (Q1 ou percentil 25%). Assim, foi considerado *outlier* superior todo dado maior que  $(Q3 + 1,5AIQ)$  e *outlier* inferior todo valor menor que  $(Q1 - 1,5AIQ)$  (NAGHETTINI; PINTO, 2007) e suas ocorrências foram analisadas individualmente para a decisão de manutenção ou retirada desses valores das análises. A análise individual foi efetuada para verificar se a observação era passível de ocorrência no contexto em estudo, e apenas foram excluídos os dados de qualidade reconhecidamente duvidosa.

Os resultados da estatística descritiva recalculada após exclusão dos *outliers* foram apresentados na forma de tabela, para cada parâmetro. Por fim, foi aplicado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para cada parâmetro em cada estação, ao nível de significância de 5%, para verificar se os dados seguiam ( $p > 0,05$ ) ou não ( $p < 0,05$ ) uma distribuição normal de frequências, visto que a distribuição não normal é um pressuposto para a utilização dos testes não paramétricos que serão utilizados nesse estudo.

### 5.1.2.2 Aplicação das análises estatísticas e testes de hipóteses

O primeiro passo dessa etapa consistiu na padronização dos dados referentes aos valores dos parâmetros selecionados no item 5.1.1, em uma escala Z. Essa padronização é uma condição necessária para a realização dos testes multivariados, onde a variável original é convertida em outra com média de 0 e desvio padrão de 1 com mesma escala, através da subtração da média da variável e divisão pelo desvio-padrão para cada variável ( $Z = (X-\mu) / \sigma$ ). Desse modo, garante-se que todas as variáveis sejam comparáveis, eliminando-se o viés introduzido pelas diferenças nas escalas dos vários atributos ou variáveis usadas na análise (HAIR et al., 2009).

Após a padronização, realizou-se a Análise de Agrupamento (AA) com o objetivo de agrupar as estações de monitoramento similares em função dos valores dos parâmetros de qualidade da água mensurados. Para isto, foi utilizado o método aglomerativo hierárquico pela técnica de agrupamento *ward*, considerando como medida de dissimilaridade a distância euclidiana. Para validação dos agrupamentos formados por tais métodos, foi calculado o coeficiente cofenético de correlação (CCC), por meio do software RStudio® versão 3.6.1. A posição da linha Fenon (linha de corte) usada como referência dos agrupamentos foi determinada pelo método proposto por Vicini (2005), que leva em consideração os valores de ligação entre os grupos formados e sugere o corte de acordo com os maiores saltos observados.

Para detalhar a análise e os resultados obtidos na AA, o teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis seguido do teste de comparações múltiplas (quando aplicável), ao nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%, foi aplicado entre os clusters formados, permitindo observar quais foram as possíveis diferenças significativamente responsáveis pela separação das estações de monitoramento em grupos distintos. Ao final dessa etapa foram gerados gráficos *box-plots* que possibilitaram melhor visualização dos resultados.

### **5.1.3 Violação dos parâmetros de qualidade de água aos limites preconizados pela legislação**

Foram calculados os percentuais de violação de cada parâmetro do banco de dados selecionado com limites preconizados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08, conforme a classe de enquadramento do corpo d'água em que estas estações se encontram. Diante do contexto do trabalho, é importante ressaltar que esses limites são os mesmos para os dois tipos de ambientes estudados, com exceção do  $P_T$ , cujo limite é mais restritivo em ambientes lênticos (0,03 mg/L) do que nos ambientes lóticos (0,1 mg/L). Esse procedimento

foi realizado para cada estação de monitoramento, tendo como período de referência toda a série histórica selecionada. Além da porcentagem a violação foi representada graficamente, por meio de *box-plots*, a fim de facilitar a visualização dos resultados.

#### **5.1.4 Análise de tendência aos parâmetros de qualidade da água do reservatório e principais tributários**

Posteriormente foi realizada a análise de tendência temporal de cada parâmetro, em cada estação, ao longo da série histórica selecionada (2008 a 2018), por meio da aplicação do teste de Mann-Kendall (MK) ou teste Sazonal de Mann-Kendall (SMK).

Um dos pressupostos existentes para que esses testes possam retornar resultados confiáveis é a inexistência de autocorrelação dos dados analisados. Portanto, a primeira etapa da análise consistiu na verificação da autocorrelação por meio da Função de Autocorrelação (FAC), que mede o grau de correlação de uma variável, em um dado instante, consigo mesma em um instante de tempo posterior. Para resultados positivos de autocorrelação os testes foram substituídos pelas suas versões modificadas (MKm ou SMKm), conforme proposto por Hamed e Rao (1997).

A escolha entre MK (ou MKm) e SMK (ou SMKm), por sua vez, foi baseada na presença ou não de sazonalidade entre os dados medidos nos diferentes períodos do ano, uma vez que esse fator consiste em uma fonte potencial de variação nas séries de dados de qualidade da água. Para isso os dados de cada trimestre, de todos os parâmetros, em cada estação, foram comparados entre si pelo teste estatístico não paramétrico de Krukal-Wallis (KW). Uma vez verificada diferença significativa entre os trimestres ( $p < 0,05$ ), a influência da sazonalidade foi considerada existente e o teste SMK (ou SMKm) foi aplicado em seguida. Nos casos em que o p-valor do teste KW não foi considerado significativo ( $p > 0,05$ ), a tendência temporal dos parâmetros foi verificada pela aplicação do teste MK (ou MKm).

Por fim, a existência de tendência temporal foi verificada por meio dos p-valores e, quando necessário, pelos valores de Tau de Kendall ( $\tau$ ) calculados em ambos os testes. Em caso de  $p < 0,05$  não foi verificada diferença significativa entre os dados analisados, ou seja, não houve tendência de elevação ou redução no valor do parâmetro em uma determinada estação ao longo da série histórica. Para  $p > 0,05$  a tendência foi considerada existente, e o valor de Tau de Kendall ( $\tau$ ) determinou se esta tendência foi de elevação ( $\tau$  positivo) ou redução ( $\tau$  negativo). Todos os

testes citados nesse item e no item 5.1.2 foram realizados por meio da utilização dos programas XLSTAT<sup>®</sup> 2014.1.01 e ou Statistica<sup>®</sup> 8.0, ao nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%.

### **5.1.5 Aplicação do índice de conformidade ao enquadramento (ICE)**

Para o cálculo do ICE foi considerado o enquadramento atual dos cursos d'água da Bacia (classe II), considerando os valores máximos vigentes na Deliberação Normativa Conjunta do COPAM/CERH n° 01 de 05 de maio de 2008.

A metodologia do ICE proposta pela CCME (2001) não define os parâmetros, mas recomenda um mínimo de 8 e máximo de 20 parâmetros a serem utilizados no cálculo (CCME, 2012). Com base nas premissas citadas no item 3.4 – “Revisão de Literatura” (AMARO, 2009; CCME, 2012; SILVA, 2017), nesse trabalho foram considerados todos os parâmetros selecionados no item 5.1.1 que possuem padrão estipulado na legislação. A frequência de coleta adotada para a aplicação do índice foi trimestral, uma vez que essa é a frequência oficial adotada pela Cemig em seu monitoramento. O ICE foi aplicado, primeiramente, para cada estação e em cada ano da série histórica selecionada. Em seguida, foi aplicado para cada estação por período (seco ou chuvoso), dessa vez considerando toda a série histórica, a fim de analisar a influência da sazonalidade na qualidade da água do reservatório e tributários. Para o cálculo foi utilizado o programa MS Excel<sup>®</sup>, com a adaptação da metodologia de Amaro (2009). Assim, foram elaboradas planilhas padronizadas para cada estação de monitoramento contendo as seguintes informações:

Dados de entrada: (i) datas de amostragem; (ii) nome e valores dos parâmetros analisados; (iii) limites de violação segundo a legislação.

Dados de cálculo: (i) desconformidades: foi verificado se os valores dos parâmetros estão de acordo com os limites exigidos. Valores em desconformidade foram destacados em vermelho pela ferramenta de formatação condicional do programa e retornaram na coluna de “desconformidades” o valor 1 (um). Caso contrário o valor retornado foi igual a 0 (zero); (ii) variação  $\Delta v$ : indica o quanto a variável afastou-se do objetivo. Foi calculada quando o valor correspondente a célula de “desconformidades” foi 1 (um).

Dessa forma foi possível a elaboração da tabela resumo para cada estação, contendo em cada linha: (i) ano ou período analisado; (ii) quantidade total de parâmetros monitorados; (iii)

números de testes realizados (número de coletas x número de parâmetros); (iv) quantidade de parâmetros que violaram a legislação pelo menos uma vez no ano ou período em questão; (v) número total de testes desconformes; (vi) soma normalizada das variações (*snv*); (vii) cálculo dos fatores  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$  mencionados no item 3.4, nas páginas 19 e 20; (viii) valor final do ICE. Os valores obtidos foram compilados em uma tabela final e classificados em classes estipuladas pelo CCME (2001) conforme a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Classificação do ICE conforme *Canadian Council of Ministers of the Environment*

<b>Critério</b>	<b>Classe</b>	<b>Condições da qualidade da água</b>
ICE $\geq$ 95	Excelente	São muito próximas do enquadramento
79 < ICE $\leq$ 94	Bom	Raramente se distanciam do enquadramento
64 < ICE $\leq$ 79	Aceitável	Às vezes se distanciam do enquadramento
44 < ICE $\leq$ 64	Ruim	Frequentemente se distanciam do enquadramento
ICE $\leq$ 44	Péssimo	Normalmente se distanciam do enquadramento

Fonte: adaptada de CCME (2001)

## **5.2 Relação entre a qualidade de água e os usos do solo da bacia em estudo**

Como dito anteriormente, diversos estudos comprovam a relação entre as alterações no uso do solo e a qualidade das águas que compõem uma mesma bacia. O presente estudo objetivou, portanto, avaliar e compreender essa relação dentro da área de estudo JQ1. A obtenção dos usos do solo da bacia foi realizada em duas etapas: i) delimitação das áreas de influência das estações de monitoramento; e ii) determinação do uso e ocupação do solo para cada área de influência.

A primeira etapa foi realizada a partir das imagens *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), com o uso dos Modelos Digitais de Elevação (MDEs) organizados em tiles de 1°x1° e com 90m de resolução vertical. A extração automática das microbacias hidrográficas para cada estação de monitoramento foi realizada por sobreposição dos pontos georreferenciados de monitoramento da qualidade das águas às imagens SRTM. Os procedimentos foram desenvolvidos no programa QGIS 3.14.

Os usos do solo da JQ1 foram obtidos à partir dos mapas da Coleção 3 da plataforma do MapBiomas. Foram utilizados mapas anuais referentes a toda a série histórica estudada. No programa ArcGIS® 10.5 foi realizado o recorte de cada área de influência das estações de monitoramento obtidas na etapa anterior sobre os onze mapas obtidos, onde foram identificadas, no total, 13 classes de usos do solo. No entanto, para facilitar a visualização e discussão dos resultados, algumas dessas classes foram agrupadas em classes mais



abrangentes. Para tal, tomou-se como referência a tabela de código de legendas disponibilizada pela plataforma (MAPBIOMAS, 2019), além de imagens satélites da área que foram sobrepostas aos mapas de uso. Outras classes tiveram a nomenclatura adaptada. A Tabela 5.2 apresenta os usos de solo identificados inicialmente e as sete classes finais resultantes do processo de agrupadas e renomeação.

Tabela 5.2 – Classes de uso do solo identificadas na bacia do Alto Jequitinhonha

<b>Classes de uso do solo identificadas originalmente</b>	<b>Classes de uso do solo resultantes da aglutinação</b>
Formação florestal	Vegetação natural
Formação savânica	
Floresta plantada	Reflorestamento
Formação campestre	Agropecuária
Pastagem	
Outra área não vegetada	
Cultura anual e perene	
Mosaico de agricultura e pastagem	Afloramento rochoso
Afloramento rochoso	
Não observado	Água
Corpos d'água	
Infraestrutura urbana	Infraestrutura urbana
Mineração	Mineração

Em seguida realizou-se a contabilização (em hectare) de cada classe de uso do solo identificada, descrevendo assim as configurações da paisagem para cada área de influência das estações de monitoramento analisadas, em cada ano da série histórica. Os resultados foram apresentados, em porcentagem, na forma de gráficos de colunas.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Avaliação da qualidade das águas superficiais do reservatório de Irapé e principais tributários

#### 6.1.1 Seleção e organização do banco de dados

A seleção do banco de dados foi realizada por meio de análise conjunta entre estações, período de coleta e parâmetros analisados. A Tabela 6.1 apresenta o número de coletas superficiais realizadas em cada estação, por ano. Observa-se que em todos os anos antes de 2008, cerca de 50% das estações não apresentaram nenhuma coleta, sendo esses anos excluídos do banco de dados a ser utilizado. Por outro lado, à partir de 2008, no mínimo 87,5% das estações apresentou pelo menos uma coleta por ano.

Tabela 6.1 – Número de coletas realizadas na superfície, no monitoramento das estações do reservatório da UHE Irapé e principais tributários, em cada estação, por ano

Estações	ANO															n*
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
VIR03	6	4	7	5	3	6	3	4	4	3	4	4	4	3	4	64
VIR06	6	4	7	5	3	6	3	4	4	3	4	3	4	3	4	63
VIR08	5	4	7	5	3	6	3	4	4	3	4	3	4	3	4	62
VIR09	5	4	7	5	3	6	3	4	4	3	4	3	4	3	4	62
VIR10	5	4	7	5	3	6	3	4	4	3	4	3	4	3	4	62
VIR11	5	4	7	5	3	6	3	4	4	3	5	3	4	3	4	63
VIR70	6	4	7	5	6	6	3	4	4	3	4	3	4	3	3	65
VIR75	-	-	-	-	-	-	2	4	3	2	4	1	-	-	-	16
VIR95	-	-	7	1	2	6	3	4	4	3	4	4	4	3	4	49
VIR105	-	-	-	-	-	-	-	3	4	3	5	3	4	3	-	25
VIR115	-	-	-	-	5	6	3	4	4	3	3	3	4	-	3	38
VIR20	-	-	-	-	2	6	3	4	4	3	4	4	4	3	4	41
VIR30	-	-	-	-	2	6	3	4	4	3	4	4	4	3	4	41
VIR40	-	-	-	-	3	6	3	4	4	3	4	4	4	3	4	42
VIR50	-	-	-	-	3	6	3	4	4	3	4	4	4	3	4	42
VIR60	-	-	1	-	3	6	3	4	4	3	4	4	4	3	4	43
<b>n total de coletas</b>																<b>778</b>

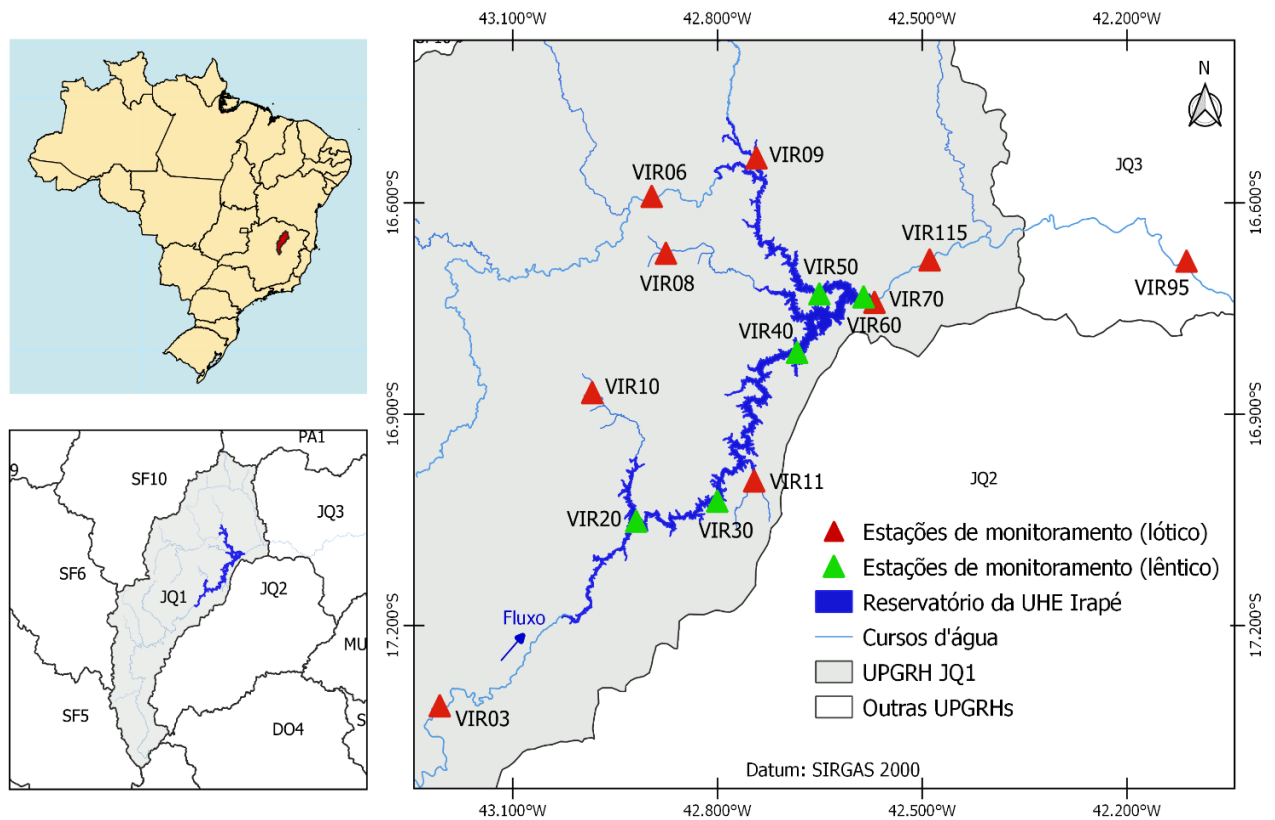
\*n = número total de coletas por estação

Dessa maneira, uma segunda tabela, considerando apenas o período de 2008 a 2018, permitiu identificar as falhas de dados existentes e a frequência de monitoramento. Após análise, as estações VIR105 e VIR75 foram excluídas do banco de dados por terem sido implementadas após o ano inicial do estudo (2011 e 2010, respectivamente). A descrição das estações selecionadas é apresentada na Tabela 6.2 e as suas localizações geográficas podem ser visualizadas na Figura 6.1.

Tabela 6.2 – Descrição das estações de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e principais tributários selecionadas para o estudo

Estação de Coleta	Descrição	Curso d'água	Bacia	Município	Condição física	Coordenadas (GMS)	
						Latitude	Longitude
VIR03	Montante do reservatório - próximo à balsa de Terra Branca.	Rio Jequitinhonha	Alto Jequitinhonha JQ1	Bocaiuva	Lótico	17° 18' 49.05" S	43° 12' 25.07" W
VIR06	Montante do reservatório - abaixo da ponte que liga Grão Mogol a Cristália.	Rio Itacambiruçu	Alto Jequitinhonha JQ1	Grão Mogol	Lótico	16° 35' 25.61" S	42° 53' 46.67" W
VIR08	Montante do reservatório - na ponte que liga Grão Mogol a Cristália.	Rio Soberbo	Alto Jequitinhonha JQ1	Cristália	Lótico	16° 40' 16.20" S	42° 52' 31.83" W
VIR 09	Montante do reservatório - na ponte que liga Grão Mogol a UHE Irapé.	Rio Ventania	Alto Jequitinhonha JQ1	Grão Mogol	Lótico	16° 32' 9.01" S	42° 44' 34.04" W
VIR 10	Montante do reservatório	Ribeirão Noruega	Alto Jequitinhonha JQ1	Botumirim	Lótico	16° 52' 8.35" S	42° 59' 0.75" W
VIR 11	Montante do reservatório	Ribeirão Corrente	Alto Jequitinhonha JQ1	Leme do Prado	Lótico	16° 59' 40.02" S	42° 44' 46.03" W
VIR 70	Jusante da casa de força - 500 metros do canal de fuga.	Rio Jequitinhonha	Alto Jequitinhonha JQ1	Grão Mogol	Lótico	16° 44' 26.85" S	42° 34' 11.30" W
VIR 95	Jusante da casa de força - em frente à escola Coronel Paulo Fernandes.	Rio Jequitinhonha	Alto Jequitinhonha JQ1	Coronel Murta	Lótico	16° 40' 56.24" S	42° 6' 44.89" W
VIR 115	Jusante da casa de força	Rio Jequitinhonha	Alto Jequitinhonha JQ1	Virgem da Lapa	Lótico	16° 39' 52.88" S	42° 29' 20.32" W
VIR 20	Reservatório	Rio Jequitinhonha	Alto Jequitinhonha JQ1	Turmalina	Lêntico	16° 40' 49.99" S	42° 55' 8.34" W
VIR 30	Reservatório	Rio Jequitinhonha	Alto Jequitinhonha JQ1	Leme do Prado	Lêntico	17° 3' 5.53" S	42° 48' 0.69" W
VIR 40	Reservatório	Rio Jequitinhonha	Alto Jequitinhonha JQ1	Grão Mogol	Lêntico	17° 1' 23.32" S	42° 40' 59.95" W
VIR 50	Reservatório	Rio Itacambiruçu	Alto Jequitinhonha JQ1	Cristália	Lêntico	16° 48' 43.10" S	42° 39' 1.97" W
VIR 60	Reservatório, 500 metros do barramento.	Rio Jequitinhonha	Alto Jequitinhonha JQ1	Grão Mogol	Lêntico	16° 43' 43.98" S	42° 35' 8.95" W

Figura 6.1 – Localização geográfica das estações de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e principais tributários selecionadas para o presente estudo



A metodologia de seleção dos parâmetros pelo percentual de dados faltantes determinou a exclusão de 60% dos 60 parâmetros monitorados pela Cemig, conforme Tabela AI.1 do Apêndice I. Dos 24 parâmetros selecionados nessa etapa, seis (alumínio dissolvido, cloreto total, cobre dissolvido, manganês dissolvido, substâncias tensoativas e sulfeto) foram excluídos por apresentarem falhas de dados no início (parâmetros propostos ao longo dos anos) ou final (parâmetros não mais analisados) da série histórica; três (nitrito, óleos e graxas e temperatura do ar) por não serem representativos para indicar o tipo de contaminação da água nesta região e um (fenóis totais) pela pouca variabilidade dos dados. Dessa maneira, 14 parâmetros foram selecionados para o banco de dados final. O banco de dados selecionado para as etapas subsequentes desse estudo é apresentado na Tabela 6.3. A Tabela 6.4 apresenta a notação de referência e a unidade de cada parâmetro selecionado.

Tabela 6.3 – Descrição do banco de dados original do reservatório da UHE Irapé e principais tributários e do banco de dados selecionado após análises

	Banco de dados original	Banco de dados selecionado após análises
<b>Período de análise</b>	1º trimestre de 2004 ao 4º trimestre de 2018	1º trimestre de 2008 ao 4º trimestre de 2018
<b>Total de coletas</b>	778	578
<b>Total de observações</b>	10130	8435
<b>Parâmetros</b>	60	14 (Alcalinidade total, coliformes termotolerantes, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio, ferro dissolvido, fósforo total, nitrato, nitrogênio amoniacal total, oxigênio dissolvido, pH <i>in loco</i> , sólidos dissolvidos totais, sulfato, temperatura da água e turbidez)
<b>Estações de monitoramento</b>	16	09 em ambientes lóticos (VIR03, VIR06, VIR08, VIR09, VIR10, VIR11, VIR70, VIR95, VIR115) e 05 em ambiente lêntico (VIR20, VIR30, VIR40, VIR50, VIR60)

Para ajudar na identificação das estações de monitoramento em relação ao tipo de ambiente que estão localizadas e facilitar a compreensão dos resultados, será acrescido, na frente dos nomes das estações, o código “-LE” (VIR20-LE, VIR30-LE, VIR40-LE, VIR50-LE, VIR60-LE), para aquelas localizadas dentro de ambiente lêntico, e “-LO” para as localizadas em ambiente lótico (VIR03-LO, VIR06-LO, VIR08-LO, VIR09-LO, VIR10-LO, VIR11-LO, VIR70-LO, VIR95-LO, VIR115-LO).

Tabela 6.4 – Nome, notação de referência, unidade e metodologia utilizada para mensuração dos parâmetros selecionados

Parâmetro	Notação de referência	Unidade de medida	Metodologia *
Alcalinidade total	Al <sub>Cr</sub>	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Potenciometria
Coliformes termotolerantes	Coli. term.	NMP/100mL	Tubos múltiplos
Condutividade elétrica	CE	µS/cm	Conductimetria
Demanda bioquímica de oxigênio	DBO	mg O <sub>2</sub> /L	Winkler/incubação
Ferro dissolvido	Fe <sub>d</sub>	mg Fe/L	Espectrometria de AA – plasma
Fósforo total	P <sub>T</sub>	mg P/L	Colorimetria
Nitrato	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg N-NO <sub>3</sub> /L	Colorimetria
Nitrogênio amoniacal total	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg N-NH <sub>3</sub> /L	Colorimetria
Oxigênio dissolvido	OD	mg O <sub>2</sub> /L	Titulometria
pH <i>in loco</i>	pH		Método eletrométrico com sonda
Sólidos dissolvidos totais	SDT	mg SDT/L	Gravimetria
Sulfato	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> <sub>T</sub>	mg SO <sub>4</sub> /L	
Temperatura da água	Temperatura	°C	Método eletrométrico com sonda
Turbidez	Turb.	NTU	Método turbidimétrico

\* Metodologia analítica informada pelo responsável pela disponibilização dos dados.

## 6.1.2 Avaliação das variações espaciais na qualidade da água do reservatório e principais tributários

### 6.1.2.1 Análise descritiva do banco de dados

A partir do banco de dados consolidado, foi calculada a estatística descritiva de cada parâmetro para os dados de cada uma das 14 estações selecionadas na etapa anterior.

Com o método de amplitude interquartis, aproximadamente 9% do banco de dados selecionado foram apontados como *outliers*. No entanto, por se tratar de dados ambientais, variações são esperadas, em função do comportamento assimétrico à direita das observações. Assim, cada valor identificado foi analisado individualmente a fim de se determinar sua exclusão ou manutenção no banco de dados. Após análise, cinco observações foram desconsideradas do banco de dados por se apresentarem muito diferente das demais e ou possuir valores improváveis para o tipo de ambiente do estudo. Como exemplo, podem ser citados os coliformes termotolerantes, que apresentaram valores de 79000 NMP/100mL, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de 5,89 mg/L, P<sub>T</sub> de 6 mg/L e Fe<sub>d</sub> de 1208 e 1217 mg/L, resultados não compatíveis com o restante do banco de dados.

O resultado da estatística descritiva de cada parâmetro, para cada estação, recalculada após exclusão dos valores, é apresentado nas Tabelas AII.1 a AII.14 do Apêndice II. Numa análise preliminar conjunta dos ambientes lênticos e lóticos, foi possível observar, perceptivelmente, que as estações localizadas no reservatório (VIR20-LE, VIR30-LE, VIR40-LE, VIR50-LE e VIR60-LE) apresentam menores medianas para o parâmetro coliformes termotolerantes e os maiores valores para temperatura. Percebeu-se ainda que, quando comparadas entre si, as medianas dos parâmetros nessas estações mantiveram-se muito próximas, não havendo grandes variações, exceto pelo parâmetro temperatura, que na estação VIR60-LE apresentou-se inferior às demais. Nas estações localizadas em ambientes lóticos observou-se que a estação VIR09-LO, no rio Ventania, apresentou medianas acima das demais para os parâmetros alc<sub>T</sub>, CE e temperatura e a estação VIR03-LO mostrou medianas acima das demais para os parâmetros P<sub>T</sub>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e turbidez. Notou-se ainda que o parâmetro coliformes termotolerantes apresentou maior mediana na estação VIR11-LO e medianas abaixo das demais nas estações VIR09-LO e VIR70-LO, o que pode ser explicado devido a proximidade dessas duas estações com o reservatório, ao passo que essa última apresentou o menor valor de mediana para OD.

O teste de normalidade identificou que a maioria dos dados não seguem a distribuição normal para quase todos os parâmetros, justificando-se, então, o uso de testes não-paramétricos em algumas etapas do presente estudo. Como exceções têm-se o OD, pH e temperatura, onde aproximadamente 57%, 86% e 100% dos dados apresentam distribuição simétrica. No entanto, os resultados obtidos para esses dois últimos parâmetros são usuais, e no caso do pH, este possui escala logarítmica e a transformação logarítmica é um método comum de normalização dos dados (QUACKENBUSH, 2003). Os p-valores do teste de normalidade são apresentando na Tabela AII.1 do Apêndice III.

#### 6.1.2.2 Aplicação das análises estatísticas e testes de hipóteses

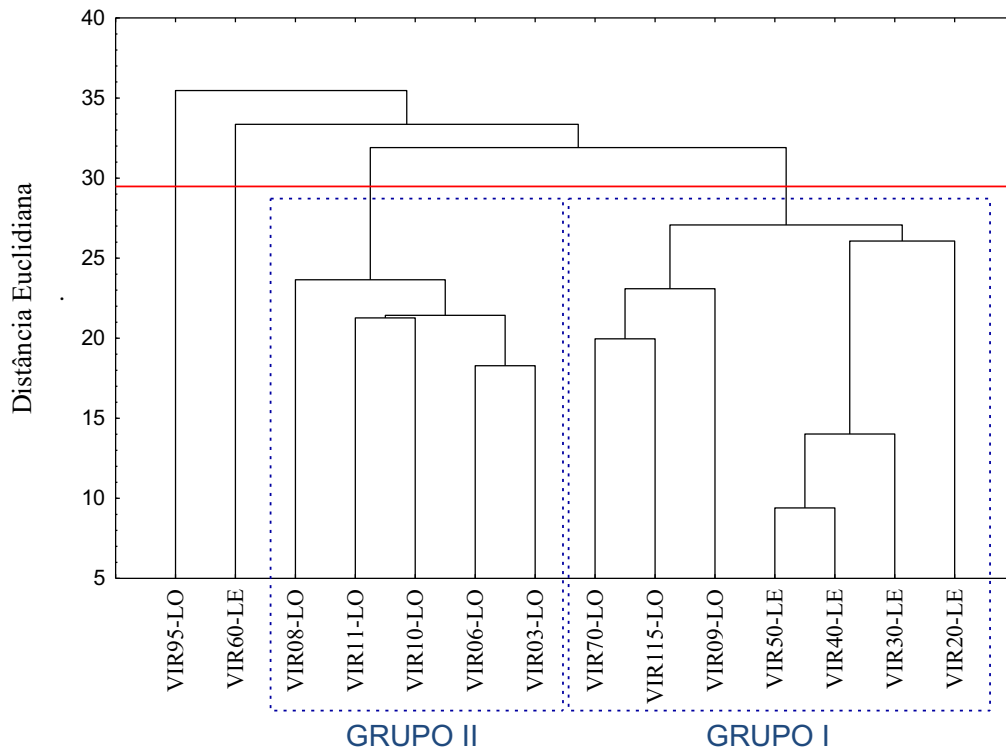
O dendrograma formado pela análise de agrupamento é apresentado na Figura 6.2. O cálculo do coeficiente de correlação cofenética resultou em um CCC = 0,75, o que significa que o método de agrupamento empregado (*ward*) foi adequado, uma vez que o valor indica que os agrupamentos foram formados com um bom grau de ajuste e baixas distorções nas medidas entre as matrizes original e gerada (ROHLF, 1970). Por meio dos valores de ligação entre os grupos (Tabela 6.5), foi possível observar que o maior salto (4,83) ocorreu entre os passos de agrupamento 10 e 11, que correspondem às distâncias de ligação 27,08 e 31,91. A linha Fenon (linha de corte) foi traçada, então, entre essas duas distâncias, no valor médio de 29,5 no dendrograma, conforme proposto por Vicini (2005). Observa-se também que só à partir do 10º passo do algoritmo as estações de ambiente lótico e lântico começaram a se agrupar.

Tabela 6.5 – Valores das distâncias de ligação (DL) nas quais os grupos foram formados ao longo dos passos da análise de agrupamento

Passo	(DL)	Agrupamentos	DDL* (salto)
1	9,40	VIR40-LE VIR50-LE	-
2	14,02	VIR30-LE VIR40-LE VIR50-LE	4,62
3	18,28	VIR03-LO VIR06-LO	4,26
4	19,96	VIR115-LO VIR70-LO	1,68
5	21,27	VIR10-LO VIR11-LO	1,31
6	21,43	VIR03-LO VIR06-LO VIR10-LO VIR11-LO	0,16
7	23,09	VIR09-LO VIR115-LO VIR70-LO	1,66
8	23,65	VIR03-LO VIR06-LO VIR10-LO VIR11-LO VIR08-LO	0,56
9	26,07	VIR20-LE VIR30-LE VIR40-LE VIR50-LE	2,42
10	27,08	VIR09-LO VIR115-LO VIR70-LO VIR20-LE VIR30-LE VIR40-LE VIR50-LE	1,01
11	31,91	VIR03-LO VIR06-LO VIR10-LO VIR11-LO VIR08-LO VIR09-LO VIR115-LO VIR70-LO VIR20-LE VIR30-LE VIR40-LE VIR50-LE	4,83
12	33,36	VIR03-LO VIR06-LO VIR10-LO VIR11-LO VIR08-LO VIR09-LO VIR115-LO VIR70-LO VIR20-LE VIR30-LE VIR40-LE VIR50-LE VIR60-LE	1,45
13	35,47	VIR03-LO VIR06-LO VIR10-LO VIR11-LO VIR08-LO VIR09-LO VIR115-LO VIR70-LO VIR20-LE VIR30-LE VIR40-LE VIR50-LE VIR60-LE VIR95-LO	2,11

\* DDL – Diferença entre distâncias de ligação

Figura 6.2 – Dendrograma da análise de agrupamento gerado pelo método *Ward* a partir dos dados de monitoramento da qualidade da água da UHE Irapé, referente ao período de 2008 a 2018 para 14 parâmetros e 14 estações de monitoramento



Nota-se a formação de quatro agrupamentos: dois grupos, aqui denominados Grupo I (G1) e Grupo II (G2), e as estações VIR95-LO e VIR60-LE. Para facilitar a visualização dos resultados, a Figura 6.3 apresenta as estações de monitoramento destacadas conforme os agrupamentos formados na AA.

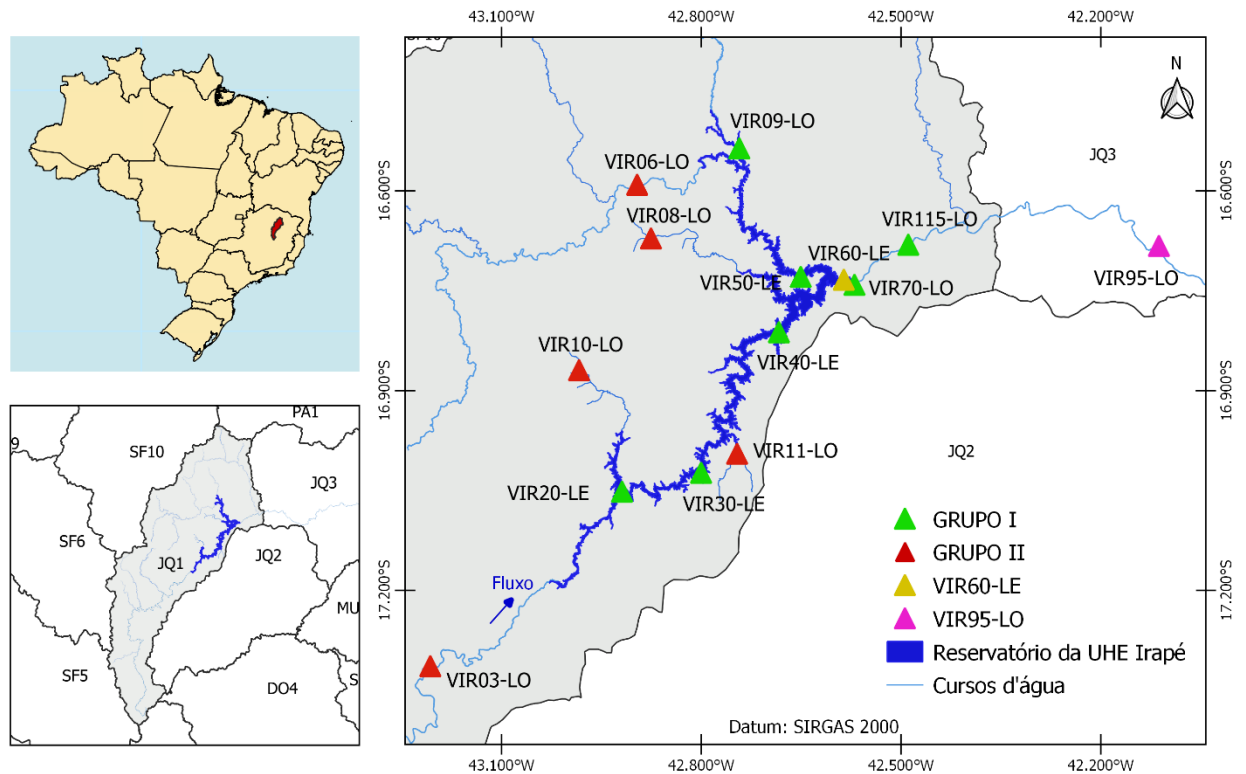
O G1 é formado por quatro estações localizadas no reservatório da UHE Irapé (VIR50-LE, VIR40-LE, VIR30-LE e VIR20-LE) e três nos ambientes lóticos (VIR70-LO, VIR115-LO e VIR09-LO). Ressalta-se, porém, que as estações VIR70-LO e VIR115-LO, ainda que localizadas nos rios, são as que estão logo a jusante do reservatório, e que a VIR09-LO, localizada em um dos braços afluentes (rio Ventania), é a que se encontra mais próxima ao lago, podendo apresentar, portanto, características mais próximas aos pontos lênticos. Resultado similar pode ser observado em estudo realizado por Christofaro *et al.* (2017). Dessa forma, esses resultados sugerem que, além do tipo de ambiente, a proximidade com o reservatório também foi responsável pela formação desse agrupamento.

Por sua vez, no G2, todas as estações agrupadas (VIR08-LO, VIR10-LO, VIR11-LO, VIR06-LO e VIR03-LO) são localizadas em ambientes lóticos, sendo essa última a única, situada no rio principal (Jequitinhonha), que está a montante do reservatório. As outras estações que



compõem o grupo estão localizadas nos corpos d'água afluentes do Jequitinhonha (rios Itacambiruçu e Soberbo e ribeirões Noruega e Corrente) que são braços do reservatório. Logo, todos esses pontos representam as condições naturais dos cursos d'água, sem os efeitos do barramento.

Figura 6.3 – Mapa de localização das estações de monitoramento destacadas por agrupamentos formados na AA



As demais estações analisadas no estudo permaneceram isoladas, sendo uma delas localizada em ambiente lótico (VIR95-LO) e outra no reservatório (VIR60-LE), indicando que nesses pontos a qualidade da água não é similar a das demais estações. A estação VIR95-LO, localizada na cidade de Coronel Murta, é a estação a jusante que se encontra mais afastada do reservatório, sendo a única que recebe água do rio Vacaria, um importante afluente do rio Jequitinhonha. Já a estação VIR60-LE é a estação em ambiente lêntico mais próxima ao barramento e pode estar sofrendo efeito da tomada d'água do reservatório. Esse fator pode ser o responsável pelo seu isolamento em relação as demais estações do reservatório.

Percebe-se, no geral, uma forte influência da localização espacial das estações, em relação a proximidade com o reservatório e se estão a montante ou a jusante do mesmo, sobre a formação dos agrupamentos obtidos, assim como verificado em outros trabalhos com objetivos similares ao do presente estudo (TOKLATI *et al.*, 2015; FREITAS, 2017; TRINDADE *et al.*, 2017).

O teste não paramétrico KW apontou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os grupos formados na análise de agrupamento, bem como nas estações isoladas. Essa diferença se deu em um ou mais grupos/estações, entre os valores de 7 dos 14 parâmetros analisados, sendo eles: coliformes termotolerantes ( $p=0,00$ ),  $Fe_d$  ( $p=0,00$ ),  $P_T$  ( $p=0,02$ ), OD ( $p=0,00$ ), SDT ( $p=0,02$ ), temperatura ( $p=0,00$ ) e turbidez ( $p=0,00$ ). Seguindo com o teste de comparações múltiplas para esses casos identificados, foi possível observar entre quais grupos/estações essas diferenças significativas ocorreram, como pode ser observado na Tabela 6.6.

Tabela 6.6 - Resultado do teste de comparações múltiplas por parâmetro, após diferença significativa indicada pelo teste de KW ( $p < 0,05$ ), considerando os agrupamentos formados pela AA (G1, G2, VIR95-LO e VIR60-LE)

Col. Term. (NMP/100mL)				
	G2	G1	VIR95-LO	VIR60-LE
G2		<b>0,000000</b>	0,750128	<b>0,000000</b>
G1	<b>0,000000</b>		<b>0,000000</b>	0,059668
VIR95-LO	0,750128	<b>0,000000</b>		<b>0,000000</b>
VIR60-LE	<b>0,000000</b>	0,059668	<b>0,000000</b>	

$Fe_d$ (mg Fe/L)				
	G2	G1	VIR95-LO	VIR60-LE
G2		<b>0,000000</b>	1,000000	<b>0,000001</b>
G1	<b>0,000000</b>		<b>0,008581</b>	0,241407
VIR95-LO	1,000000	<b>0,008581</b>		<b>0,000445</b>
VIR60-LE	<b>0,000001</b>	0,241407	<b>0,000445</b>	

$P_T$ (mg P/L)				
	G2	G1	VIR95-LO	VIR60-LE
G2		<b>0,041600</b>	1,000000	0,252834
G1	<b>0,041600</b>		0,400630	1,000000
VIR95-LO	1,000000	0,400630		0,400368
VIR60-LE	0,252834	1,000000	0,400368	

OD (mg O <sub>2</sub> /L)				
	G2	G1	VIR95-LO	VIR60-LE
G2		<b>0,000000</b>	1,000000	1,000000
G1	<b>0,000000</b>		<b>0,006116</b>	<b>0,040841</b>
VIR95-LO	1,000000	<b>0,006116</b>		1,000000
VIR60-LE	1,000000	<b>0,040841</b>	1,000000	

SDT (mg SDT/L)				
	G2	G1	VIR95-LO	VIR60-LE
G2		1,000000	0,256109	0,749748
G1	1,000000		<b>0,038723</b>	1,000000
VIR95-LO	0,256109	<b>0,038723</b>		<b>0,034852</b>
VIR60-LE	0,749748	1,000000	<b>0,034852</b>	

Temperatura (°C)				
	G2	G1	VIR95-LO	VIR60-LE
G2		<b>0,000000</b>	0,180113	<b>0,000017</b>
G1	<b>0,000000</b>		<b>0,021232</b>	1,000000
VIR95-LO	0,180113	<b>0,021232</b>		0,329942
VIR60-LE	<b>0,000017</b>	1,000000	0,329942	

Turb. (NTU)				
	G2	G1	VIR95-LO	VIR60-LE
G2		1,000000	<b>0,001963</b>	0,081218
G1	1,000000		<b>0,000369</b>	0,175527
VIR95-LO	<b>0,001963</b>	<b>0,000369</b>		<b>0,000022</b>
VIR60-LE	0,081218	0,175527	<b>0,000022</b>	

Nota: Valores em negrito e itálico indicam diferença significativa entre os agrupamentos ( $p < 0,05$ )

Apesar de fornecerem resultados de diferenças significativas entre os agrupamentos, as tabelas geradas nesse teste não informam quais grupos/estações apresentaram melhor ou pior qualidade da água em relação a cada parâmetro analisado. Dessa forma, a Figura 6.4 apresenta os *box-plots* de cada parâmetro, a fim de possibilitar a visualização do comportamento dos mesmos em cada grupo formado na AA e ajudar na interpretação dos resultados obtidos no teste de comparações múltiplas. A escala do eixo Y dos gráficos referentes aos parâmetros coliformes termotolerantes,  $Fe_d$ ,  $P_T$ , SDT e turbidez foram convertidas em logarítmicas para facilitar a visualização dos resultados. O resultado compilado dessas duas etapas pode ser visualizado na Tabela 6.7.

O Grupo I (G1) é composto pelas estações (VIR50-LE, VIR40-LE, VIR30-LE, VIR20-LE, VIR70-LO, VIR115-LO e VIR09-LO) e o Grupo II pelas estações (VIR08-LO, VIR10-LO, VIR11-LO, VIR06-LO e VIR03-LO). Para interpretação da simbologia adotada nas tabelas considera-se que:

- (=) Agrupamento em *itálico* (acima) não se difere significativamente do grupo em **negrito** (à esquerda);
- (↑) agrupamento em *itálico* (acima) significativamente maior que o grupo em **negrito** (à esquerda);
- (↓) agrupamento em *itálico* (acima) significativamente menor que o grupo em **negrito** (à esquerda).

Figura 6.4 – *Box-plot* do parâmetro Coli. Term. ( $p < 0,05$  no teste de KW), por agrupamento formado pela AA

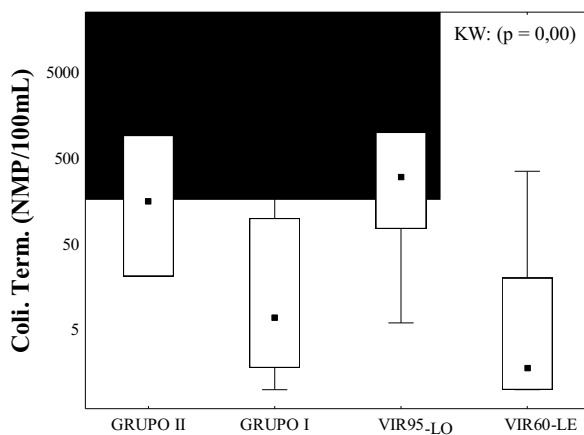


Tabela 6.7 – Resultados compilados do teste de comparações múltiplas e do *box-plot*, para o parâmetro Coli. Term.

Coli. Term. (NMP/100mL)				
	<i>G2</i>	<i>G1</i>	<i>VIR95-LO</i>	<i>VIR60-LE</i>
<b>G2</b>		↓	=	↓
<b>G1</b>			↑	=
<b>VIR95-LO</b>				↓
<b>VIR60-LE</b>				

Figura 6.4 – *Box-plots* dos parâmetros  $Fe_d$ ,  $P_T$  e OD ( $p < 0,05$  no teste de KW), por agrupamento formado pela AA

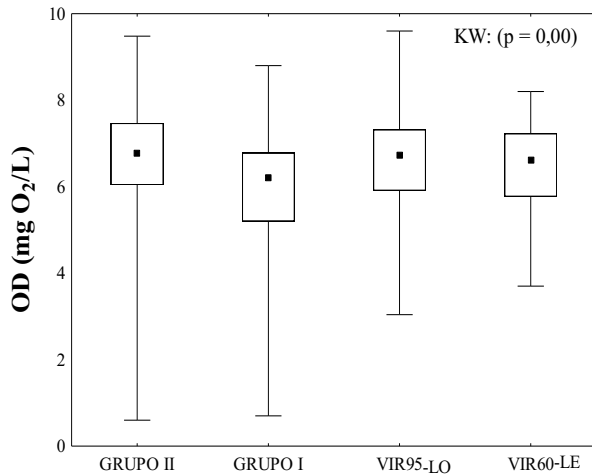
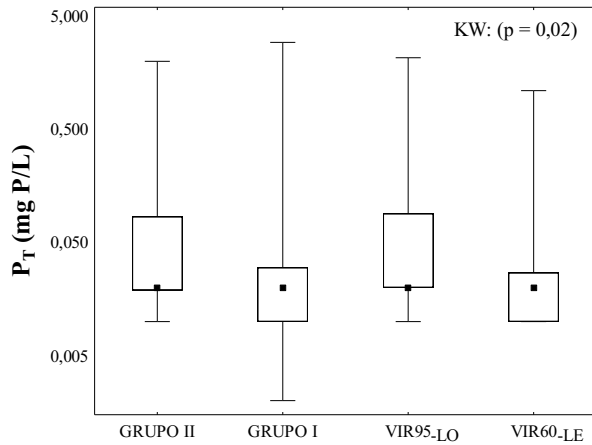
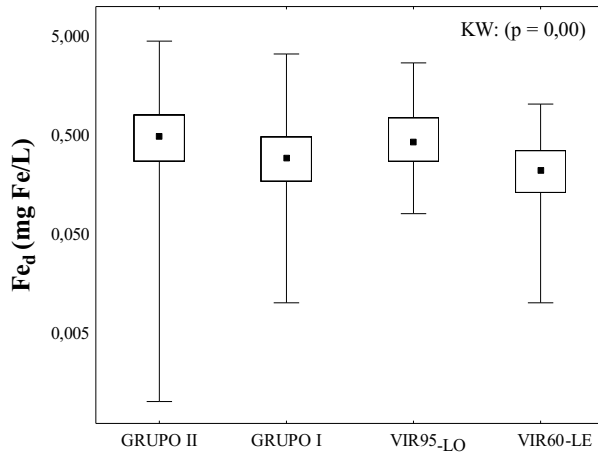


Tabela 6.7 – Resultados compilados do teste de comparações múltiplas e dos *box-plots*, para os parâmetros  $Fe_d$ ,  $P_T$  e OD

$Fe_d$ (mg Fe/L)				
	<i>G2</i>	<i>G1</i>	<i>VIR95-LO</i>	<i>VIR60-LE</i>
<b>G2</b>		↓	=	↓
<b>G1</b>			↑	=
<b>VIR95-LO</b>				↓
<b>VIR60-LE</b>				

$P_T$ (mg P/L)				
	<i>G2</i>	<i>G1</i>	<i>VIR95-LO</i>	<i>VIR60-LE</i>
<b>G2</b>		↓	=	=
<b>G1</b>			=	=
<b>VIR95-LO</b>				=
<b>VIR60-LE</b>				

OD (mg $O_2$ /L)				
	<i>G2</i>	<i>G1</i>	<i>VIR95-LO</i>	<i>VIR60-LE</i>
<b>G2</b>		↓	=	=
<b>G1</b>			↑	↑
<b>VIR95-LO</b>				=
<b>VIR60-LE</b>				

Figura 6.4 – *Box-plots* dos parâmetros SDT, Temperatura e Turb. ( $p < 0,05$  no teste de KW), por agrupamento formado na AA

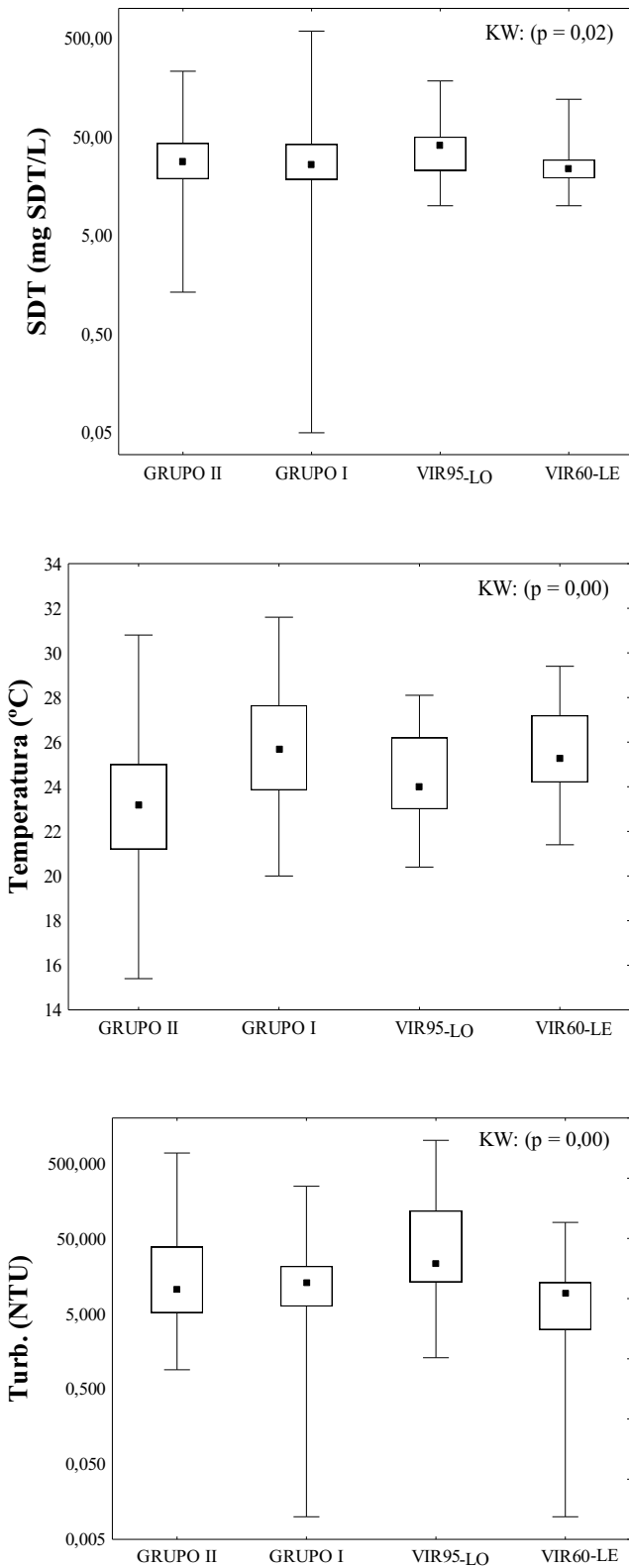


Tabela 6.7 – Resultados compilados do teste de comparações múltiplas e dos *box-plots*, para os parâmetros SDT, Temperatura e Turb.

SDT (mg SDT/L)				
	G2	G1	VIR95-LO	VIR60-LE
G2		=	=	=
G1			↑	=
VIR95-LO				↓
VIR60-LE				

Temperatura (°C)				
	G2	G1	VIR95-LO	VIR60-LE
G2		↑	=	↑
G1			↓	=
VIR95-LO				=
VIR60-LE				

Turb. (NTU)				
	G2	G1	VIR95-LO	VIR60-LE
G2		=	↑	=
G1			↑	=
VIR95-LO				↓
VIR60-LE				

Os resultados da Figura 6.4 e da Tabela 6.7 apontam que os parâmetros coliformes termotolerantes e  $Fe_d$  apresentam comportamento similar ao apresentarem valores, no geral, significativamente menores na estação VIR60-LE e no G1 quando comparados à estação VIR95-LO (localizada no rio Principal) e o G2. As concentrações de  $P_T$  se diferenciaram significativamente apenas entre os grupos (G1 e G2), sendo menores no primeiro. Para o OD os valores no G1 foram significativamente inferiores aos demais agrupamentos. Esse resultado pode ser associado aos obtidos para temperatura, que apresentou-se significativamente superior nesse grupo (G1) em relação ao G2 e a VIR95-LO. Isso porque com a elevação da temperatura, ocorrem redução e solubilidade do oxigênio na água (SERAFIM JÚNIOR, 2012). Além disso, a perda de OD pelo consumo e decomposição de matéria orgânica e respiração de organismos aquáticos também tende a justificar menores valores de OD em reservatórios, onde as atividades biológicas costumam acontecer com maior intensidade (ESTEVEVES, 2011). No entanto, esse resultado não pode ser confirmado no presente trabalho, devido à ausência de parâmetros biológicos a serem analisados.

A estação VIR95-LO apresentou concentrações de SDT significativamente superiores a G1 e VIR60-LE, apresentando ainda turbidez significativamente superior aos demais agrupamentos, o que pode explicar o seu isolamento em relação as outras estações localizadas em ambientes lóticos.

Por meio de um compilado desses resultados, nota-se que o G1, que é o grupo formado pelas estações do reservatório e próximas a ele, tem comportamento muito similar à estação VIR60-LE, também localizada no reservatório, não se diferenciando significativamente dela para a maioria dos casos, com exceção do OD (significativamente inferior no G1). Esse último resultado pode ser, portanto, o motivo que separou a VIR60-LE das demais estações localizadas no lago.

Os resultados apontam também que as estações localizadas no reservatório e próximas a ele apresentam, no geral, valores inferiores de coliformes termotolerantes,  $Fe_d$ ,  $P_T$ , SDT e turbidez, sugerindo uma melhor qualidade de água em relação aos seus tributários (G2), resultado que está de acordo com o obtido por Xing *et al.* (2015) ao compararem a qualidade da água do reservatório Danjiangkou, na China, com os rios que o abastecem. Vale ressaltar, no entanto, que o presente estudo analisou somente as águas superficiais do lago. Portanto, o resultado pode ter sido obtido em decorrência da diminuição na velocidade do fluxo de água e conseqüente deposição de metais, nutrientes e partículas por sedimentação, ou ainda pela circulação e

distribuição dos poluentes devido a estratificação vertical, fenômenos comuns em reservatórios, conforme sugerido em outros estudos (WANG *et al.*, 2009; WU *et al.*, 2016; CHRISTOFARO *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2019), . Além disso, a impossibilidade de se analisar outros parâmetros considerados importantes para análise da água em ambientes lânticos, como clorofila a e densidade de cianobactérias, devido a porcentagem de dados faltantes nos mesmos, pode ter afetado os resultados obtidos.

### 6.1.3 Violação dos parâmetros de qualidade de água aos limites preconizados pela legislação

O cálculo da porcentagem de violação dos parâmetros em relação à Deliberação Normativa (DN) COPAM/CERH 01/08 foi realizado para os parâmetros em cada estação, considerando que os corpos d'água em estudo são enquadrados como classe II. Foram verificados os percentuais de violação de 11 parâmetros, dos 14 selecionados no presente estudo, por apenas estes possuírem limites estabelecidos na legislação: coliformes termotolerantes, DBO, Fe<sub>d</sub>, P<sub>T</sub>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, OD, pH, SDT, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup><sub>T</sub> e turbidez. Gráficos *box-plots* com a ocorrência de violação de cada parâmetro, em todas as estações, podem ser visualizados na Figura 6.5, ao passo que a Tabela 6.8 apresenta o percentual de violação de cada parâmetro, em cada estação.

Tabela 6.8 – Percentual de violação dos parâmetros analisados, em cada estação de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e principais tributários, durante toda a série histórica analisada

Estações	Parâmetros										
	Coli. term.	DBO	Fe <sub>d</sub>	P <sub>T</sub>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	OD	pH	SDT	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> <sub>T</sub>	Turb.
VIR03-LO	17,1	4,9	63,4	22,0	0,0	0,0	2,4	11,9	0,0	0,0	17,5
VIR06-LO	22,5	2,4	68,3	20,0	0,0	0,0	2,5	9,8	0,0	0,0	18,0
VIR08-LO	12,5	9,8	80,5	15,4	0,0	0,0	22,5	31,7	0,0	0,0	7,9
VIR09-LO	24,3	9,8	43,9	15,8	0,0	0,0	22,5	12,2	0,0	0,0	5,4
VIR10-LO	17,5	9,8	68,3	22,5	0,0	0,0	0,0	19,5	0,0	0,0	5,6
VIR11-LO	30,0	9,5	72,5	20,0	0,0	0,0	7,3	16,7	0,0	0,0	5,3
VIR70-LO	13,2	10,0	58,1	14,3	0,0	0,0	66,7	34,9	0,0	0,0	2,6
VIR95-LO	24,4	12,2	63,4	24,4	0,0	0,0	5,0	12,2	0,0	0,0	26,3
VIR115-LO	15,8	8,6	60,5	13,2	0,0	0,0	27,0	18,4	0,0	0,0	5,9
VIR20-LE	2,8	12,5	56,4	26,8	0,0	0,0	5,0	14,6	2,4	0,0	0,0
VIR30-LE	2,7	10,0	46,3	17,1	0,0	0,0	12,5	10,0	0,0	0,0	0,0
VIR40-LE	2,9	7,1	39,0	12,2	0,0	0,0	4,9	7,1	0,0	0,0	0,0
VIR50-LE	5,7	14,3	38,1	23,1	0,0	0,0	4,9	14,3	0,0	0,0	0,0
VIR60-LE	0,0	7,1	31,7	17,1	0,0	0,0	2,4	4,8	0,0	0,0	0,0

Figura 6.5 – *Box-plots* para visualização da ocorrência de violação de cada parâmetro aos padrões expressos pela DN conjunta COPAM/CERH n 01/08, em cada estação de

monitoramento do reservatório da UHE Irapé e principais tributários. A linha de corte em vermelho representa o padrão (PD) para corpos d'água Classe II

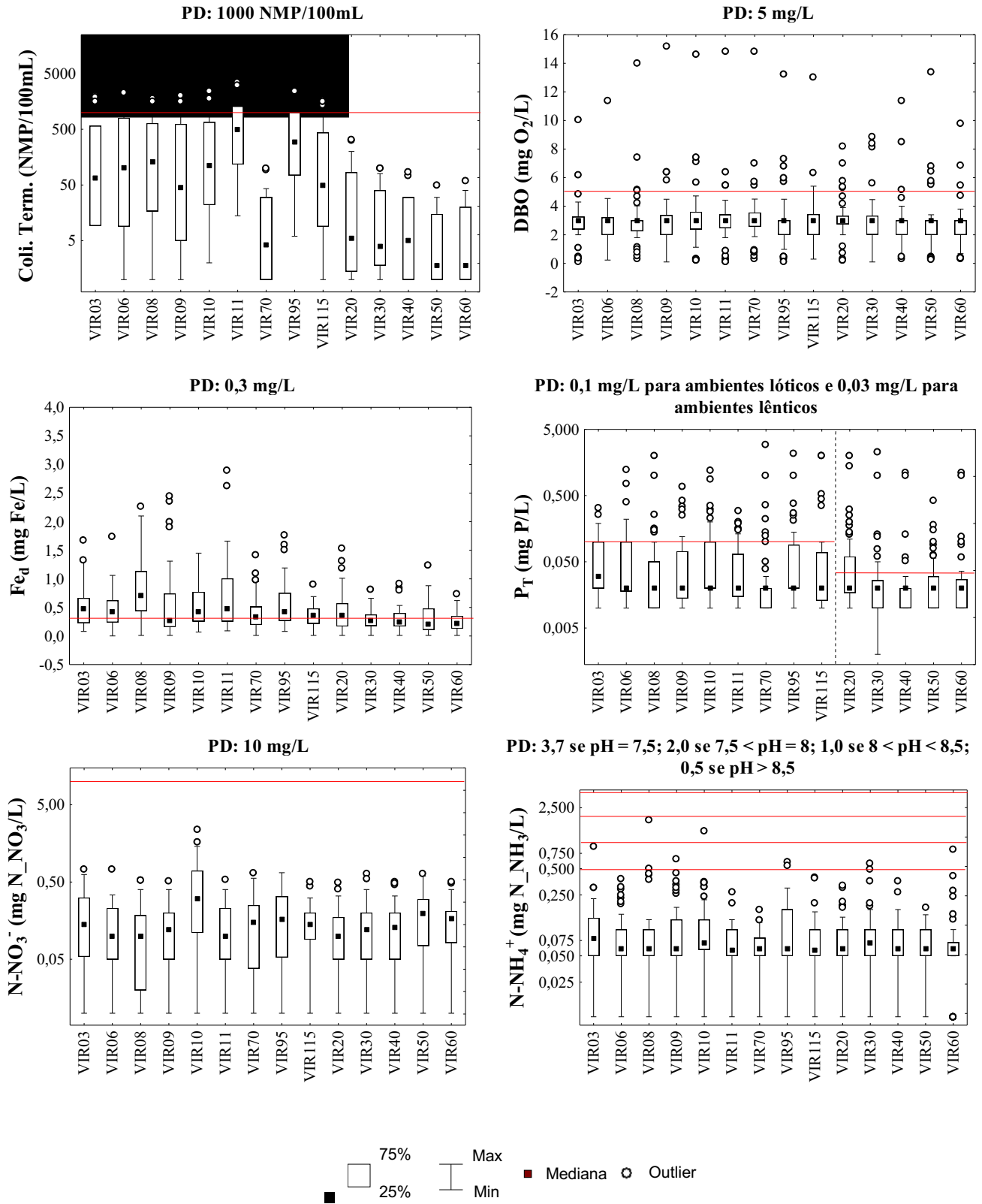
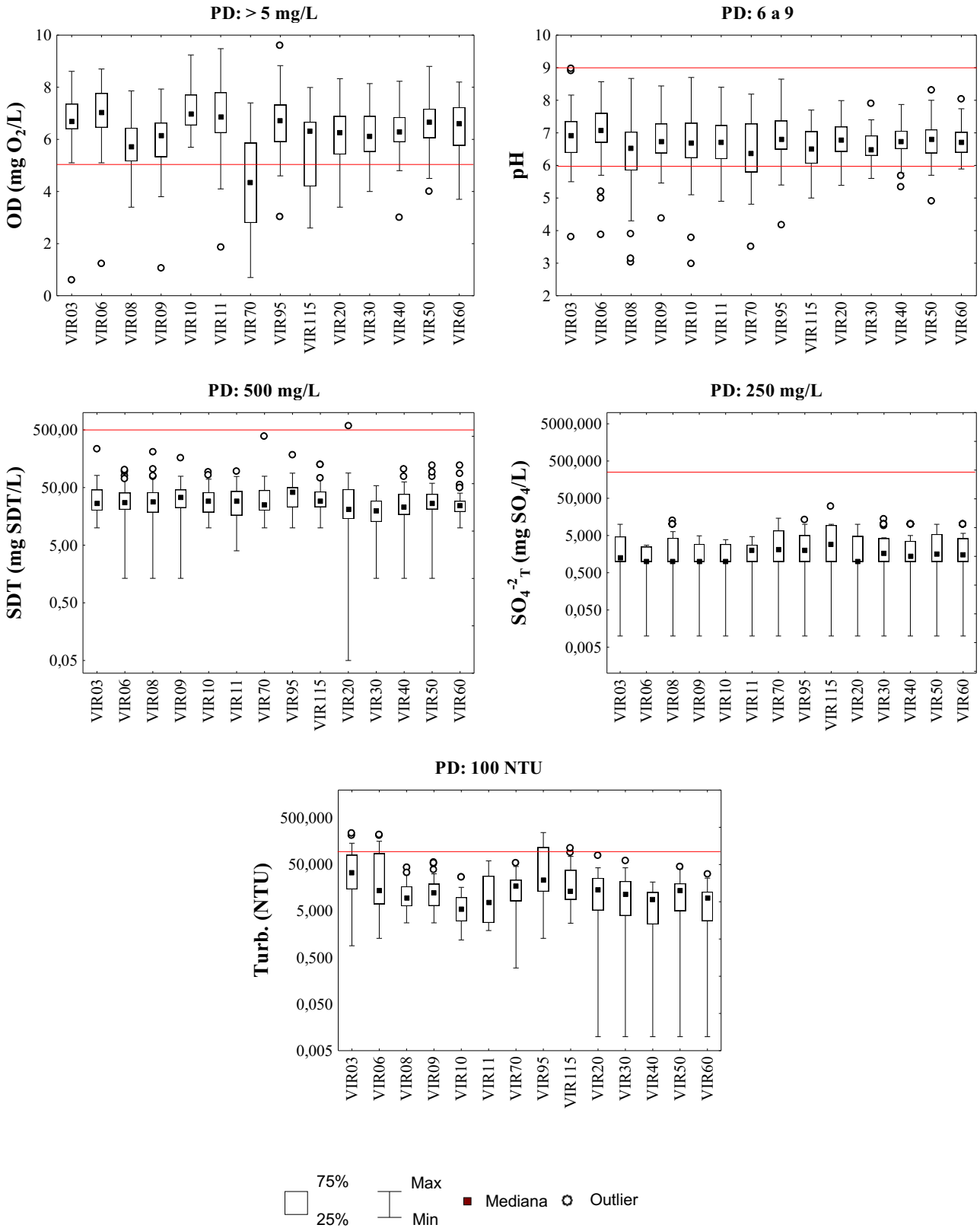


Figura 6.5 (cont.) – Box-plots para visualização da ocorrência de violação de cada parâmetro aos padrões expressos pela DN conjunta COPAM/CERH n 01/08, em cada estação de



monitoramento do reservatório da UHE Irapé e principais tributários. A linha de corte em vermelho representa o padrão (PD) para corpos d'água Classe II



No geral, as medianas dos parâmetros se mantiveram dentro do padrão legal, exceto para o parâmetro OD na estação VIR70-LO (percentual de violação de aproximadamente 67%) e para

o  $\text{Fe}_d$ , cujas medianas se mantiveram acima ou muito próximas do limite e os percentuais de violação foram maiores que 50% em quase todas as estações, chegando a aproximadamente 80% na estação VIR08-LO. Vale salientar que essas altas concentrações de ferro dissolvido podem estar diretamente ligadas à lixiviação do metal devido as características geoquímicas locais, já que foi verificada a presença de latossolos vermelhos (vide item 4) que contém alto teor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Justificativas similares para a alta concentração de ferro obtidas em seus estudos foram dadas por Kändler *et al.*, (2017), que analisou a qualidade de água no rio Nisa (República Tcheca e Alemanha) e por Marmontel *et al.* (2018), cujo objetos de estudo foram mananciais brasileiros. O resultado pode estar associado também aos baixos valores de pH verificado nas águas da área de estudo (como será discutido mais à frente), que pode levar à redução do  $\text{Fe}^{+3}$  (insolúvel) em  $\text{Fe}^{+2}$  (dissolvido) (ESTEVES, 2011).

Os parâmetros  $\text{N-NO}_3$ ,  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ T não ultrapassaram os limites legais em nenhuma das coletas e o SDT só apresentou violação em uma coleta na estação VIR20-LE (2,44%). Por outro lado, os parâmetros DBO,  $\text{P}_T$  e pH apresentaram o limite violado pelo menos uma vez em todas as estações e em todos os anos da série histórica, com o percentual variando entre 2,44% a 14,29%, 7,31% a 26,83% e 4,76% a 34,88%, respectivamente. No entanto, percebe-se que a DBO, ainda que tenha apresentado desconformidade em algum momento da série histórica em todas as estações, apresentou menor frequência de descumprimento dos padrões em relação aos outros dois parâmetros.

Ao analisar mais detalhadamente os valores de pH observa-se que todos os valores que estiveram em desacordo com a legislação se encontraram abaixo do valor mínimo permitido. A presença de latossolos vermelhos na região pode ser um dos fatores responsáveis pelos resultados obtidos, visto que esses solos são caracteristicamente ácidos. Os valores podem ser explicados, também, pelo contato da água aerada do reservatório com os blocos e materiais finos do enrocamento do maciço rochoso onde foi implantado o barramento, constituído predominantemente por um pacote de quartzo-mica-xisto grafitoso, homogêneo, e portador de sulfetos disseminados na matriz rochosa (LIMA, 2009). Esse processo leva à oxidação dos minerais sulfetados presentes no enrocamento, tendo como produto soluções de baixo pH, responsáveis pela acidificação da água da região (CEMIG, 2016; SUPRAM, 2010). Na estação VIR10-LO, por exemplo, o pH foi de 2,99 em 2017. Tem-se, então, um problema socioambiental gerado, uma vez que o crescimento da ictiofauna pode ser afetado em água com pH fora da faixa 6 – 9 e valores abaixo de 4,5 podem causar a sua mortandade (LEIRA *et al.*,

2017). Além disso, ainda que os valores baixos de pH não sejam constantes, amplas variações de seus valores podem afetar organismos mais sensíveis, mesmo sem ultrapassarem os limites legais estipulados para a classe II de enquadramento (GESTA,2011). Ainda segundo GESTA (2011), os valores baixos de pH também podem afetar a população causando irritações na pele e doenças intestinais.

Outro problema que vale ser citado é a influência que as condições do pH possui em relação a outros parâmetros. Valores de pH baixos podem solubilizar não somente Fe, como mencionado anteriormente, mas também outros metais tóxicos, aumentando a toxicidade do ambiente (RODRIGUES, 2002).

Em relação ao  $P_T$ , 78% dos valores acima do limite ocorreram em período considerado chuvoso na região (outubro a março), sendo propenso o maior aporte de nutrientes consequente do maior carreamento de material alóctone para os corpos d'água, conforme observado por Sabino, Lage e Noronha (2017) e Barbosa, Santos e Michelan (2019). Segundo Cemig (2012) a região do entorno da usina não apresenta aptidão agrícola devido seu relevo movimentado, suscetibilidade a erosão e a presença de afloramento rochoso. No entanto, a poluição antrópica advinda do uso de fertilizantes em práticas agrícolas ou silvicultura não deve ser descartada, uma vez que, ainda que o entorno do reservatório não seja favorável ao exercício de tais atividades, elas são as principais especialidades da bacia JQ1 como um todo (SILVA; MIRANDA, 2015). Todos esses resultados sugerem fontes de poluição difusa desse parâmetro, na qual o fósforo presente em áreas mais distantes ao reservatório é carregado pela água pluvial até chegar aos leitos dos corpos d'água em estudo.

Em relação aos coliformes termotolerantes observa-se que as estações localizadas nos reservatórios (VIR20-LE, VIR30-LE, VIR40-LE, VIR50-LE e VIR60-LE) possuem menor percentual quando comparadas às dos ambientes lóticos. Esse resultado foi observado também para o parâmetro turbidez, que não apresentou nenhum valor acima do limite de violação nessas estações. Menores violações de turbidez no reservatório eram esperadas, visto que a turbidez é uma característica das águas correntes, sendo, em geral, baixa nas dormentes (DERÍSIO, 2012). Esse resultado corrobora os obtidos no item 6.1.2.2, podendo ser explicado, da mesma forma, pelo fenômeno da sedimentação comum aos reservatórios (WANG *et al.*, 2009; WU *et al.*, 2016; CHRISTOFARO *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2019).

Analisando os demais resultados para coliformes termotolerantes (ambientes lóticos), tem-se que o maior percentual de violação se deu na estação VIR11-LO (30%), única estação localizada no Ribeirão Corrente e no braço direito do rio principal. Ainda assim, quando comparado com estudos em outras UPGRHs de Minas Gerais (COSTA *et al.*, 2017; MELO *et al.*, 2017; CALAZANS *et al.*, 2018; DANTAS *et al.*, 2018; FAIAD; SOARES; OLIVEIRA, 2018; SOUSA, 2018; OLIVEIRA *et al.*; 2018; SOARES *et al.*, 2018), percebe-se uma menor concentração de coliformes termotolerantes no presente estudo. Isso pode ser explicado devido às vazões e condições de reaeração propícias (promovidas pelas declividades dos leitos dos rios da bacia) permitirem a redução do impacto causado pelo lançamento dos esgotos domésticos (ainda que não tratados) provenientes de uma rede de aglomerações urbanas relativamente esparsa, com pequenas cidades com populações que não ultrapassam 50.000 habitantes. Dessa forma, constata-se que este tipo de poluição não se propaga por toda a bacia, de forma cumulativa, pois surgem nos corpos de água que passam por núcleos urbanos, mas são gradualmente depuradas, retornando as águas a condições de melhor qualidade, até que passem novamente por outro núcleo urbano (IGAM, 2014b).

#### **6.1.4 Análise de tendência aos parâmetros de qualidade da água do reservatório e principais tributários**

A inexistência de autocorrelação nos dados é um pré-requisito para a utilização de muitos testes de tendência para que obtenha resultados mais fidedignos na análise (Hipel e McLeod, 1994). De uma maneira geral, o coeficiente de autocorrelação não alcançou valores significativos para a maioria dos parâmetros, com exceção do  $\text{SO}_4^{2-}\text{T}$ , que apresentou autocorrelação em algumas estações. No entanto, percebe-se que essa autocorrelação não é expressiva, uma vez que, além de não ter sido identificada em todas as estações e nem em todos os instantes de tempo dentro de uma mesma observação, os testes de MK e SMK retornaram resultados iguais aos seus relativos testes modificados (MKm e SMKm). Os gráficos resultantes dessa etapa são representados nas Figuras AIV.1 a AIV.14, do Apêndice IV.

Em relação à sazonalidade, percebe-se que a temperatura foi o parâmetro que mais teve influência desse fator, com maiores valores no período chuvoso, obtendo resultados significativos em 11 estações que incluem todas as localizadas no reservatório. Para as demais diferenças significativas identificadas, os valores também foram maiores, no geral, para o período da chuva.

Os p-valores do teste de KW para a análise de sazonalidade, assim como os p-valores dos testes de tendência (MK e SMK) e o resultado final podem ser verificados nas Tabelas AV.1 a AV.14 do Apêndice V. A Tabela 6.9 abaixo apresenta um resumo dos resultados da influência da sazonalidade nos dados medidos em diferentes períodos do ano, e da análise de tendência, indicando se houve redução, elevação ou ausência de tendência para cada parâmetro em cada estação de monitoramento.

Tabela 6.9 – Resumo da influência da sazonalidade e das tendências temporais para os valores dos parâmetros analisados, em cada estação de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estações	Parâmetros													
	AlcT	Coli. term.	CE	DBO	Fe <sub>d</sub>	P <sub>T</sub>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	OD	pH	SDT	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> T	Tempe-ratura	Turb.
VIR03-LO	-	sc -	-	-	-	sc -	sc -	-	ss -	-	↓	-	sc -	↑
VIR06-LO	ss -	sc -	-	↑	sc -	sc -	sc -	↑	-	-	-	-	-	sc -
VIR08-LO	-	-	-	↑	↑	-	↓	-	-	-	↓	-	sc -	sc -
VIR09-LO	-	-	-	-	↑	-	↑	↑	-	-	-	-	sc -	↑
VIR10-LO	-	sc -	↑	-	↑	-	ss -	-	-	↓	-	-	↑	-
VIR11-LO	-	sc -	↑	-	↑	-	-	↑	-	-	-	-	-	sc -
VIR70-LO	-	sc ↓	-	-	↑	-	-	↑	↑	↑	-	-	ss -	↑
VIR95-LO	-	sc -	-	↑	↑	-	sc -	↑	-	-	-	-	sc -	sc -
VIR115-LO	-	↓	-	-	-	-	-	↑	↑	-	↓	-	sc -	-
VIR20-LE	-	↓	-	-	↑	-	-	↑	-	ss -	-	-	sc -	↑
VIR30-LE	sc -	↓	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↓	-	sc -	↑
VIR40-LE	sc -	↓	-	↑	-	↑	-	↑	-	-	↓	-	sc -	↑
VIR50-LE	-	↓	-	-	↑	-	-	↑	-	-	↓	-	sc -	↑
VIR60-LE	-	↓	-	-	-	-	-	↑	-	-	-	-	sc -	↑

Obs.: (↑) = tendência de elevação; (↓) = tendência de redução; (-) = sem tendência; (sc) = influência da sazonalidade com maiores valores observados em período chuvoso; (ss) = influência da sazonalidade com maiores valores observados em período seco

Em uma avaliação preliminar foi possível perceber que aproximadamente 70% dos resultados indicaram a não existência de tendência, 23% apresentaram tendência de elevação e 7% apresentaram tendência de redução.

Avaliando cada um dos resultados, levando em consideração os parâmetros testados, aqueles que se destacaram com maior incidência de tendências de elevação foram N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e Fe<sub>d</sub>, com 78,6% e 64,3% das estações, respectivamente. O N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, em altas concentrações, pode apresentar toxicidade a organismos aquáticos, além de diminuir a quantidade de OD na água ao consumi-lo durante o processo de nitrificação. Assim, é um importante parâmetro de classificação das águas naturais, sendo normalmente utilizada na constituição de índices de qualidade das águas (SANTOS, 2009; ANA, 2012). Vale ressaltar, porém, que, segundo

resultados obtidos no item anterior, a tendência de elevação desse parâmetro ainda não representa um problema ambiental nos corpos d'água em estudo, visto que em nenhuma das estações de monitoramento as concentrações ultrapassaram o limite legal estabelecido. Por outro lado, os mesmos estudos apontaram o  $Fe_d$  como o parâmetro que mais violou o seu limite, ressaltando o impacto desse parâmetro na degradação da água do reservatório e seus tributários.

Além desses parâmetros, a turbidez também apresentou tendência de elevação para a maioria das estações (57,1%). Segundo Derísio (2012) o aumento da turbidez em corpos d'água dificulta a penetração de luz nos mesmos, podendo afetar, assim, a fauna e a flora locais. Nota-se que, em relação a localização dessas estações, cinco são estações posicionadas no reservatório (VIR20-LE, VIR30-LE, VIR40-LE, VIR50-LE e VIR60-LE), duas muito próximas à ele (VIR09-LO e VIR70-LO) e uma é a única estação no Rio Jequitinhonha posicionada à montante do barramento (VIR03-LO).

Por outro lado, os únicos parâmetros que apresentaram tendência de redução foram SDT e coliformes termotolerantes. Em relação a esse último, todas as estações localizadas no reservatório apresentaram tendência temporal (VIR20-LE, VIR30-LE, VIR40-LE, VIR50-LE e VIR60-LE), e as demais são estações que se encontram no rio principal (Rio Jequitinhonha), logo a jusante do espelho d'água (VIR70-LO e VIR115-LO).

#### **6.1.5 Aplicação do índice de conformidade ao enquadramento (ICE)**

O ICE foi calculado à partir de todos os parâmetros selecionados no presente estudo que possuem limite preconizado pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01/08: coliformes termotolerantes, DBO,  $Fe_d$ , PT,  $N-NO_3^-$ ,  $N-NH_4^+$ , OD, pH, SDT,  $SO_4^{2-}T$  e turbidez.

A Tabela 6.10 contém a quantidade de testes (número de coletas x número de parâmetros) realizados em cada estação, por ano. Nota-se que em 2008 houve mais que uma coleta por trimestre nas estações VIR70-LO e VIR115-LO e em 2014 na estação VIR11-LO, fato que se repetiu em 2009, em todas as estações de monitoramento. Desse modo, os dados referentes às datas adicionais foram excluídos do cálculo do índice. Por outro lado, percebe-se que os anos de 2008, 2010, 2013 e 2017 não possuem coletas em todos os trimestres, o que acontece também em algumas estações de monitoramento em determinados anos, conforme destacado na tabela, impossibilitando o cálculo do ICE nesses casos. Todas essas adaptações se fizeram necessárias,

uma vez que a quantidade das amostras pode levar a alteração do valor do ICE (CCME, 2012). Dessa maneira, a Tabela 6.11 apresenta a quantidade de testes utilizada após adaptações, ou seja, os valores que de fato foram utilizados durante o processo do cálculo.

Tabela 6.10 – Número de testes (número de coletas x número de parâmetros) realizados em cada estação, por ano, no reservatório da UHE Irapé e tributários

Estações	Ano										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
VIR03-LO	30	65	33	43	44	33	43	42	43	33	44
VIR06-LO	32	64	32	43	44	33	44	33*	43	33	44
VIR08-LO	32	64	33	43	44	33	43	33*	43	33	43
VIR09-LO	32	61	31	43	42	33	44	33*	42	33	44
VIR10-LO	31	63	32	44	43	33	44	33*	43	33	44
VIR11-LO	32	63	33	44	44	33	46	32*	43	33	43
VIR70-LO	54	64	32	42	42	33	44	31*	43	33	33*
VIR95-LO	22*	63	33	44	44	33	44	42	42	33	44
VIR115-LO	46	63	33	44	44	33	33*	30*	43	0	33*
VIR20-LE	22*	66	32	37	40	31	44	43	43	33	42
VIR30-LE	22*	66	32	38	40	33	42	43	42	33	43
VIR40-LE	31	65	30	37	40	33	43	43	43	32	44
VIR50-LE	32	65	30	37	40	33	43	42	43	33	44
VIR60-LE	32	66	30	38	37	33	43	40	43	33	44

\* estações com um trimestre faltante em relação às demais, em um mesmo ano

Tabela 6.11 – Número de testes (número de coletas x número de parâmetros) utilizados no cálculo do índice após as exclusões dos anos e estações que não possuíram coletas trimestrais

Estações	Ano										
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
VIR03-LO	-	43	-	43	44	-	43	42	43	-	44
VIR06-LO	-	42	-	43	44	-	44	-	43	-	44
VIR08-LO	-	43	-	43	44	-	43	-	43	-	43
VIR09-LO	-	40	-	43	42	-	44	-	42	-	44
VIR10-LO	-	42	-	44	43	-	44	-	43	-	44
VIR11-LO	-	42	-	44	44	-	43	-	43	-	43
VIR70-LO	-	43	-	42	42	-	44	-	43	-	-
VIR95-LO	-	42	-	44	44	-	44	42	42	-	44
VIR115-LO	-	42	-	44	44	-	-	-	43	-	-
VIR20-LE	-	44	-	37	40	-	44	43	43	-	42
VIR30-LE	-	44	-	38	40	-	42	43	42	-	43
VIR40-LE	-	43	-	37	40	-	43	43	43	-	44
VIR50-LE	-	43	-	37	40	-	43	42	43	-	44
VIR60-LE	-	44	-	38	37	-	43	40	43	-	44




A Tabela 6.12 abaixo contém os valores de índice obtidos em cada estação e cada ano em que houve coletas trimestrais.

Tabela 6.12 – Índices de Conformidade ao Enquadramento, por estação e ano, aplicados ao banco de dados de monitoramento da UHE Irapé e principais tributários

Estações	Ano
Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos	

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
VIR03-LO	-	76,22	-	82,11	85,72	-	93,90	94,03	86,07	-	69,62
VIR06-LO	-	76,01	-	77,83	87,15	-	100,00	-	81,25	-	81,65
VIR08-LO	-	63,94	-	59,74	84,19	-	94,18	-	70,83	-	73,08
VIR09-LO	-	72,19	-	63,03	89,14	-	88,62	-	72,34	-	86,29
VIR10-LO	-	70,21	-	77,34	76,75	-	83,69	-	89,59	-	82,86
VIR11-LO	-	68,75	-	82,14	73,82	-	82,24	-	74,05	-	77,69
VIR70-LO	-	62,69	-	81,25	70,59	-	72,02	-	80,44	-	-
VIR95-LO	-	72,07	-	88,69	68,16	-	89,17	69,21	62,81	-	82,39
VIR115-LO	-	54,68	-	83,32	82,54	-	-	-	75,27	-	-
VIR20-LE	-	60,04	-	87,46	80,65	-	83,73	81,97	79,77	-	80,24
VIR30-LE	-	70,06	-	86,45	82,36	-	83,68	94,58	92,72	-	86,60
VIR40-LE	-	71,76	-	93,74	91,35	-	94,58	91,51	88,22	-	88,03
VIR50-LE	-	71,51	-	87,17	86,62	-	83,69	87,90	90,64	-	88,21
VIR60-LE	-	71,94	-	92,99	89,70	-	88,70	94,50	91,11	-	94,10

Legenda:

	Excelente		Bom		Aceitável		Ruim		Péssimo
---	-----------	---	-----	---	-----------	---	------	---	---------

Após aplicação do ICE, foram obtidos valores de índices que variaram entre 54,68 e 100,00, ou seja, entre as faixas de classificação “ruim” e “excelente” conforme a metodologia adotada, proposta pela CCME (2001), e considerando os parâmetros selecionados para o cálculo do indicador. As tabelas resumo AVI.1 a AVI.28 do Apêndice VI apresentam os valores de cada etapa que geraram os índices, por ano e por período.

Apesar da faixa de variação mencionada anteriormente, dos 88 índices calculados, 61,3% enquadra-se na classificação “bom”, indicando que as condições da qualidade da água nesses pontos raramente se distanciam do enquadramento e 29,5% na faixa do “aceitável”, a qual determina que a qualidade da água às vezes se distancia daquela imposta pela legislação. Por outro lado, apenas 8,0% se enquadra na faixa “ruim” (frequentemente violam os limites legais) e nenhum valor observado enquadra-se como “péssimo” (normalmente violam os limites legais). Assim, a qualidade da água no reservatório da UHE Irapé e no seu entorno apresenta-se, em geral, adequada aos usos propostos para classe II de enquadramento. Esse resultado vai ao encontro das faixas de IQA (Índice de Qualidade das Águas) obtidas pelo Igam (2017), na UPGRH JQ1, na qual o reservatório está inserido, que ainda destaca a sub-bacia como uma das que obtiveram melhores resultados no Estado, ao analisar os dados produzidos pelo Programa Águas de Minas, em 2016.

Vale ressaltar que o ano de 2009 se destacou negativamente em relação aos demais, sendo o único ano que não apresentou índices qualificados como “bom”. Nesse caso, a maioria dos



dados (71,5%) ficaram dentro da classe “aceitável” e 28,5% da “ruim”. Em relação ao tipo de ambiente em que os pontos estão localizados, percebe-se, com exceção do ano de 2009, destaque positivo daqueles localizados dentro do reservatório, nos quais apenas um ponto enquadrado como “aceitável” e os demais classificados como “bom” em todo o restante da série histórica selecionada, corroborando, mais uma vez, os resultados obtidos anteriormente.

Para a análise da influência sazonal, ou seja, o cálculo do índice por período (seco ou chuvoso), tem-se os resultados apresentados na Tabela 6.13.

Tabela 6.13 - Índices de Conformidade ao Enquadramento, por estação e período, aplicados ao banco de dados de monitoramento da UHE Irapé e principais tributários

Período	Estações de monitoramento						
	VIR03-LO	VIR06-LO	VIR08-LO	VIR09-LO	VIR10-LO	VIR11-LO	VIR70-LO
Chuvoso	66,11	67,66	64,27	58,38	63,19	65,27	58,99
Seco	93,75	94,05	70,83	76,96	78,13	78,08	71,43

Período	Estações de monitoramento						
	VIR95-LO	VIR115-LO	VIR20-LE	VIR30-LE	VIR40-LE	VIR50-LE	VIR60-LE
Chuvoso	59,52	66,11	72,3	73,03	89,25	77,17	83,95
Seco	66,83	69,98	76,06	73,96	81,67	88,69	81,51

Bom
  Aceitável
  Ruim

Observa-se que, com exceção das estações VIR40-LE e VIR60-LE, os índices calculados para o período chuvoso tiveram menores valores quando comparados aqueles obtidos em período seco, indicando uma piora na qualidade da água na estação chuvosa. Resultados semelhantes foram obtidos em estudos realizados por Barbosa, Santos e Michelan (2019) ao analisarem a qualidade da água de um açude em Sergipe e por Bazimenyera, Qiang e Niragire (2014), cujo objeto de estudo foi um lago localizado na Rwanda.

Em relação a faixa do índice, a tabela aponta que 43% se mantiveram dentro da mesma delimitação em ambos os períodos, ao passo que 57% apresentaram piora do índice no período chuvoso. Esses resultados sugerem, no geral, contribuições de fontes difusas de poluição, com os contaminantes sendo carreados para o leito dos rios e do reservatório pela água pluvial.

Pode-se notar também, por meio da Tabela 6.13, que as estações de monitoramento localizadas no reservatório não apresentaram índices na faixa “ruim” em nenhum dos períodos analisados. Além disso, foram as que menos sofreram influência da sazonalidade, com quatro, das cinco

estações, mantendo-se dentro do mesmo limite de faixa do ICE para ambos os períodos analisados.

## **6.2 Relação entre a qualidade de água e os usos do solo da bacia em estudo**

Como dito anteriormente, as áreas de influência de cada estação de monitoramento em estudo foram extraídas com auxílio de programa livre QGIS 3.14, totalizando 14 áreas no total. Essas áreas podem ser visualizadas na Figura AVII.1 do Apêndice VII.

O resultado da contabilização da área ocupada por classe, em hectare, para cada ano da série histórica e para cada área de influência das estações de monitoramento são apresentados nas Tabelas AVIII.1 a AVIII.X do Apêndice AVIII. Esses valores foram compilados em gráficos de colunas e a porcentagem dos usos mais frequentes foram acrescidas para melhor visualização e interpretação dos resultados (Figura 6.6).

Pode-se notar que, no geral, os resultados obtidos da extração dos mapas no MapBiomas seguem um padrão em todas as áreas de influência das estações de monitoramento, o que era de se esperar, já que essas áreas são representativas de toda a bacia do Alto Jequitinhonha.

Para explorar ainda mais os valores de áreas obtidos, foram plotados gráficos de linha para cada área de influência estudada. Devido ao comportamento padronizado observado, apenas um gráfico será apresentado a fim de exemplificar todos os resultados obtidos (Figura 6.7).

Figura 6.6 – Classes de uso do solo identificados em cada área de influência das estações de monitoramento da UHE Irapé e porcentagem dos três principais usos

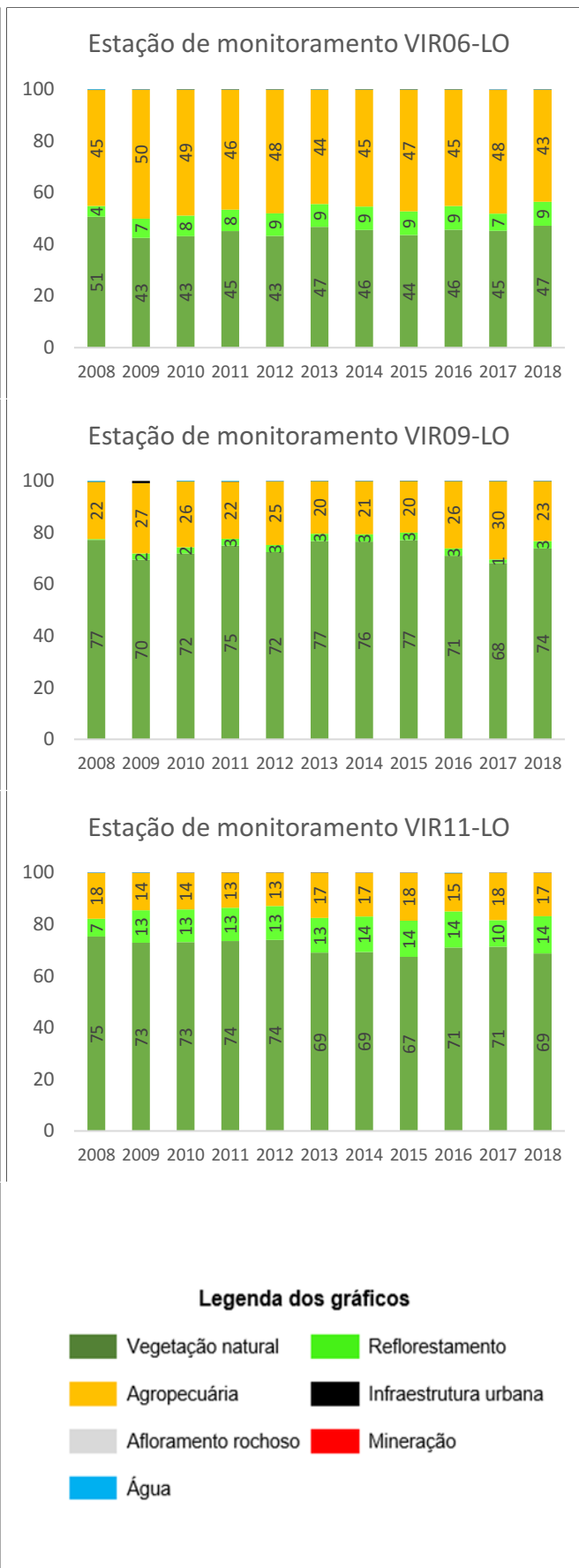
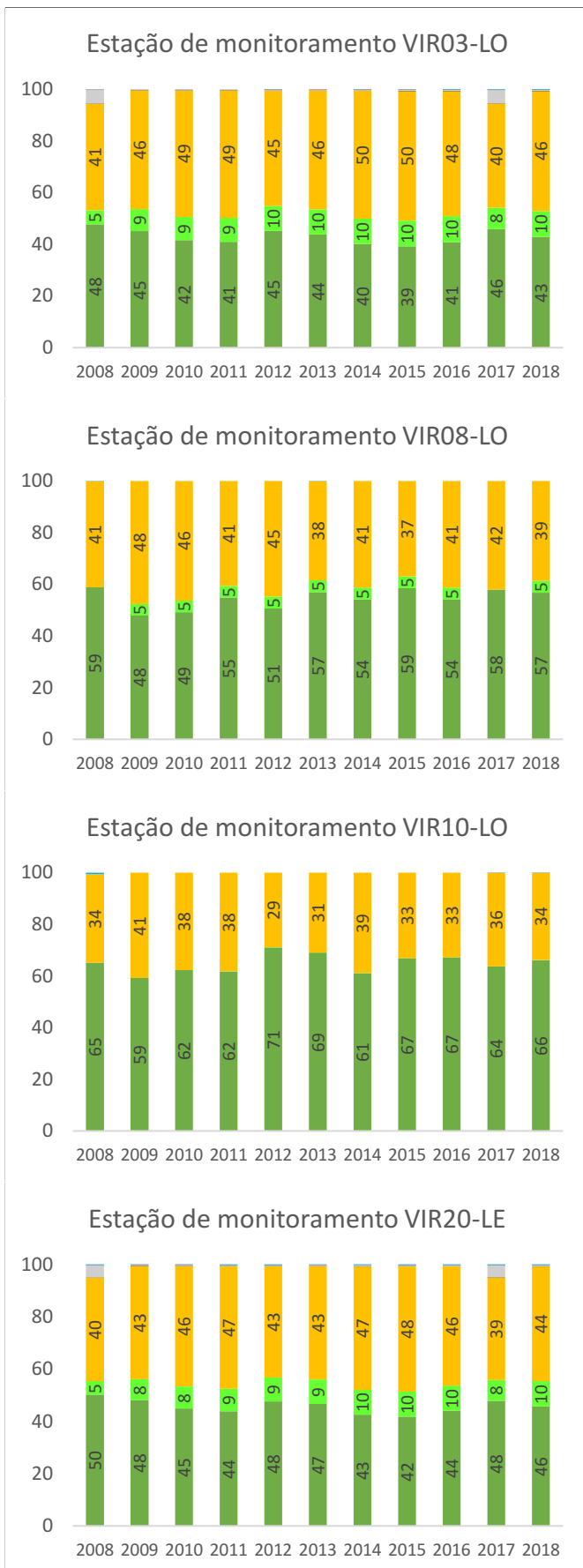
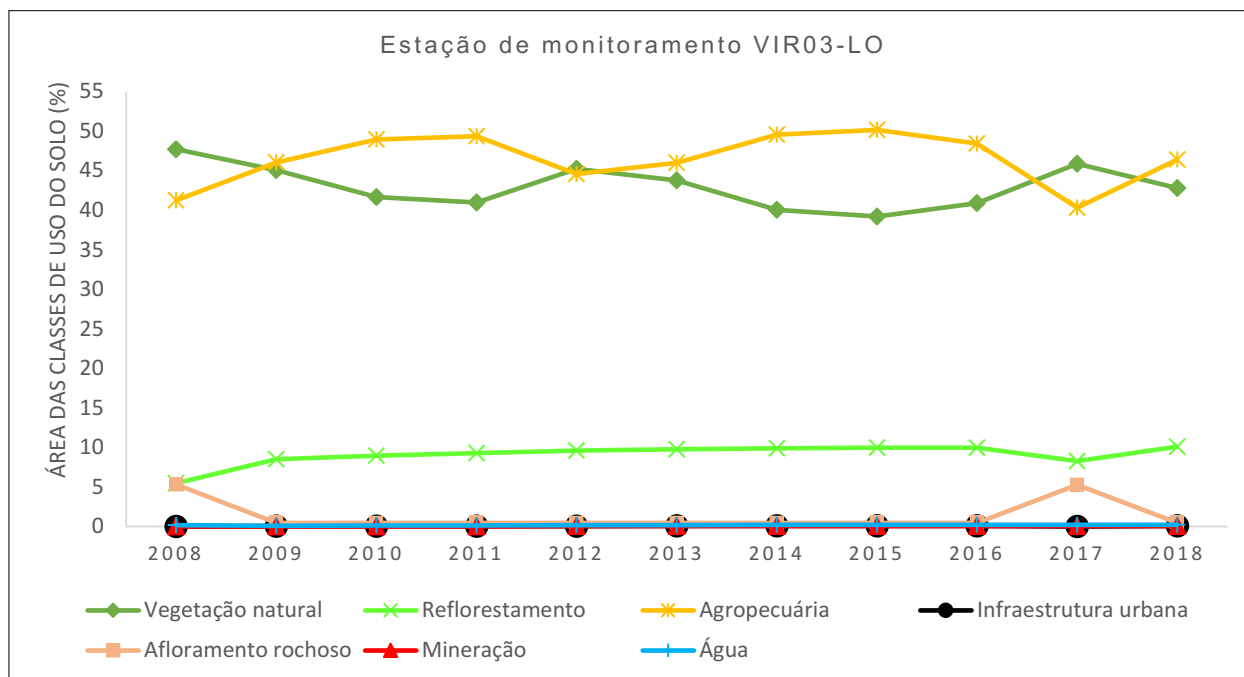


Figura 6.6 – Classes de uso do solo identificadas em cada área de influência das estações de monitoramento da UHE Irapé e porcentagem dos principais usos (cont.)



Figura 6.7 – Alterações nas áreas das classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR03, ao longo da série histórica analisada



Os três principais usos do solo da bacia são a vegetação natural, a agropecuária e o reflorestamento, que, no caso do Alto Jequitinhonha, é dado pela produção de *Eucalyptus sp.* Esses resultados corroboram as pesquisas realizadas no item 4 – “Área de estudo”, o que ajuda a validar o uso da plataforma MapBiomas e a metodologia adotada no presente estudo.

Desses três principais usos, dois foram identificadas em todas as áreas de influência estudadas: “vegetação natural” e “agropecuária”. O gráfico de linhas permite observar o comportamento inverso dessas classes, indicando a conversão da vegetação natural em agricultura e pecuária. Ainda assim, a manutenção de parte dessa vegetação na bacia pode ser um dos fatores responsáveis pelos resultados obtidos no item 6.1.5 “Aplicação do índice de conformidade ao enquadramento – ICE”, que apontaram que a água do reservatório e seus tributários é adequada aos usos propostos para classe II de enquadramento. Isso porque vegetações naturais tendem a apresentar efeito positivo sobre a qualidade das águas (DING *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2015; YU *et al.*, 2015; KÄNDLER *et al.*, 2017). Por outro lado, o uso agropecuário pode ser relacionado aos altos percentuais de violação referentes ao parâmetro  $P_T$ , conforme discutido no item 6.1.3 “Violação dos parâmetros de qualidade da água aos limites preconizados pela legislação”, devido ao uso de fertilizantes na agricultura.

A classe “reflorestamento”, ou seja, o plantio de *Eucalyptus sp.*, também se destaca, não tendo sido identificada apenas na estação de monitoramento VIR10. Segundo Gazola *et al.* (2013), o fósforo é um dos nutrientes com maior incidência de deficiência nesse tipo de plantio, o que torna a prática da adubação essencial para o suprimento das exigências do eucalipto, principalmente em solos de cerrado, que, no geral, são pobres desse nutriente. Desse modo, o reflorestamento com eucalipto, juntamente à prática da agricultura e os fatores naturais discutidos no item 6.1.3, pode ser um dos responsáveis pelas concentrações de  $P_T$  na água.

Outra classe identificada em todas as áreas de influência foi “água”, ainda que, em alguns casos, não possa ser visualizada em alguns gráficos devido a porcentagem ser muito baixa.

Já as classes “mineração”, “afloramento rochoso” e “infraestrutura urbana” foram menos frequentes. Esse último resultado corrobora a discussão realizada no item 6.1.3 “Violação dos parâmetros de qualidade da água aos limites preconizados pela legislação”, que relaciona os baixos percentuais de violação de coliformes termotolerantes às aglomerações relativamente esparsas e cidades com baixa população presentes na região.

Vale ressaltar que uma análise dos gráficos de colunas permite a percepção de algumas inconsistências nos resultados obtidos, como o acréscimo ou decréscimo de alguma classe que normalmente não sofreria alterações tão consideráveis de um ano para o outro, inclusive, voltando a normalizar no ano seguinte. Tem-se como exemplo a classe “infraestrutura urbana”, que, de 2008 para 2009, na estação de monitoramento VIR115, tem um acréscimo em seu valor, que volta a decrescer em 2010. Deve ser reforçado, portanto, que o uso dos mapas gerados na plataforma em estudos e pesquisas deve ser avaliado com cautela. No MapBiomias os conceitos utilizados para as classes dos solos podem ser mais inclusivos quando comparados a outras bases de dados, como observado por Rosa (2016). O autor obteve resultados diferentes para as classes de floresta ao comparar a metodologia do MapBiomias com o Atlas produzido pelo SOS Mata Atlântica/INPE. As diferenças encontradas nos produtos apontam para usos distintos e complementares, e a decisão do produto a ser utilizado varia com o objetivo do trabalho proposto, com a base do MapBiomias mais indicada para análises de fragmentação, restauração e proteção da água (ROSA, 2016).

## 7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos em cada um dos objetivos específicos levaram a resultados semelhantes e complementares entre si, indicando uma boa eficiência das diferentes técnicas utilizadas.

A AA separou as estações em quatro agrupamentos, dois formados por estações de monitoramento isoladas e dois consistindo em grupos maiores. O Grupo I (G1) foi representado por estações com maior influência dos ambientes lênticos e o Grupo II (G2) por estações com maior influência dos ambientes lóticos, comprovando um comportamento distinto na qualidade das águas desses tipos de ambientes. Além disso, todas as estações do G2 estão localizadas a montante do reservatório. Logo, todos esses pontos representam as condições naturais dos cursos d'água, sem os efeitos do barramento. O teste de Kruskal-Wallis e o teste de comparações múltiplas, juntamente com os gráficos *box-plots*, sugeriram uma melhor qualidade de água no grupo formado por estações localizadas no reservatório e seus tributários. O resultado pode ser associado ao processo de sedimentação desses poluentes devido a menor velocidade de fluxo da água nesse local, uma vez que o estudo analisou somente as águas superficiais do reservatório.

Em relação ao percentual de violação aos limites preconizados pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008, os parâmetros ferro dissolvido, DBO,  $P_T$  e pH apresentaram desconformidades pelo menos uma vez em todas as estações e todos os anos da série histórica. No caso do pH, o resultado é justificado por um problema comum ao sítio da UHE, que é a geração de acidez causada pelo contato de água e oxigênio com os minerais sulfetados presentes nas rochas da região.

O ferro dissolvido merece destaque também por apresentar tendência de elevação em 64% das estações de monitoramento, devido à presença marcante de sulfetos de ferro na região de implantação da UHE. O  $N-NH_4^+$  e a turbidez também se sobressaíram, com 79% e 57% das estações apresentando tendência de elevação, respectivamente. No entanto, vale ressaltar que em nenhuma das estações as concentrações de  $N-NH_4^+$  ultrapassaram o limite legal estabelecido. Os únicos parâmetros que apresentaram tendência de redução foram SDT e coliformes termotolerantes.

Cerca de 61% dos 88 índices de conformidade ao enquadramento (ICE) calculados foram qualificados como “bom” e 29,5% como “aceitável”, indicando que, no geral, a qualidade das

águas do reservatório e entorno é adequada aos usos propostos para a Classe II de enquadramento. Observa-se também um destaque positivo das estações instaladas dentro do reservatório. Para o ICE sazonal a maioria dos dados apresentaram menores índices para o período chuvoso, indicando uma piora da qualidade da água nesse período.

O uso do solo segue um padrão para as áreas de influência das estações de monitoramento estudadas, sobressaindo-se os usos “vegetação natural”, que pode ser associado aos bons resultados de índice obtidos, e “agropecuária” e “reflorestamento”, que podem estar relacionados aos altos valores de porcentagem de violação obtidos para o  $P_T$ .

Apesar de todos os resultados obtidos, a falta de regularidade do monitoramento efetuado, em função da frequência, número de parâmetros, localização dos pontos de amostragem e profundidades de coleta limitaram o alcance dos estudos e, em certos casos, até impediram a aplicação de outras análises.

Ressalta-se, ainda assim, a importância das medidas de ações promovidas pelas companhias responsáveis pela gestão da qualidade da água em reservatórios, além da realização desse tipo de estudo com ferramentas e recursos para avaliação da qualidade da água.



## RECOMENDAÇÕES

- Realizar e interpretar uma Análise Discriminante em cada grupo formado na AC, a fim de se obter informações sobre os mesmos, como quais variáveis são as mais importantes para a sua formação.
- Elaborar mapas temáticos de uso do solo com frequência superior a anual, com o intuito de realizar uma análise de tendência aos valores de contabilização obtidos, relacionando-a com os resultados da análise de tendência aos parâmetros de qualidade da água.
- Fazer o levantamento das atividades exercidas na bacia por meio de documentações, como outorga e licenciamento ambiental, para ajudar na discussão dos resultados.
- Utilizar outras metodologias para seleção dos parâmetros utilizados no cálculo do ICE, a fim de comparar e validar os resultados aqui obtidos.
- Buscar adaptar outros índices mais específicos para reservatórios, como o Índice de Estado Trófico (IET) e o IQAR (Índice de Qualidade da Água em Reservatórios), para que sejam passíveis de serem aplicados ao banco de dados de monitoramento atualmente disponibilizado pela Cemig.
- Estudar a possibilidade da utilização dos dados coletados nas demais profundidades do reservatório (metade da zona fótica e fundo), a fim de se obter alguma informação que possa validar, complementar ou refutar alguns resultados aqui obtidos, principalmente no que diz respeito à melhor qualidade da água em ambiente lântico.

## REFERÊNCIAS

ABDEL-SATAR, A. M.; ALI, M. H.; GOHER, M. E. Indices of water quality and metal pollution of Nile River, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, v. 43, p. 21-29, 2017.

ALAM, M. J. B.; AHMED, A. A. M; ALI, E.; AHMED, A. A. M. Evaluation of surface water quality of Surma River using factor analysis. In: Proc. of International Conference on Environmental Aspects of Bangladesh, 2010, Kitakyushu. Anais... Kitakyushu: University of Kitakyushu, 2010, p. 186-188.

ALEXAKIS, D.; TSIHRINTZIS, V. A.; TSAKIRIS, G.; GIKAS, G. D. Suitability of water quality indices for application in lakes in the Mediterranean. *Water Resources Management*, v. 30, p. 1621-1633, 2016.

ALMEIDA, A. A. *Estudo Comparativo entre os Métodos IQANSF e IQACCME na Análise da Qualidade da Água do Rio Cuiabá*. 2007. 94p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Mato Grosso, MT, 2007

ALMEIDA, D. N. O.; OLIVEIRA, L. M. M.; CANDEIAS, A. L. B.; BEZERRA, U. A.; LEITE, A. C. S. Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municípios do Agreste de Pernambuco. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 4, nº 1, p. 058-068, 2018.

ALVES, S. C. *Comparação de métodos para definição do número ótimo de grupos em análise de agrupamento*. 2012. 74p. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) – Universidade Federal de Viçosa.

AMARO, C. A. *Proposta de um índice para a avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento*. 2009. 224f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 2009.

ANA. Agência Nacional das Águas. *Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012*. Brasília: ANA, 2012. 264 p.

ANA. Agência Nacional das Águas. Resolução n. 903, de 22 de julho de 2013. *Cria a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais – RNQA e estabelece suas diretrizes*. Brasília, DF, 2013a. 10p.

ANA. Agência Nacional das Águas. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2013*. Brasília, DF, 2013b. 434p.

ANA. Agência Nacional das Águas. *Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas*. Brasília, DF, 2014. 8p.

ANEEL; ANA. Resolução Conjunta ANEEL/ANA n. 03, de 10 de agosto de 2010. *Estabelecer as condições e os procedimentos a serem observados pelos concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica para a instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas visando ao monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água associado a aproveitamentos hidrelétricos, e dar outras providências*. Brasil, 2010.

ATIQUÉ, U.; AN, K. G. Reservoir water quality assessment based on chemical parameters and the chlorophyll dynamics in relation to nutrient regime. *Polish Journal of Environmental Studies*, V. 28, nº 3, p. 1043-1061, 2019.

BARBOSA, A. G.; SANTOS, K. M. S.; MICHELAN, D. C. G. S. Avaliação da sazonalidade da qualidade da água do açude da Macela em Itabaiana/SE. *Scientia cum Industria*, v. 7, nº 3, p. 24-31, 2019.

BAZIMENYERA, J. D.; QIANG, F.; NIRAGIRE, T. Seasonal Variation of Major Elements in South Lake Cyohoha, Rwanda. *Journal of Northeast Agricultural University*, v. 21, nº 1, p. 56-63, 2014.

BONAMI, J.; TORTATO, F. R.; GOMES, R. S. R.; PENHA, J. M.; BUENO, A.S.; PERES, C. A. Protecting forests at the expense of native grasslands: Land-use policy encourages open-habitat loss in the Brazilian cerrado biome. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 17, ed. 1, p. 26-31, 2019.

BORTOLIN, T. A.; GUERRA, G. S.; PERESIN, D.; MENDES, L. A.; SCHNEIDER, V. E. Avaliação do índice de conformidade ao enquadramento em um trecho da bacia do rio São Marcos. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves.

BOYACIOGLU, H. Utilization of the water quality index method as a classification tool. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 167, p. 115–124, 2010.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. *Poluição, proteção e usos múltiplos de represas*. São Paulo: Edgar Blucher, CETESB, 1977. 185f.

BRASIL. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Resolução n. 357, Diário Oficial. 2005.

BU, H.; TAN, X.; LI, S.; ZHANG, Q. Temporal and spatial variations of water quality in the Jinshui River of the South Qinling Mts., China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.73, p. 907-913, 2010.

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

CABRAL, L. S. L.; MELLO, C. E. F. Avaliação do índice de conformidade ao enquadramento em um trecho do Rio das Velhas. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, 2015.

CALAZANS, G. M. *Avaliação e proposta de adequação da rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais das sub-bacias do Rio das Velhas e do Rio Paraopeba, utilizando técnicas estatísticas multivariadas*. 2015, 196 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

CALAZANS, G. M.; PINTO, C. C.; COSTA, E. P.; PERINI, A. F.; OLIVEIRA, S. C. The use of multivariate statistical methods for optimization of the surface water quality network monitoring in the Paraopeba river basin, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 190, 17 p., 2018.

CALAZANS, G. M.; PINTO, C. C.; COSTA, E. P.; PERINI, A. F.; OLIVEIRA, S. C. Using multivariate techniques as a strategy to guide optimization projects for the surface water quality network monitoring in the Velhas river basin, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 190, 15 p., 2018.

CAMPOS, S. R. M.; V. P. SILVA. A efetividade do estudo de impacto ambiental e do licenciamento em projetos de usinas hidrelétricas. *Caminhos de Geografia*, v. 13, nº 41, p. 1-14, 2012.

CARVALHO, N. O.; JÚNIOR FILIZOLA, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. *Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios*. Brasília, ANEEL, 2000. 140p.

CARVALHO, N. O. *Hidrossedimentologia prática*. 2. ed. rev., atual e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CARVALHO, A. P. *Utilização do índice de qualidade da água (IQA-CCME) para verificação de conformidade ao enquadramento no ribeirão São João em Porto Nacional - TO*. 2017. 88f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Palmas, 2017.

CARPENTER, S. R.; STANLEY, E. H.; ZANDEN, M. J. V. State of the world's freshwater ecosystems: physical, chemical, and biological changes. *Annual Review Environment Resources*, v. 36, p. 75-99, 2011.

CBH, Comitê de Bacias Hidrográficas do Rio das Velhas. *Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas/resumo executivo*. Belo Horizonte, 2015. 233 p.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. *Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life – Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans (PCDD/Fs)*. Ottawa: CCME, 2001.

CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. *Synthesis of research and application of the CCME Water Quality Index*. Winnipeg: CCME, 2012.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. *Usinas da Cemig: a história da eletricidade em Minas e no Brasil*. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 2006. 304p.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. *Manual de procedimentos de coleta e metodologia de análise de água*. Belo Horizonte: Cemig, 2009. 85p.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. *Síntese executiva dos relatórios parciais e consolidados - LO 067/2010 - 1ª renovação*. Belo Horizonte: Cemig, 2016. 416p.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB, 2018. 301 p.

CHRISTOFARO, C.; LEÃO, M. M. D.; OLIVEIRA, S. C.; VIANA, D. T.; AMORIM, C. C.; CARVALHO, M. D. Spatio-temporal variations of water quality in Nova Ponte Reservoir, Araguari River Basin, Brazil. *Water Science & Technology: Water Supply*, v. 17, n.º. 6, p. 1507-1514, 2017.

COPAM; CERH. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n. 01, de 05 de maio de 2008. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Brasil, 2008.

COSTA, E. P.; CALAZANS, G. M.; ALMEIDA, K. C. B.; OLIVEIRA, S. C. Avaliação do percentual de violação dos parâmetros de qualidade de água em 14 anos de monitoramento da porção mineira da bacia do rio São Francisco. In: XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 28 Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2015.

COSTA, E. P.; PINTO, C. C.; SOARES, A. L. C.; MELO, L. D. V.; OLIVEIRA, S. M. A. C. Evaluation of violations in water quality standards in the monitoring network of São Francisco River basin, the third largest in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, 16 p., 2017.

CRIPPA, M. M. *Monitoramento estatístico da qualidade da água de sistemas de distribuição*. 2006. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2006.

CRUZ, H. C.; FABRIZY, N. L. P. Impactos ambientais de reservatórios e perspectivas de uso múltiplo. *Revista Brasileira de Energia*, v. 4, n.º 1, 1995.

DANTAS, M. S.; OLIVEIRA, J. C.; PINTO, C. C.; SOARES, A. L. C.; OLIVEIRA, S. C. Avaliação da contaminação fecal na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pará – MG. In: II Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, Aracaju, 2018.

DEDE, O. T.; TELCI, I. T.; ARAL, M. M. The use of water quality index models for the evaluation of surface water quality: a case study for Kirmir Basin, Ankara, Turkey. *Water Quality, Exposure and Health*, v. 5, p. 41-56, 2013.

DERÍSIO, J. C. Introdução ao controle da poluição ambiental. 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 225 p.

DING, J.; JIANG, Y.; FU, L.; LIU, Q.; PENG, Q.; KANG, M. Impacts of land use on surface water quality in a subtropical river basin: a case study of the Dongjiang River Basin, Southeastern China. *Water*, v. 7, p. 4427-4445, 2015. <https://doi.org/10.3390/w7084427>.

DING, J.; JIANG, Y.; LIU, Q.; HOU, Z.; LIAO, J.; FU, L.; PENG, Q. Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: A multi-scale analysis. *Science of the Total Environment*, v. 551-552, p. 205-216, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.162>.

ESPEJO, L.; KRETSCHMER, N.; OYARZÚN, J.; MEZA, F.; NÚÑEZ, J.; MATURANA, H.; SOTO, G.; OYARZO, P.; GARRIDO, M.; SUCKEL, F.; AMEZAGA, J. Application of water

quality indices and analysis of the surface water quality monitoring network in semiarid North-Central Chile. *Environmental Monitoring And Assessment*, v. 184, n° 9, p. 5571-5588, 2012.

ESTEVEZ, F. A. *Fundamentos de limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FAIAD, F. M. G.; SOARES, A. L. C.; OLIVEIRA, S. C. Identificação dos parâmetros mais relevantes para a qualidade das águas da bacia do rio Paraíba do Sul. In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul, Juíz de Fora, 2018.

FERREIRA, N. C.; BONETTI, C.; SEIFFERT, W. Q. Hydrological and water quality indexes as management tools in marine shrimp culture. *Aquaculture*, v. 318, p. 425-433, 2011.

FERNANDES, M. M.; CEDDIA, M. B.; FERNANDES, M. R. de M.; GUIMARÃES, G. S. C. Influência do uso do solo na qualidade de água da microbacia Palmital, Macaé – RJ. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, n° 3, p. 137-142, 2012.

FILHO, W. P.; CORAZZA, R.; WACHHOLZ, F.; TRENTIN, A. B.; KRAMER, G.; BARBOSA, C. C. F. Influência de reservatórios em cascata nos dados de reflectância e de limnologia - Reservatórios de Passo Real e Dona Francisca, Rio Jacuí – RS. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, 2009.

FRANÇA, M. S. *Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da Bacia do Alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos*. 2009, 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

FREITAS, M. A. F. P. P. *Avaliação de variáveis físicas e de qualidade das águas em reservatórios de usinas hidrelétricas de Minas Gerais para gestão das águas no Estado*. 2017, 90 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

GARCIA, H. L.; GARCIA, C. A. B.; MELO, A. P. S.; SILVA, V. L. Índices de qualidade da água dos reservatórios de Sergipe. In: XIV Safety, Health and Environment World Congress, 2014, Cubatão.

GARRETT, R. D.; KOH, I.; LAMBIN, E. F.; WAROUX, Y.; KASTENS, J. H.; BROWN, J. C. Intensification in agriculture-forest frontiers: Land use responses to development and conservation policies in Brazil. *Global Environmental Change*, v. 53, p. 233-243, 2018.

GAZOLA, R. N.; BUZETTI, S.; MORAES, M. L. T.; DINALLI, R. P.; FILHO, M. C. M. T.; CELESTRINO, T. S. Crescimento inicial de eucalipto em função de doses de fósforo após segundo parcelamento de N e K. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2013, Florianópolis.

GESTA. Grupo de Estudos em Temáticas Ambientais. Relatório técnico/impactos da UHE Irapé para comunidades a jusante da barragem. Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

GUIMARÃES, P. R. B. *Métodos quantitativos estatísticos*. 1 ed. rev. Curitiba, PR: IESDE Brasil, 2012. 252 p.

HAIR, J. F. J.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. *Análise multivariada de dados [recurso eletrônico]*. 6 ed. – Dados eletrônicos – Porto Alegre: Bookman, 2009. 687 p.

HALL, S. The Canadian water quality index: a tool for water resources management

HAMED, K. H.; RAO, A. R. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hidrology*, v. 204, p. 182-196, 1997.

HANSDA, S. K.; SWAIN, K. K.; VAIDYA, S. P.; JAGTAP, R. S. Assessment of water quality trends of Khadakwasla Reservoir Using CCME-WQI. *Environmental Pollution*, v. 77, p. 381-401, 2017.

HASSAN, F. M.; AL-OBAIDY, A. H. M. J.; SHAAWIAT, A. O. Evaluation of Al-Shamiyah River water quality using the Canadian Council of Ministries of the Environment (CCME) water quality index and factor analysis. *Desalination and Water Treatment*, v. 116, p. 342-348, 2018.

HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. *Statistical methods in water resources*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 2002. 525p.

HIRSCH, R.M.; SLACK, J.R.; SMITH, R.A. Techniques for trend assessment for monthly water quality data. *Water Resources Research*, v. 18, n° 1, p. 107-121, 1982.

HURLEY, T.; SADIQ, R.; MAZUMDER, A. Adaptation and evaluation of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for use as an effective tool to characterize drinking source water quality. *Water Research*, v. 46, n° 11, p. 3544-3552, 2012.

HUSSAIN, M.; MAHMUD, I. pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. *Journal of Open Source Software*, v. 39, n° 4, 2019.

IAP. Instituto Ambiental do Paraná. Qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná. Paraná: IAP, 2017.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia do rio São Francisco e seus afluentes em 2009. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2010. 287p.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Relatório Diagnóstico dos Afluentes do Alto Jequitinhonha (JQ1) RT2. Maceió: Gama Engenharia e Recursos Hídricos, 2013. 866 p.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Qualidade das Águas Superficiais de Minas Gerais em 2013: resumo executivo/ Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte, Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2014a. 68 p.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Fase III- Enquadramento dos corpos de água em classes de acordo com os usos preponderantes: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Alto Rio Jequitinhonha- PDRH-JQ1. Maceió: Gama Engenharia e Recursos Hídricos, 2014b. 240 p.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Qualidade das Águas Superficiais de Minas Gerais em 2016: resumo executivo/ Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte, Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2017. 172 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo 2010. Disponível em: < <https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 28 de out. de 2018.

KÄNDLER, M.; BLECHINGER, K.; SEIDLER, C., PAVLŮ, V.; ŠANDA, M.; DOSTÁL, T.; KRÁSA, J.; VITVAR, T.; ŠTICH, M. Impact of land use on water quality in the upper Nisa catchment in the Czech Republic and in Germany. *Science of the Total Environment*, v. 586, p. 1316-1325, 2017.

KENGNAL, P.; MEGERI, M. N.; GIRIYAPPANAVAR, B. S.; PATIL, R. R. Multivariate analysis for the water quality assessment in rural and urban vicinity of Krishna River (India). *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, v. 12, nº 2, p. 73–80, 2015.

KHAN H. KHAN A. A., HALL S. The Canadian water quality index: a tool for water resources management. MTERM International Conference, 06-10 June, AIT, Thailand, 2005.

LEÃO, S. F. Relatório de avaliação das condições ambientais de geração de águas ácidas na área da UHE de Irapé. 2004.

LEIRA, M. H.; CUNHA, L. T.; BRAZ, M. S.; MELO, C. C. V.; BOTELHO, H. A.; REGHIM, L. S. Qualidade da água e seu uso em piscicultura. *Pulvet Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.11, nº1, p.11-17, 2017.

LEITÃO, V. S.; CUBA, R. M. F.; SANTOS, L. P. S.; NETO, A. S. S. Utilização do índice de qualidade de água (IQA) para monitoramento da qualidade de água em uma área de preservação ambiental. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, nº 3, p. 794-803, 2015.

LI, Z.; MA, J.; GUO, J.; PAERL, H. W.; BROOKES, J. D.; XIAO, Y.; FANG, F.; OUYANG, W.; LU, L. Water quality trends in the Three Gorges Reservoir region before and after impoundment (1992–2016). *Ecohydrology & Hydrobiology*, v. 19, nº 3, p. 317-327, 2019.

LIBOS, M. I. P. C. *Modelagem da poluição não pontual na bacia do rio Cuiabá baseada em geoprocessamento*. 2002. 269f. Tese (doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

LIMA, A. L. C. *Influência da presença de sulfetos na implantação da UHE Irapé - Vale do Jequitinhonha - Minas Gerais*. 2009. 206 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

LIMA, H. S. *Qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do Rio Doce e sua relação com aspectos socioambientais*. 2016. 170f. Dissertação (mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

LIMA, R. N. S.; RIBEIRO, C. B. M.; BARBOSA, C. C. F.; FILHO, O. C. R. Estudo da poluição pontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da usina hidrelétrica de Funil



utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n° 1, p. 139-150, 2016.

LIU, Y.; LONG, H.; LI, T.; TU, S. Land use transitions and their effects on water environment in Huang-Huai-Hai Plain, China. *Land Use Policy*, v. 47, p. 293-301, 2015.

LUMB, A.; HALLIWELL, D.; SHARMA, T. Application of CCME water quality index to monitor water quality: a case of the Mackenzie River Basin, Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 113, p. 411-429, 2006.

MACHADO, E. S.; KNAPIK, H. G.; BITENCOURT, C. C. A. Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, n° 02, p. 261-269, 2019.

MAPBIOMAS. O que é o MapBiomas. 2019. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/pages/about/about>> acesso em: 23 de abr. de 2019.

MARIANO, D. A.; SANTOS, C. A. A.; WARDLOW, B. D.; ANDERSON, M. C.; SCHILTMAYER, A. V.; TADESSE, T.; SVODOBA, M. D. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. *Remote Sensing of Environment*, v. 213, p. 129-143, 2018.

MARMONTEL, C. V. F.; BORJA-LUCAS, M. E.; RODRIGUES, V. A.; ZEMA, D. A. Effects of land use and sampling distance on water quality in tropical headwater springs (Pimenta creek, São Paulo State, Brazil). *Science of The Total Environment*, v. 622–623, p. 690-701, 2018.

MARQUES, M. N. DAUDE, L. F.; SOUZA, R. M. G. L., COTRIM, M. E. B. & PIRES, M. A. Avaliação de um índice dinâmico de qualidade de água para abastecimento: um estudo de caso. *Exacta*, São Paulo, v. 5, n. 1, p.47-55, 2007.

MATTHIENSEN, A.; KLOCK, A. L. S.; BEDENDO, G. C.; MARTINI, R. Monitoramento e diagnóstico de qualidade de água superficial. Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014. 127 p.

MELO, A. P. S.; GARCIA, H. L.; MENDONÇA, M. C. S.; BARRETO, V. L.; GARCIA, C. A. B. Qualidade da água dos reservatórios Algodoeiro e Glória através do índice de qualidade de água de reservatório. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília, 2015.

MELO, M. C.; MENDES, R. S.; FONSECA, M.; AQUINO, F. A.; RODRIGUES, A. F. Environmental monitoring planning in river basins: the case of pig farming in river Piranga basin. *Caminhos de Geografia*, v. 18, n° 64, p. 454-471, 2017.

MENEZES, J. M.; SILVA JR, G. C.; PRADO, R. B. Índice de qualidade de água (IQA-CCME) aplicado à avaliação de aquíferos do estado do Rio de Janeiro. *Águas Subterrâneas*, v. 27, p. 79-92, 2013.

MENEZES, J. P. C.; BITENCOURT, R. P.; FARIAS, M. de S.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n° 3, p. 519-534, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016145405>.

MOURA, A. Estatística: concursos públicos. 2013. 185p. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/49800458/livro-de-estatistica>> acesso em: 07 de dez. de 2019.

NAVARROL, B.; JIMENEZ, J. C. A.; PAJARO, M. C. E.; APONTE, S. J.; ANGULO, C. I.; SIERRA, S. C. A. Multivariate analysis of surface water quality of the Bay of Cartagena (Colombia) period 2001-2017. *International Journal of ChemTech Research*, v. 10, nº 15, p. 421–432, 2017.

OGBOZIGE, F. J.; ADIE, D. B.; IGBORO, S. B.; GIWA, A. Evaluation of the water quality of River Kaduna, Nigeria using water quality index. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, v. 21, nº 6, p. 1119-1126, 2017.

OLIVEIRA, S. C.; AMARAL, R. S.; ALMEIDA, K. C. de B.; PINTO, C.C. Qualidade das águas superficiais do Médio São Francisco após a implantação dos perímetros irrigados de Gorutuba/Lagoa Grande e Jaíba. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, nº 4, p. 711-721, 2017.

OLIVEIRA, L. F.; OLIVEIRA, B. O. S.; LIMA, L. B. Avaliação da qualidade da água de três córregos na área urbana de Humaitá-AM. *Revista de Ciências Ambientais*, v. 12, nº 3, 2018.

OLIVEIRA, M.; ROCHA, C. H. B.; VELEZ, J. G. A.; SOUZA, L.V. Qualidade da água e índice de conformidade ao enquadramento da represa dr. João Penido, Juiz de Fora (MG), Brasil. In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul, 2018, Juiz de Fora.

OLIVEIRA, S. M. A. C. Tratamento estatístico de dados ambientais. Belo Horizonte, 2018. Apostila do curso de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais.

OLIVEIRA, J. C.; MAIA, K. P.; CASTRO, N. L. B.; OLIVEIRA, S. M. A. C. Spatial-temporal analysis of the surface water quality of the Pará River Basin through statistical techniques. *Revista Ambiente e Água*, v. 04, nº 1, p. 2-12, 2018.

PENEV, S.; LEONTE, D.; LAZAROV, Z.; MANN, R. A. Applications of MIDAS regression in analysing trends in water quality. *Journal of Hydrology*, v. 511, p. 151-159, 2014.

PESSOA, G. M.; AZEVEDO, T. S.; RIBEIRO, C. B. M. Estudo de conformidade ao enquadramento dos corpos hídricos da bacia hidrográfica dos rios Preto e Paraibuna. In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul, 2018, Juiz de Fora.

PINTO, C. C.; CALAZANS, J. M.; OLIVEIRA, S. C. Assessment of spatial variations in the surface water quality of the Velhas River Basin, Brazil, using multivariate statistical analysis and nonparametric statistics. *Environmental Monitoring and Assessment*, v., 191, 13 p., 2019.

POHLMANN, M. C. Análise de Conglomerados. In: CORRAR, L. J.; EDÍLSON, P.; DIAS FILHO, J. M. (Orgs.). Análise Multivariada. São Paulo: Atlas, 2007.

PONTES, P. P.; MARQUES, A. R.; MARQUES. Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na microbacia do Córrego Banguelo – Contagem. *Revista Ambiente & Água - An*

*Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 7, n. 3, p. 183-194, 2012.  
<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.962>.

PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M.; LUCA, S. J. Caracterização da Qualidade da Água. In: PORTO, R. L. L.; BRANCO, S. M.; CLEARY, R. W. *et al. Hidrologia ambiental*. v.3, p.165-208. São Paulo: Edusp: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1991.

PORTO, R. L. L. *Fundamentos para gestão da água*. São Paulo: s.n., 2012. p. 232.

QUACKENBUSH, J. Microarray Data Normalization and Transformation. *Nature Genetics*, v.32, p.496-501, 2002.

QUEIROZ JÚNIOR, V. S. *Compartimentação aquática em reservatório a partir de variáveis limnológicas e dados radiométricos*. 2016. 115f. Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

RADEMANN, L. K.; MARCZEWSKI, R. K. TRENTIN, R. Análise do uso e ocupação do solo no município de Garruchos – RS através de sensoriamento remoto. In: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2017, Campinas.  
<https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2294>.

REIS, E. *Estatística multivariada aplicada*. 2 ed. Lisboa: Edições Sílabo LTDA, 2001. 343p.

RODRIGUES, L. M. *Alterações espaciais e temporais de características limnológicas resultantes da transformação rio-reservatório na área do reservatório da Usina Hidrelétrica Dona Francisca, RS, Brasil*. 2002. 100f. Dissertação (mestrado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

ROHLF, F. J. Adaptive hierarchical clustering schemes. *Systematic Zoology*, v. 19, nº 1, p. 58-82, 1970.

RUAS, A. L. *Avaliação das alterações da qualidade de águas tropicais decorrentes da instalação de barramentos para fins de geração de energia elétrica – estudo de caso do rio Pomba*. 2006. 280p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SABINO, C. V. S.; LAGE, L. V.; NORONHA, C. V. Variação sazonal e temporal da qualidade das águas em um ponto do Córrego Gameleiras usando técnicas quimiométricas robustas. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, nº5, p. 969-983, 2017.

SANTOS, V. R. *Avaliação da qualidade da água do rio Andrada através do modelo qual2k*. 2009. 142 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental), Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2009.

SANTOS, J. P.; MARTINS, I.; CALLISTO, M.; MACEDO, M. R. Relações entre qualidade da água e uso e cobertura do solo em múltiplas escalas espaciais na bacia do Rio Pandeiros, Minas Gerais. *Revista Espinhaço*, v. 6, p. 36-46, 2017.

SANTOS, R. C. L.; LIMA, A. S.; CAVALCANTI, E. B.; MELO, C. M.; MARQUES, M. N. Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, nº 1, p. 33-46, 2018.

SERAFIM JÚNIOR, M. Qualidade de água em reservatórios. Apostila do curso capacitação e ensino a distância realizado pela Agência Nacional das Águas – ANA. 2012. 138f.

SHI, P.; ZHANG, Y.; LI, Z.; LI, P.; XU, G. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. *Catena*, v. 151, p. 182-190, 2016.

SHOWKAT, S.; DAR, A. Q.; HAQ, M. F. U. Temporal assessment of water quality of river Jhelum using parametric and non-parametric methods. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, v. 2014, p. 6–12, 2014.

SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river, Japan. *Environmental Modeling & software*, n. 22, p. 464-475, 2007.

SILVA, T. V.; MIRANDA, G. H. R. Análise das variáveis da geografia física e humana sob a mesorregião do Vale do Jequitinhonha. Uberlândia, 2015.

SILVA, A. F.; GARCIA, C. A. B.; COSTA, S. S. L.; SANTOS, N. C. M.; SILVA, J. M.; GARCIA, H. L. Qualidade da água do reservatório de Nossa Senhora das Dores através do índice de qualidade da água de reservatório. *Scientia Plena*, v. 13, nº 10, 7 p., 2017.

SILVA, M. T. L. *Aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) de cursos d'água*. Dissertação (mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, 88p. 2017.

SILVA, R. A. S.; MAYNARD, I. N. F.; BARBOSA, A. Q.; TOLLE, E. C.; CAVALCANTE, E. B.; MARQUES, M. N. Aplicação de um Índice de Qualidade de Água para o sistema de abastecimento público. *Scientia Plena*, v.13, nº 10, 7 p., 2017.

SIMEONOV, V.; EINAX, J. W.; STANIMIROVA, I.; KRAFT, J. Environmetric modeling and interpretation of river water monitoring data. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, v. 374, n. 5, p. 898-905, 2002.

SINGH, K. P.; MALIK A.; SINGH, V. K.; BASANT, N.; SINHA S. Multi-way modeling of hydro-chemical data of an aluvial river system – A case study. *Analytica Chimica Acta*, nº 571, p. 248–259, 2006.

SOARES, A. L. C.; PINTO, C. C.; COSTA, E. P.; MELO, L. D. V.; OLIVEIRA, J. C.; GUIMARÃES, J. I.; ALKIMIM, A. R.; CARVALHO, D. M.; SOUZA, G. A.; DANTAS, M. S.; BARROSO, G. R.; OLIVEIRA, S. M. A. C. Identificação dos corpos d'água mais e menos impactados da sub-bacia do rio Piracicaba, inserida na bacia hidrográfica do Rio Doce. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017, Florianópolis.

SOARES, A. L. C.; PINTO, C. C.; BARBOSA, T. B. C.; OLIVEIRA, S. C. Analysis of the temporary trends of the parameters of water quality of the Paracatu river basin in the function

of the use and occupation of the soil. In: II Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2018.

SODRÉ, F. F. Fontes difusas de poluição da água: características e métodos de controle. *Grupo de Automação, Quimiometria e Química Ambiental (AQQUA)*, v. 1, p. 9-16, 2012.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon*, v.11, p.33-40, 1962.

SOUSA, Isabela Cristina de. *Diagnóstico ambiental da bacia do rio Caratinga utilizando índice de qualidade de água e protocolo de avaliação rápida*. 2018. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Núcleo de Pesquisas e Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

SOUZA, S. N. *Aplicação de técnica de análise multivariada para avaliação de redes de monitoramento de qualidade da água*. 2009. 140 f. Tese (doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

SOUZA, M. C. F. B. *Aspectos hidrodinâmicos e qualidade das águas subterrâneas nas sub-bacias do rio Verde Grande, Jequitai e Pacuí – MG*. 2013. 145 f. Dissertação (mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SOUZA, A. V. V.; OLIVEIRA, S. M. L. Análise da qualidade da água do Rio Vermelho em Mat Grosso: no período de cheia no ano de 2014. *Biodiversidade*, v. 13, nº 2, p. 115-126, 2014.

SOUZA, J. R.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, C. R. G. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso rio Almada, sul da Bahia, Brasil. *Revista Eletrônica do Prodepa*, v.8, nº1, p. 26-45, 2014.

SOUZA, G. C. T. Criação de Índice Plâncton-Bentônico para avaliação da qualidade de água no reservatório de Volta Grande, MG/SP. 2017. 80 f. Dissertação (mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

SOUZA JUNIOR, C. MapBiomass General "Handbook". 1. ed. [S.l.]: [s.n.], 2017.

SOUZA, A. V.; LOVERDE-OLIVEIRA, S.; ALVES, G. B. M. Mapeamento dos usos do solo na Área de Proteção Permanente do Rio Vermelho (MT) e seus reflexos sobre a qualidade da água. *Revista Geografia*, v. 27, nº 1, p. 67 – 82, 2018.

SUPRAM. Superintendência Regional de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Parecer único, SUPRAM, Jequitinhonha. 2010. Disponível em: <<http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/ORhVMaCJ5vxWounNBW8Cysn2IaNakopJ.pdf>>. Acesso em 05 de out. de 2019.

SUTADIAN, A. D.; MUTTIL, N.; YILMAZ, A. G.; PERERA, B. J. C. Development of river water quality indices—a review. *Environmental monitoring and assessment*, v. 188, nº 1, p. 58, 2015.

TOKLATI, C.; KOSE, E.; CICEK, A.; EMIROGLU, O.; BASTATLI, Y. Use of cluster analysis to evaluate surface water quality: an application from downstream of meric river basin (Edirne, Turkey). *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, v. 3, n° 3, p. 33-35, 2015.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agricola*, v. 9, n° 1, p. 181-186, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000100026>.

TRINDADE, A. L. C.; ALMEIDA, K. C. de B.; BARBOSA, P. E.; OLIVEIRA, S. M. A. C. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 22, n° 1, p. 13-24, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016131457>.

TRINDADE, A. L. C. *Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do rio São Francisco*. 2013. 165 f. Dissertação (mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p.

VEGA, Marisol; PARDO, Rafael; BARRADO, Enrique; DEBAË, Luis. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research*, v.32, p.3581–3592, 1998.

VIALLE, C.; SABLAYROLLES, C.; LOVERA, M.; JACOB, S.; HUAU, M.-C.; MONTREJAUD-VIGNOLES, M. Monitoring of water quality from roof runoff: interpretation using multivariate analysis. *Water Research*, n° 45, p. 3765-3775, 2011.

VIANA, D. T. *Análise do banco de dados de qualidade da água da UHE Nova Ponte/MG através da aplicação de ferramentas estatísticas*. 2014. 151 f. Dissertação (mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

VICINI, Lorena. *Análise multivariada da teoria à prática*. 2005. 215 f. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

VIEIRA, J. G. C.; LOBÃO, J. S. B. Indicadores do processo de desertificação: análise da correlação espacial do uso e ocupação das terras com a temperatura da superfície no Polo Jeremoabo entre 2000 a 2016. In: Seminário de Iniciação Científica, 2016.

WANG, Y.; SHEN, Z.; NIU, J.; LIU, R. Adsorption of phosphorus on sediments from the Three-Gorges Reservoir (China) and the relation with sediment compositions. *Journal of Hazardous Materials*, v. 162, n° 1, p. 92-98, 2009.

XIA, J.; XU, G.; GUO, P.; PENG, H.; ZHANG, X.; WANG, Y.; ZHANG, W. Tempo-Spatial Analysis of Water Quality in the Three Gorges Reservoir, China, after its 175-m Experimental Impoundment. *Water Resources Management*, v. 32, p. 2937-2954, 2018.



XIN, X. K.; LI, K. F.; FINLAYSON, B.; YIN, W. Evaluation, prediction, and protection of water quality in Danjiangkou Reservoir, China. *Water Science and Engineering*, v. 8, n° 1, p. 30-39, 2015.

XU, H. S.; XU, Z. X.; WU, W. TANG, F. F. Assessment and spatiotemporal variation analysis of water quality in the Zhangweinan River Basin, China. *Procedia Environmental Sciences*, v. 13, p. 1641-1652, 2012.

YENILMEZ, F.; KESKIN, F.; AKSOY, A. Water quality trend analysis in Eymir Lake, Ankara. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 36, p. 135-140, 2011.

YU, S.; XU, Z.; WU, W.; ZUO, D. Effect of land use on the seasonal variation of streamwater quality in the Wei River basin, China. *Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources*, v. 368, p. 454-459, 2015. <https://doi.org/10.5194/piahs-368-454-2015>.

ZEINALZADEH, K.; REZAEI, E. Determining spatial and temporal changes of surface water quality using principal component analysis. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 13, p. 1-10, 2017.

ZHANG, Xuan; WANG, Qishan; LIU, Yanfang; WU, Jing; YU, Miao. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the Southwest New Territories and Kowloon, Hong Kong. *Environ Monit Assess*, n° 173, p. 17-27, 2011.

ZHAO, Y.; QIN, Y.; ZHANG, L.; ZHENG, B.; MA, Y. Water quality analysis for the Three Gorges Reservoir, China, from 2010 to 2013. *Environmental Earth Sciences*, v. 75, p. 1225-1236, 2016.

ZHOU, Feng; LIU, Yong; GUO, Huaicheng. Application of Multivariate Statistical Methods to Water Quality Assessment of the Watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong. *Environ Monit Assess*, n° 132, p. 1-13, 2007. ZIV, G; BARAN, E; NAM, S; RODRÍGUEZ-ITURBE, I; LEVIN, S. A. Trading-off fish biodiversity, food security, and hydropower in the Mekong River Basin. *PNAS*, v. 109, n° 15, p. 5609-5614, 2012.

# APÊNDICE I

Percentual de dados faltantes de cada parâmetro analisado no monitoramento da Cemig durante a série histórica em estudo



Tabela A1.1 – Percentual de dados faltantes de cada parâmetro analisado no monitoramento da Cemig entre 2008 e 2018

Parâmetros	Unidade de medida	Dados faltantes (%)	Parâmetros	Unidade de medida	Dados faltantes (%)
Acidez Total	mg/L	100,00	<i>Fósforo Total</i>	<i>mg/L</i>	<i>2,97</i>
Alcalinidade de Bicarbonato	mg/L	99,70	Lítio Total	mg/L	100,00
<i>Alcalinidade Total</i>	<i>mg/L</i>	<i>1,78</i>	<i>Manganês Dissolvido</i>	<i>mg/L</i>	<i>29,08</i>
<i>Alumínio Dissolvido</i>	<i>mg/L</i>	<i>49,55</i>	Manganês Total	mg/L	72,40
Arsênio Total	mg/L	98,22	Mercúrio Total	mg/L	97,33
Bário Total	mg/L	100,00	Níquel Total	mg/L	100,00
Cádmio Total	mg/L	100,00	<i>Nitrato</i>	<i>mg/L</i>	<i>2,37</i>
Cálcio Total	mg/L	100,00	<i>Nitrito</i>	<i>mg/L</i>	<i>4,15</i>
Carbonatos Totais		98,22	<i>Nitrogênio Amoniacal Total</i>	<i>mg/L</i>	<i>4,45</i>
Chumbo Total	mg/L	100,00	Nitrogênio Total	mg/L	74,18
<i>Cloreto Total</i>	<i>mg/L</i>	<i>25,22</i>	<i>Óleos e Graxas</i>	<i>mg/L</i>	<i>2,97</i>
Clorofila a	µg/L	73,59	Organoclorado	mg/L	98,22
<i>Cobre Dissolvido</i>	<i>mg/L</i>	<i>30,27</i>	Organofosforado	mg/L	99,11
Cobre Total	mg/L	73,29	Ortofosfato	mg/L	97,03
<i>Coliformes Termotolerantes</i>	<i>NMP/100</i>	<i>16,72</i>	<i>Oxigênio dissolvido</i>	<i>mg/L</i>	<i>2,67</i>
<i>Condutividade elétrica</i>	<i>µS/cm</i>	<i>1,48</i>	<i>pH</i>	<i>-</i>	<i>0,00</i>
Cor Verdadeira	mg PT/L	72,11	Potencial Redox	mV	69,44
Cromo Total	mg/L	100,00	<i>Sólidos Dissolvidos Totais</i>	<i>mg/L</i>	<i>1,48</i>
<i>Demanda Bioquímica de Oxigênio</i>	<i>mg/L</i>	<i>2,08</i>	Sólidos Suspensão	mg/L	92,58
Densidade de cianobactérias	Cel/ml	99,41	Sólidos Totais	mg/L	93,18
Demanda Química de Oxigênio	mg/L	96,44	SSED	mg/L	99,11
Dureza de Cálcio	mg/L	88,13	<i>Substancias tensoativas que reagem com o azul de metileno</i>	<i>mg/L</i>	<i>35,91</i>
Dureza de Magnésio	mg/L	97,92	<i>Sulfato Total mg/L Total</i>	<i>mg/L</i>	<i>3,26</i>
Dureza Total	mg/L	77,45	<i>Sulfeto (H2S não dissociado)</i>	<i>mg/L</i>	<i>52,82</i>
Estreptococos Fecais	100mL	100,00	Surfactantes	mg/L	70,62
<i>Fenóis Totais</i>	<i>mg/L</i>	<i>6,23</i>	<i>Temperatura da água</i>	<i>(°C)</i>	<i>0,00</i>
<i>Ferro Dissolvido</i>	<i>mg/L</i>	<i>1,78</i>	<i>Temperatura do ar</i>	<i>(°C)</i>	<i>2,97</i>
Ferro Total	mg/L	97,92	Transparência	m	100,00
Fluoreto Total	mg/L	100,00	<i>Turbidez</i>	<i>NTU</i>	<i>13,32</i>
Fósforo Dissolvido	mg/L	99,41	Zinco Total	mg/L	97,33
			<b>n</b>		<b>%</b>
<b>Parâmetros com &gt; 60% de faltantes</b>			36		60
<b>Parâmetros com ≤ 60% de faltantes</b>			24		40
<b>TOTAL</b>			60		100

\* Parâmetros sublinhados e em itálico apresentaram menos de 60% de dados faltantes

# APÊNDICE II

Estadística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários, relativa aos parâmetros selecionados

Tabela AII.1 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro alc<sub>T</sub>

ALCALINIDADE TOTAL (mg/L CaCO <sub>3</sub> )												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	41	9,49	8,92	10,00	3,00	22,71	3,40	6,00	10,90	2,44	1,23	4,50
VIR06-LO	41	10,30	9,39	10,00	1,50	21,10	4,13	7,70	11,73	7,32	0,63	0,90
VIR08-LO	41	8,68	8,04	8,00	1,94	19,00	3,38	6,00	10,00	2,44	0,86	1,03
VIR09-LO	41	13,64	11,85	11,73	3,00	44,60	7,91	9,50	16,80	4,88	1,83	4,81
VIR10-LO	41	8,56	7,82	7,60	1,94	19,90	3,65	6,00	10,20	2,44	0,99	1,43
VIR11-LO	40	9,27	8,50	9,76	1,00	18,50	3,35	7,34	10,80	7,50	0,21	1,07
VIR70-LO	42	9,07	8,59	9,39	3,00	20,44	2,97	7,45	10,20	4,76	1,02	4,24
VIR95-LO	40	10,22	9,60	9,75	3,00	23,10	3,68	8,27	11,40	7,50	1,25	3,31
VIR115-LO	37	8,99	8,04	9,10	1,00	18,17	3,65	7,40	10,00	16,22	0,27	0,73
VIR20-LE	40	8,92	8,14	9,33	1,94	19,00	3,60	6,12	10,35	5,00	0,71	1,49
VIR30-LE	41	9,01	8,56	9,10	3,91	16,37	2,90	6,90	10,50	2,44	0,62	0,37
VIR40-LE	42	8,89	8,37	8,45	3,00	16,90	3,00	7,13	10,00	7,14	0,62	1,14
VIR50-LE	42	10,38	9,97	10,00	4,00	16,90	2,89	8,53	11,48	7,14	0,43	0,37
VIR60-LE	41	10,51	9,20	9,20	1,94	51,00	7,49	8,00	10,00	17,07	4,32	22,25

Tabela AII.2 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro coliformes termotolerantes.

COLIFORMES TERMOTOLERANTES (NMP/100 ml)												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	41	450,62	82,01	75,00	2,00	2880,00	689,23	10,00	574,00	9,76	1,85	3,12
VIR06-LO	40	544,12	78,14	102,00	1,00	4100,00	852,78	10,00	700,00	15,00	2,35	6,84
VIR08-LO	40	429,61	90,44	130,00	1,00	3440,00	690,62	19,00	635,00	10,00	2,65	8,60
VIR09-LO	37	1020,47	63,26	45,00	1,00	13700,00	2685,95	5,00	620,00	16,22	3,95	16,16
VIR10-LO	40	820,64	119,92	112,50	2,00	14600,00	2347,85	22,00	655,00	10,00	5,47	32,28
VIR11-LO	40	952,10	373,33	490,00	14,00	6900,00	1329,11	123,75	1200,00	10,00	2,74	9,63
VIR70-LO	38	619,07	9,70	4,25	1,00	15000,00	2484,90	1,00	30,00	21,05	5,56	32,45
VIR95-LO	41	1094,12	250,95	300,00	6,00	13700,00	2410,42	75,00	1000,00	7,32	4,27	20,15
VIR115-LO	38	439,07	54,56	49,50	1,00	4200,00	843,13	9,00	413,75	15,79	2,92	10,18
VIR20-LE	36	130,98	11,19	5,50	1,00	1600,00	306,07	1,60	82,00	16,67	3,63	15,35
VIR30-LE	37	82,95	8,18	4,00	1,00	1600,00	267,83	1,80	40,00	18,92	5,35	30,56
VIR40-LE	35	158,99	9,07	5,00	1,00	4080,00	687,30	1,40	30,00	22,86	5,78	33,89
VIR50-LE	35	114,34	4,58	1,80	1,00	1800,00	399,19	1,00	12,00	20,00	3,94	14,61
VIR60-LE	35	37,89	4,55	1,80	1,00	350,00	85,06	1,00	14,00	20,00	2,64	6,30

Tabela AII.3 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro CE

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA <i>in loco</i> ( $\mu\text{mho/cm}$ )												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	42	27,44	22,34	20,20	8,00	120,00	23,36	16,13	29,98	7,14	2,94	9,10
VIR06-LO	40	28,58	25,46	24,45	10,70	124,00	18,33	20,58	30,13	10,00	3,86	19,07
VIR08-LO	40	26,37	22,79	22,53	7,00	90,00	16,26	18,08	29,55	7,50	2,17	5,96
VIR09-LO	40	41,07	34,38	31,05	13,50	181,00	30,53	24,03	47,48	7,50	2,84	10,71
VIR10-LO	39	31,53	26,59	26,00	9,20	135,00	23,47	21,15	31,35	12,82	3,03	10,86
VIR11-LO	41	27,27	23,43	21,80	10,00	127,00	20,19	16,60	30,40	7,32	3,47	15,00
VIR70-LO	43	36,18	29,58	25,00	12,80	170,00	31,88	21,90	33,50	11,63	2,96	9,05
VIR95-LO	41	44,96	31,76	27,00	13,00	392,00	67,22	22,60	40,00	7,32	4,42	20,29
VIR115-LO	39	29,91	27,00	25,25	13,00	130,80	19,42	21,23	30,10	7,89	4,19	20,45
VIR20-LE	40	25,65	20,62	21,00	5,00	163,20	25,75	14,90	27,78	5,00	4,40	22,05
VIR30-LE	41	22,52	19,24	19,09	1,00	75,00	13,31	15,20	25,50	7,32	2,28	6,65
VIR40-LE	42	24,31	21,96	20,25	10,80	87,00	13,84	17,42	27,10	7,14	2,89	10,32
VIR50-LE	42	28,78	25,56	23,50	11,60	106,00	18,41	20,05	27,50	11,90	2,91	9,08
VIR60-LE	42	36,97	26,21	22,60	4,81	346,00	54,06	18,65	28,10	14,29	4,93	27,18

Tabela AII.4 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro DBO

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO ( $\text{mg/L O}_2$ )												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	41	2,95	2,39	3,00	0,10	10,02	1,62	2,40	3,25	19,51	1,92	8,61
VIR06-LO	41	2,81	2,24	3,00	0,23	11,40	1,80	2,00	3,21	2,44	2,55	12,44
VIR08-LO	41	3,18	2,65	3,00	0,30	14,00	2,17	2,27	3,00	26,83	3,30	15,58
VIR09-LO	41	3,13	2,37	3,00	0,10	15,20	2,42	2,00	3,36	9,76	3,19	15,13
VIR10-LO	41	3,32	2,55	3,00	0,22	14,60	2,37	2,40	3,60	19,51	2,86	12,62
VIR11-LO	42	3,17	2,41	3,00	0,10	14,80	2,26	2,50	3,38	21,43	3,34	16,95
VIR70-LO	40	3,25	2,64	3,00	0,30	14,80	2,31	2,66	3,51	25,00	3,33	16,09
VIR95-LO	41	3,05	2,25	3,00	0,10	13,21	2,29	2,00	3,00	24,39	2,39	9,00
VIR115-LO	35	3,24	2,78	3,00	0,30	13,00	2,09	2,00	3,35	8,57	3,15	13,83
VIR20-LE	40	3,14	2,56	3,00	0,20	8,20	1,61	2,78	3,21	40,00	0,87	2,27
VIR30-LE	40	3,12	2,29	3,00	0,10	8,84	1,97	2,03	3,30	15,00	1,26	2,58
VIR40-LE	42	2,98	2,45	3,00	0,30	11,40	1,92	2,04	3,00	16,67	2,51	9,60
VIR50-LE	42	3,06	2,33	3,00	0,25	13,40	2,23	2,10	3,00	28,57	2,57	10,61
VIR60-LE	42	2,89	2,39	3,00	0,30	9,80	1,66	2,00	3,00	16,67	1,87	6,97

Tabela AII.5 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro Fed

FERRO DISSOLVIDO (mg/L Fe)												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	41	0,51	0,38	0,47	0,08	1,67	0,37	0,23	0,66	4,88	1,27	1,63
VIR06-LO	41	0,52	0,32	0,42	0,00	2,31	0,45	0,24	0,62	4,88	2,04	5,70
VIR08-LO	41	0,90	0,62	0,71	0,01	4,47	0,78	0,44	1,13	4,88	2,61	9,97
VIR09-LO	41	0,53	0,27	0,27	0,01	2,44	0,62	0,16	0,74	9,76	1,97	3,31
VIR10-LO	41	0,55	0,41	0,43	0,07	2,40	0,44	0,26	0,77	2,44	2,21	7,28
VIR11-LO	40	0,75	0,50	0,48	0,09	3,91	0,80	0,27	0,99	7,50	2,44	6,57
VIR70-LO	43	0,43	0,27	0,34	0,01	1,81	0,37	0,21	0,49	11,63	1,85	4,18
VIR95-LO	41	0,61	0,45	0,43	0,08	2,69	0,53	0,27	0,75	9,76	2,11	5,43
VIR115-LO	38	0,46	0,30	0,36	0,01	3,31	0,54	0,22	0,48	7,89	4,33	22,46
VIR20-LE	39	0,44	0,31	0,36	0,01	1,53	0,35	0,18	0,55	5,13	1,42	1,84
VIR30-LE	41	0,30	0,23	0,27	0,01	0,81	0,19	0,18	0,37	2,44	0,78	0,31
VIR40-LE	41	0,30	0,21	0,25	0,01	0,92	0,21	0,17	0,40	7,32	1,22	1,79
VIR50-LE	42	0,31	0,19	0,21	0,01	1,24	0,28	0,11	0,47	2,38	1,35	1,82
VIR60-LE	41	0,27	0,19	0,22	0,01	1,03	0,20	0,13	0,35	4,88	1,70	4,18

Tabela AII.6 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro PT

FÓSFORO TOTAL (mg/L P)												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	41	0,07	0,04	0,03	0,01	0,32	0,07	0,02	0,10	4,88	1,71	2,87
VIR06-LO	40	0,10	0,04	0,02	0,01	1,22	0,22	0,02	0,10	7,50	4,01	17,26
VIR08-LO	39	0,12	0,03	0,02	0,01	2,00	0,35	0,01	0,05	17,95	4,77	23,99
VIR09-LO	38	0,08	0,03	0,02	0,01	0,69	0,14	0,02	0,07	13,16	2,95	9,42
VIR10-LO	40	0,12	0,04	0,02	0,01	1,20	0,23	0,02	0,10	15,00	3,57	13,69
VIR11-LO	40	0,05	0,03	0,02	0,01	0,29	0,07	0,02	0,06	12,50	1,96	3,54
VIR70-LO	42	0,13	0,03	0,02	0,01	2,94	0,47	0,01	0,02	21,43	5,53	32,33
VIR95-LO	41	0,14	0,04	0,02	0,01	2,15	0,36	0,02	0,09	14,63	4,80	25,01
VIR115-LO	38	0,16	0,03	0,02	0,01	2,02	0,46	0,01	0,06	13,16	3,78	13,83
VIR20-LE	41	0,13	0,03	0,02	0,01	2,00	0,37	0,02	0,06	19,51	4,35	19,20
VIR30-LE	41	0,10	0,02	0,02	0,00	2,26	0,38	0,01	0,03	14,63	5,21	28,40
VIR40-LE	41	0,07	0,02	0,02	0,01	1,12	0,23	0,01	0,02	12,20	4,32	17,78
VIR50-LE	39	0,04	0,03	0,02	0,01	0,42	0,07	0,02	0,03	23,08	4,08	19,33
VIR60-LE	41	0,08	0,02	0,02	0,01	1,10	0,22	0,01	0,03	14,63	4,29	17,53

Tabela AII.7 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro N-NO3-

NITRATO (mg/L N)												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	41	0,23	0,12	0,14	0,01	1,40	0,30	0,05	0,31	7,32	2,52	7,06
VIR06-LO	41	0,26	0,10	0,10	0,01	3,80	0,61	0,05	0,23	9,76	5,14	29,19
VIR08-LO	41	0,13	0,07	0,10	0,01	0,53	0,14	0,02	0,19	4,88	1,54	1,86
VIR09-LO	41	0,19	0,10	0,12	0,01	1,43	0,29	0,05	0,20	7,32	3,46	12,56
VIR10-LO	41	0,47	0,22	0,31	0,01	2,38	0,51	0,11	0,70	4,88	1,88	4,19
VIR11-LO	41	0,19	0,10	0,10	0,01	1,41	0,26	0,05	0,23	7,32	3,32	13,07
VIR70-LO	42	0,20	0,10	0,15	0,01	1,46	0,26	0,04	0,25	7,14	3,22	13,87
VIR95-LO	40	0,27	0,14	0,17	0,01	2,88	0,45	0,05	0,31	2,50	5,21	30,36
VIR115-LO	37	0,21	0,12	0,14	0,01	1,62	0,28	0,09	0,20	10,81	3,98	19,01
VIR20-LE	41	0,15	0,09	0,10	0,01	0,80	0,15	0,05	0,18	7,32	2,45	7,79
VIR30-LE	41	0,16	0,09	0,12	0,01	0,92	0,18	0,05	0,20	7,32	2,51	7,38
VIR40-LE	42	0,16	0,11	0,13	0,01	0,70	0,15	0,05	0,20	9,52	1,70	3,20
VIR50-LE	42	0,21	0,13	0,20	0,01	0,64	0,17	0,08	0,30	2,38	0,84	0,29
VIR60-LE	41	0,40	0,13	0,17	0,01	9,16	1,41	0,08	0,21	12,20	6,28	39,95

Tabela AII.8 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro N-NH4+

NITROGÊNIO AMONÍACAL TOTAL (mg/L Ni)												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	41	0,12	0,08	0,08	0,01	0,89	0,14	0,05	0,14	7,32	4,13	21,13
VIR06-LO	41	0,10	0,07	0,06	0,01	0,38	0,09	0,05	0,10	17,07	1,72	2,47
VIR08-LO	41	0,14	0,07	0,06	0,01	1,81	0,29	0,05	0,10	12,20	5,04	28,25
VIR09-LO	41	0,12	0,07	0,06	0,01	0,65	0,13	0,05	0,13	17,07	2,26	5,62
VIR10-LO	41	0,14	0,08	0,07	0,01	1,34	0,22	0,06	0,13	17,07	4,60	24,94
VIR11-LO	40	0,07	0,05	0,06	0,01	0,27	0,05	0,05	0,10	5,00	1,78	4,89
VIR70-LO	39	0,07	0,05	0,06	0,01	0,17	0,03	0,05	0,08	5,13	0,70	1,23
VIR95-LO	39	0,12	0,07	0,06	0,01	0,60	0,13	0,05	0,14	10,26	2,27	5,56
VIR115-LO	34	0,08	0,06	0,06	0,01	0,40	0,09	0,05	0,10	8,82	2,75	7,89
VIR20-LE	40	0,08	0,06	0,06	0,01	0,32	0,07	0,05	0,10	12,50	1,89	3,84
VIR30-LE	41	0,10	0,07	0,07	0,01	0,58	0,12	0,05	0,10	12,20	2,89	8,75
VIR40-LE	41	0,08	0,06	0,06	0,01	0,36	0,07	0,05	0,10	4,88	2,40	7,33
VIR50-LE	42	0,07	0,05	0,06	0,01	0,18	0,04	0,05	0,09	2,38	0,62	0,64
VIR60-LE	41	0,09	0,05	0,06	0,01	0,83	0,14	0,05	0,07	39,02	4,09	19,33

Tabela AII.9 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro OD

OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mg/L O <sub>2</sub> )												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	41	6,66	6,37	6,70	0,60	8,61	1,33	6,40	7,36	2,44	-2,32	10,04
VIR06-LO	40	7,04	6,82	7,03	1,22	8,70	1,27	6,46	7,77	2,50	-2,46	10,33
VIR08-LO	40	5,72	5,62	5,72	3,40	7,86	1,02	5,19	6,44	0,00	-0,26	-0,07
VIR09-LO	40	5,82	5,58	6,14	1,06	7,93	1,36	5,38	6,62	2,50	-1,18	2,51
VIR10-LO	40	7,17	7,12	6,98	5,70	9,24	0,84	6,55	7,70	0,00	0,55	-0,20
VIR11-LO	41	6,85	6,65	6,87	1,85	9,48	1,43	6,25	7,80	2,44	-1,02	2,67
VIR70-LO	42	4,21	3,71	4,35	0,70	7,40	1,82	2,83	5,84	0,00	-0,13	-0,88
VIR95-LO	40	6,69	6,57	6,72	3,04	9,60	1,20	5,91	7,31	5,00	-0,30	1,47
VIR115-LO	37	5,69	5,43	6,31	2,60	7,99	1,58	4,20	6,67	0,00	-0,69	-0,71
VIR20-LE	40	6,22	6,13	6,26	3,40	8,33	1,05	5,44	6,88	0,00	-0,30	0,44
VIR30-LE	40	6,16	6,08	6,12	4,00	8,14	0,99	5,55	6,89	0,00	-0,13	-0,20
VIR40-LE	41	6,33	6,25	6,30	3,00	8,23	0,93	5,90	6,85	2,44	-0,95	3,14
VIR50-LE	41	6,56	6,48	6,66	4,00	8,80	0,99	6,06	7,17	2,44	-0,25	0,47
VIR60-LE	41	6,57	6,49	6,61	3,70	8,20	0,96	5,77	7,23	0,00	-0,40	0,41

Tabela AII.10 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro pH

pH <i>in loco</i>												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	42	6,89	6,82	6,91	3,81	8,98	0,91	6,41	7,33	7,14	-0,46	2,59
VIR06-LO	41	7,06	6,98	7,07	3,88	8,57	0,94	6,71	7,60	7,32	-1,14	2,39
VIR08-LO	41	6,32	6,16	6,52	3,03	8,67	1,34	5,85	7,03	7,32	-0,65	0,32
VIR09-LO	41	6,79	6,74	6,73	4,37	8,44	0,80	6,38	7,28	2,44	-0,43	1,13
VIR10-LO	41	6,64	6,54	6,69	2,99	8,70	1,09	6,23	7,30	4,88	-1,11	2,84
VIR11-LO	42	6,75	6,70	6,72	4,90	8,40	0,77	6,25	7,22	0,00	-0,04	-0,13
VIR70-LO	43	6,39	6,30	6,37	3,50	8,19	1,01	5,80	7,19	2,33	-0,30	0,27
VIR95-LO	41	6,84	6,79	6,81	4,18	8,65	0,81	6,50	7,37	2,44	-0,68	1,99
VIR115-LO	38	6,57	6,53	6,51	5,00	7,70	0,67	6,07	7,04	0,00	-0,01	-0,66
VIR20-LE	41	6,74	6,71	6,77	5,39	7,99	0,60	6,43	7,19	0,00	-0,25	-0,15
VIR30-LE	40	6,59	6,57	6,49	5,60	7,90	0,51	6,30	6,91	2,50	0,28	-0,06
VIR40-LE	42	6,77	6,75	6,74	5,35	7,87	0,54	6,52	7,05	7,14	-0,17	0,66
VIR50-LE	42	6,79	6,75	6,81	4,90	8,30	0,66	6,42	7,10	4,76	-0,23	0,88
VIR60-LE	42	6,74	6,72	6,72	5,89	8,04	0,52	6,40	7,02	2,38	0,48	-0,07

Tabela AII.11 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro SDT

SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS (mg/L)												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	42	37,51	29,23	26,25	10,00	230,67	36,07	20,13	45,43	2,38	3,97	20,21
VIR06-LO	40	34,53	27,30	27,00	1,33	101,33	23,32	20,85	40,55	10,00	1,33	1,42
VIR08-LO	41	38,61	28,97	28,00	1,33	209,33	35,11	18,50	41,33	9,76	3,20	13,62
VIR09-LO	41	37,96	30,31	33,90	1,33	165,00	26,74	22,30	46,00	2,44	2,77	12,10
VIR10-LO	41	33,21	27,42	29,00	10,00	92,00	20,87	18,67	41,33	4,88	1,07	0,64
VIR11-LO	41	33,43	28,22	29,00	4,00	96,00	19,31	16,50	43,00	2,44	1,16	1,75
VIR70-LO	43	40,03	28,91	24,70	10,00	389,30	57,49	20,00	44,50	2,33	5,59	34,23
VIR95-LO	41	43,42	35,96	41,00	10,00	184,00	30,66	22,80	50,00	2,44	2,57	10,15
VIR115-LO	38	37,43	31,14	29,00	10,00	125,33	26,27	23,13	41,93	7,89	2,11	4,94
VIR20-LE	41	43,04	22,05	21,00	0,05	589,33	89,78	14,30	46,67	2,44	5,90	36,59
VIR30-LE	40	23,45	19,45	19,65	1,33	54,00	13,82	12,88	29,25	2,50	0,94	-0,01
VIR40-LE	42	29,53	24,00	23,05	1,33	105,33	19,62	17,00	38,34	4,76	1,85	4,77
VIR50-LE	42	33,46	27,55	26,34	1,33	120,00	22,23	21,15	38,60	7,14	2,12	5,58
VIR60-LE	41	29,04	24,95	24,00	10,00	120,00	20,39	19,00	29,33	12,20	2,96	10,56

Tabela AII.12 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro  $\text{SO}_4^{2-}$ 

SULFATO TOTAL (mg/L $\text{SO}_4$ )												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	42	3,26	1,13	1,25	0,01	10,00	3,51	1,00	4,58	16,67	1,12	-0,26
VIR06-LO	41	4,69	1,06	1,00	0,01	74,98	11,81	1,00	2,49	21,95	5,53	33,17
VIR08-LO	41	4,86	1,15	1,00	0,01	51,25	9,28	1,00	4,27	21,95	3,79	16,54
VIR09-LO	40	2,91	0,88	1,00	0,01	10,00	3,49	1,00	2,93	17,50	1,42	0,48
VIR10-LO	41	3,12	1,16	1,00	0,01	12,00	3,68	1,00	2,92	19,51	1,41	0,37
VIR11-LO	41	2,91	0,93	2,00	0,01	10,00	3,41	1,00	2,81	17,07	1,49	0,70
VIR70-LO	40	4,20	1,24	2,11	0,01	14,60	4,21	1,00	6,78	0,00	0,84	-0,56
VIR95-LO	41	3,71	1,42	2,00	0,01	13,31	3,81	1,00	5,04	2,44	1,09	-0,21
VIR115-LO	35	4,84	1,54	2,85	0,01	30,00	5,81	1,00	9,44	2,86	2,53	9,36
VIR20-LE	41	4,52	1,37	1,00	0,01	37,00	6,88	1,00	4,74	4,88	3,13	12,26
VIR30-LE	41	3,67	1,27	1,64	0,01	20,60	4,61	1,00	4,18	21,95	1,87	3,46
VIR40-LE	42	3,09	1,22	1,41	0,01	10,00	3,37	1,00	3,53	16,67	1,35	0,41
VIR50-LE	42	3,38	1,16	1,61	0,01	10,00	3,63	1,00	5,33	0,00	1,02	-0,60
VIR60-LE	42	3,57	1,15	1,54	0,01	25,00	4,79	1,00	3,94	19,05	2,60	8,80



Tabela AII.13 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro temperatura

TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	42	25,20	25,11	25,05	19,00	29,90	2,19	23,93	26,60	2,38	-0,18	0,51
VIR06-LO	41	23,52	23,38	23,50	19,00	30,10	2,62	22,00	25,40	0,00	0,33	-0,03
VIR08-LO	41	22,36	22,12	22,50	15,40	29,80	3,32	20,00	24,00	0,00	0,12	0,09
VIR09-LO	41	25,95	25,79	26,00	20,00	31,60	2,83	24,20	27,80	0,00	-0,09	-0,26
VIR10-LO	41	22,07	21,89	22,30	15,80	28,80	2,82	20,00	23,60	0,00	0,17	0,09
VIR11-LO	42	22,43	22,23	22,80	16,70	30,80	3,01	20,08	24,18	2,38	0,30	0,34
VIR70-LO	43	23,36	23,29	23,20	20,00	28,60	1,84	22,20	24,30	2,33	0,46	0,55
VIR95-LO	41	24,42	24,34	24,00	20,40	28,10	1,96	23,00	26,20	0,00	0,08	-0,94
VIR115-LO	38	24,42	24,33	24,30	20,00	29,00	2,07	22,60	25,58	0,00	0,43	-0,04
VIR20-LE	41	26,60	26,52	26,60	22,90	30,10	2,02	25,40	28,30	0,00	-0,17	-0,98
VIR30-LE	41	26,82	26,74	27,30	22,49	31,40	2,08	25,10	28,40	0,00	-0,02	-0,43
VIR40-LE	42	26,89	26,79	27,20	22,00	31,20	2,34	25,80	28,45	0,00	-0,37	-0,33
VIR50-LE	42	26,06	25,98	26,10	21,30	30,70	2,13	24,58	27,70	0,00	-0,20	-0,39
VIR60-LE	42	25,48	25,40	25,30	21,40	29,40	2,03	24,25	27,18	0,00	-0,14	-0,84

Tabela AII.14 – Estatística descritiva do banco de dados de monitoramento do reservatório da UHE e principais tributários relativa ao parâmetro turbidez

TURBIDEZ (NTU)												
Estação	n	Média	Média Geométrica	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Percentil 25%	Percentil 75%	% <i>Outliers</i>	Coefficiente de assimetria	Coefficiente de curtose
VIR03-LO	40	53,52	27,58	34,03	0,90	233,00	55,33	15,64	80,08	5,00	1,64	2,79
VIR06-LO	39	79,92	22,52	14,10	1,30	685,31	147,07	7,49	83,99	12,82	2,87	8,51
VIR08-LO	38	25,95	12,84	9,67	2,80	181,50	42,71	6,44	16,65	18,42	2,76	6,99
VIR09-LO	37	26,72	13,83	12,25	2,80	248,00	45,20	6,50	19,10	18,92	3,78	16,41
VIR10-LO	36	18,22	6,50	5,48	1,20	303,75	51,86	3,06	9,60	11,11	5,17	28,15
VIR11-LO	38	21,30	9,99	7,75	1,91	143,00	30,86	3,10	26,29	5,26	2,65	7,62
VIR70-LO	39	20,70	14,00	17,20	0,30	125,00	21,03	8,58	23,20	7,69	3,45	15,82
VIR95-LO	38	115,60	35,39	23,40	1,30	1010,00	222,34	13,28	108,20	7,89	3,02	8,86
VIR115-LO	34	30,78	17,78	13,55	2,75	188,17	38,33	9,07	37,45	8,82	2,63	8,20
VIR20-LE	33	18,11	8,10	14,35	0,01	79,40	16,93	5,20	25,70	54,55	1,65	3,98
VIR30-LE	32	15,61	6,96	11,70	0,01	60,00	14,43	4,23	20,85	0,00	1,29	1,58
VIR40-LE	32	8,49	3,92	8,80	0,01	21,10	5,74	2,69	12,48	9,38	0,15	-0,66
VIR50-LE	33	13,76	5,74	13,70	0,01	44,50	10,89	5,08	19,61	3,03	0,93	1,16
VIR60-LE	32	11,62	4,48	9,46	0,01	81,87	14,81	3,09	12,90	3,13	3,67	16,72

# APÊNDICE III

p-valores resultantes do Teste de Normalidade Shapiro-Wilk para todos os parâmetros e em cada estação de monitoramento

Tabela AIII.1 – p-valores de todos os parâmetros e em cada estação de monitoramento da UHE Irapé e principais tributários resultantes do Teste de Normalidade Shapiro-Wilk a um nível de significância de 0,05

PARÂMETROS	ESTAÇÕES														% de valores > 0,05
	VIR03-LO	VIR06-LO	VIR08-LO	VIR09-LO	VIR10-LO	VIR11-LO	VIR70-LO	VIR95-LO	VIR115-LO	VIR20-LE	VIR30-LE	VIR40-LE	VIR50-LE	VIR60-LE	
Alcr	0,000	<u>0,111</u>	0,010	0,000	0,010	<u>0,596</u>	0,005	0,004	<u>0,183</u>	0,019	<u>0,112</u>	0,038	0,032	0,000	28,57
Coli. term.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0
CE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0
DBO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0
Fea	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	<u>0,058</u>	0,002	0,000	0,000	7,14
PT	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0
Ol.Gra.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0
OD	0,000	0,000	<u>0,652</u>	0,004	<u>0,270</u>	0,047	<u>0,351</u>	<u>0,625</u>	0,002	<u>0,679</u>	<u>0,926</u>	0,050	<u>0,897</u>	<u>0,192</u>	57,14
pH	<u>0,068</u>	0,009	<u>0,117</u>	<u>0,594</u>	0,013	<u>0,984</u>	<u>0,645</u>	<u>0,210</u>	<u>0,401</u>	<u>0,620</u>	<u>0,658</u>	<u>0,380</u>	<u>0,672</u>	<u>0,325</u>	85,71
SDT	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> T	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0
Temperatura da água	<u>0,876</u>	<u>0,627</u>	<u>0,603</u>	<u>0,735</u>	<u>0,726</u>	<u>0,616</u>	<u>0,564</u>	<u>0,151</u>	<u>0,164</u>	<u>0,207</u>	<u>0,754</u>	<u>0,151</u>	<u>0,852</u>	<u>0,349</u>	100
Turb.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	<u>0,199</u>	0,018	0,000	7,14

\* Valores sublinhados e em itálico apontam dados com Distribuição Normal ( $p > 0,05$ )

# APÊNDICE IV

Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados nas estações de monitoramento do reservatório e principais tributários da UHE de Irapé

Figura AIV.1 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR03-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

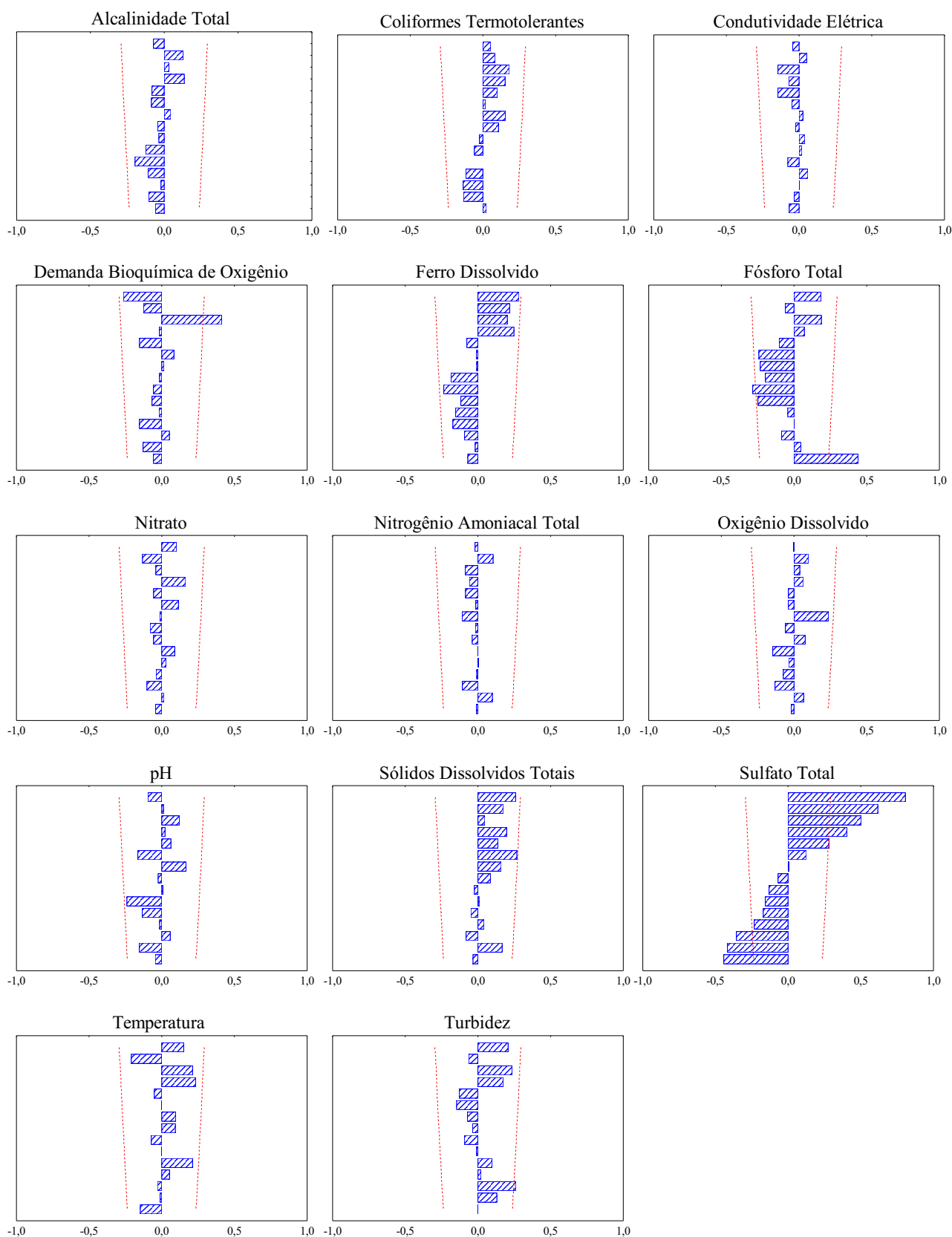


Figura AIV.2 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR06-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

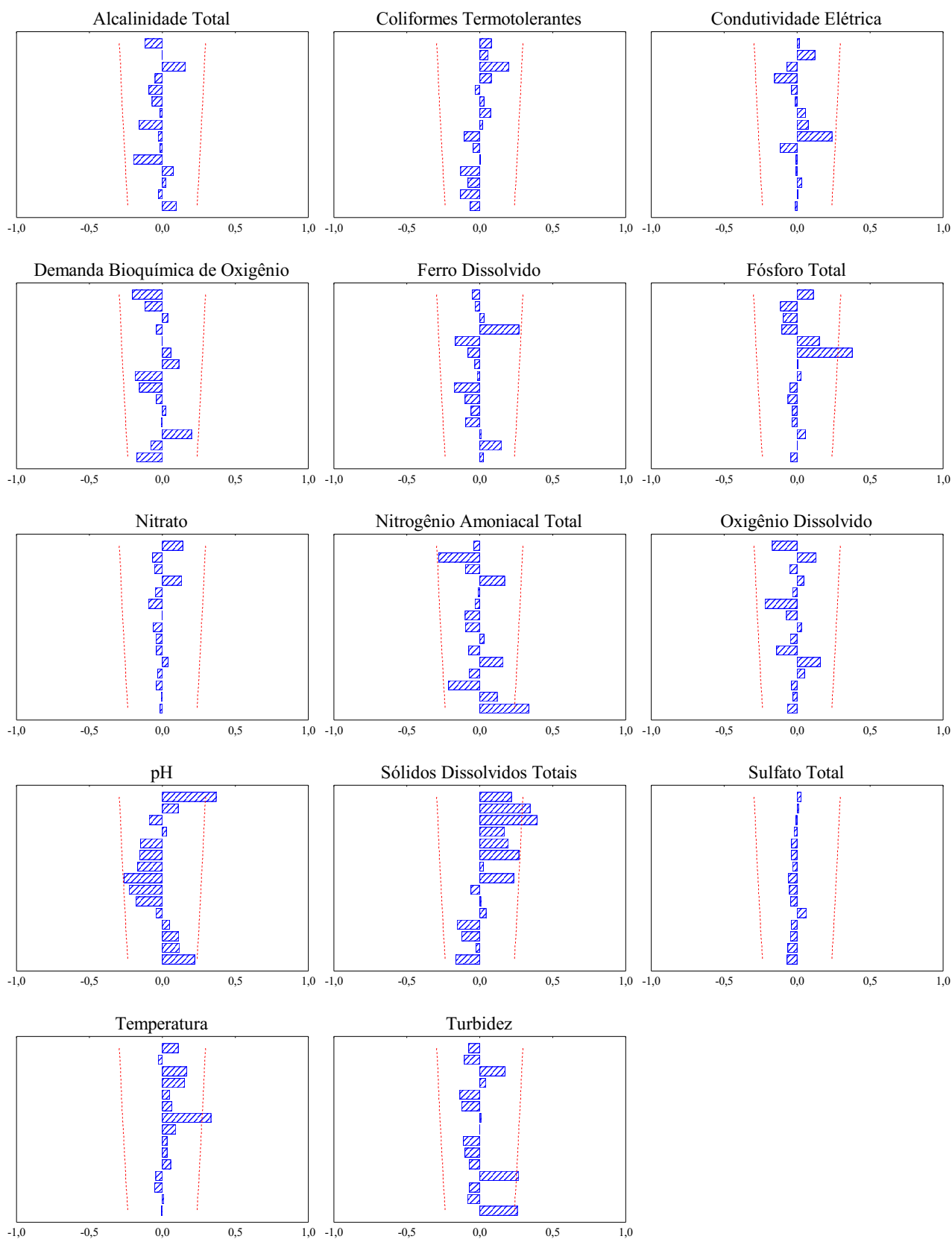


Figura AIV.3 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR08-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

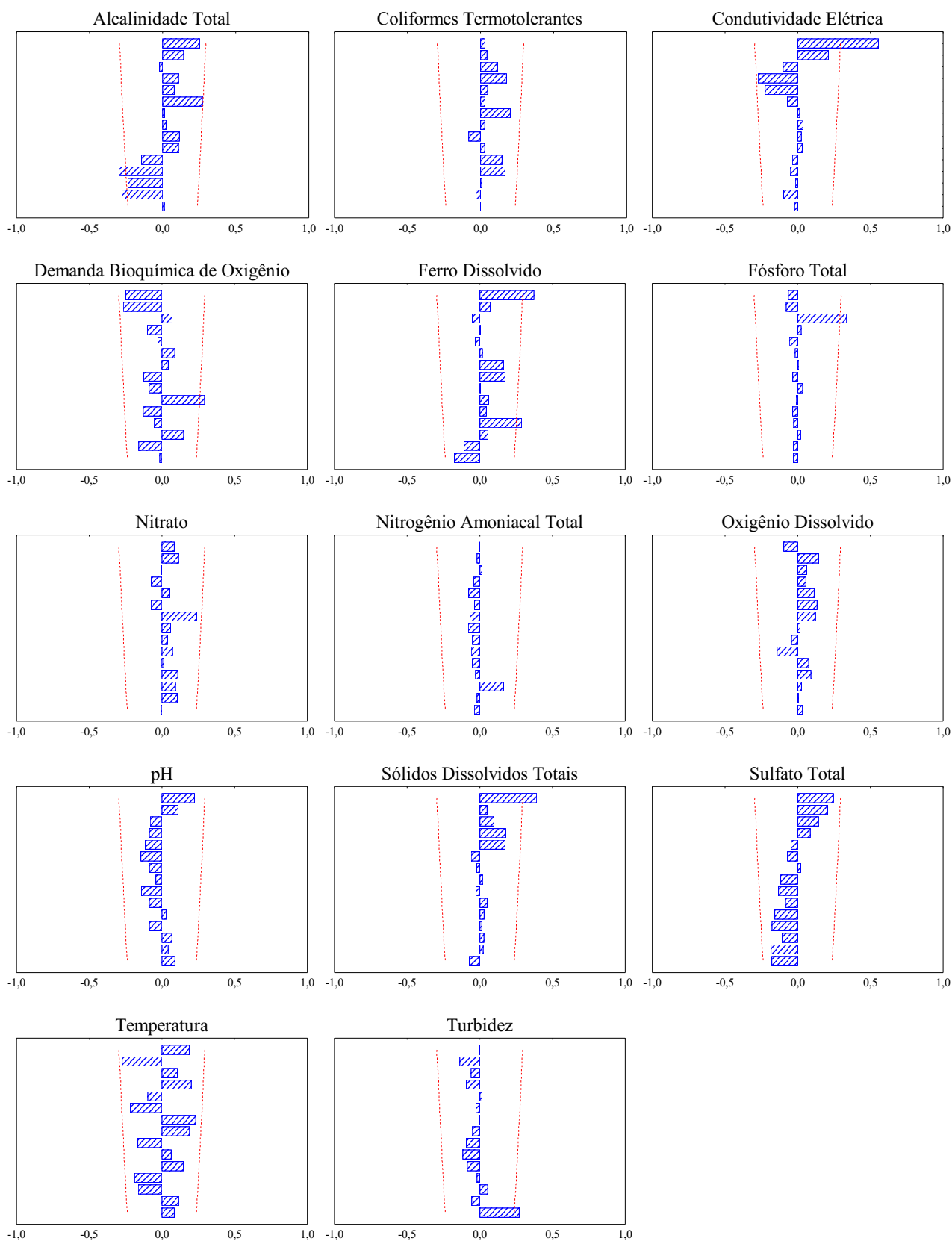


Figura AIV.4 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR09-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

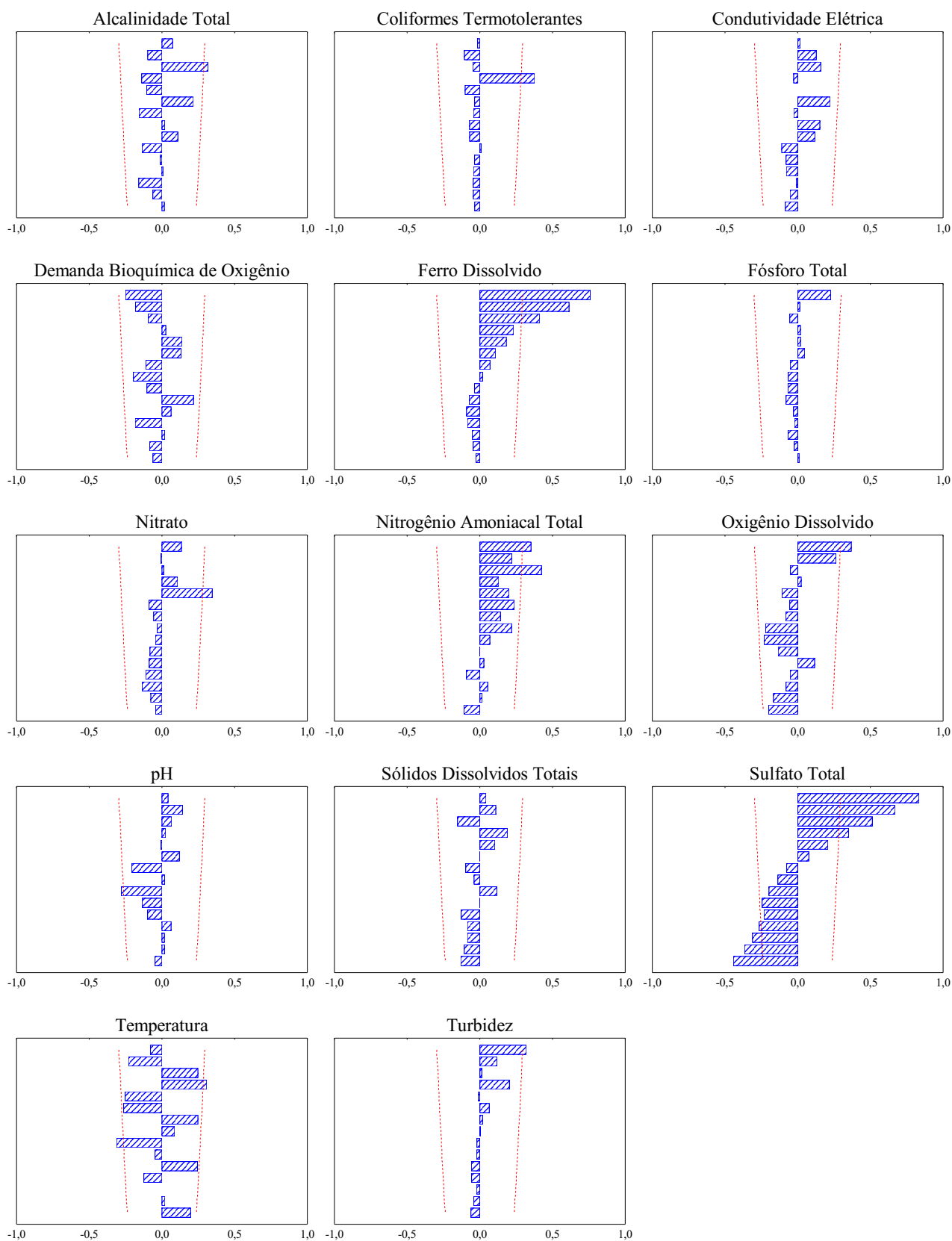




Figura AIV.5 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR10-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

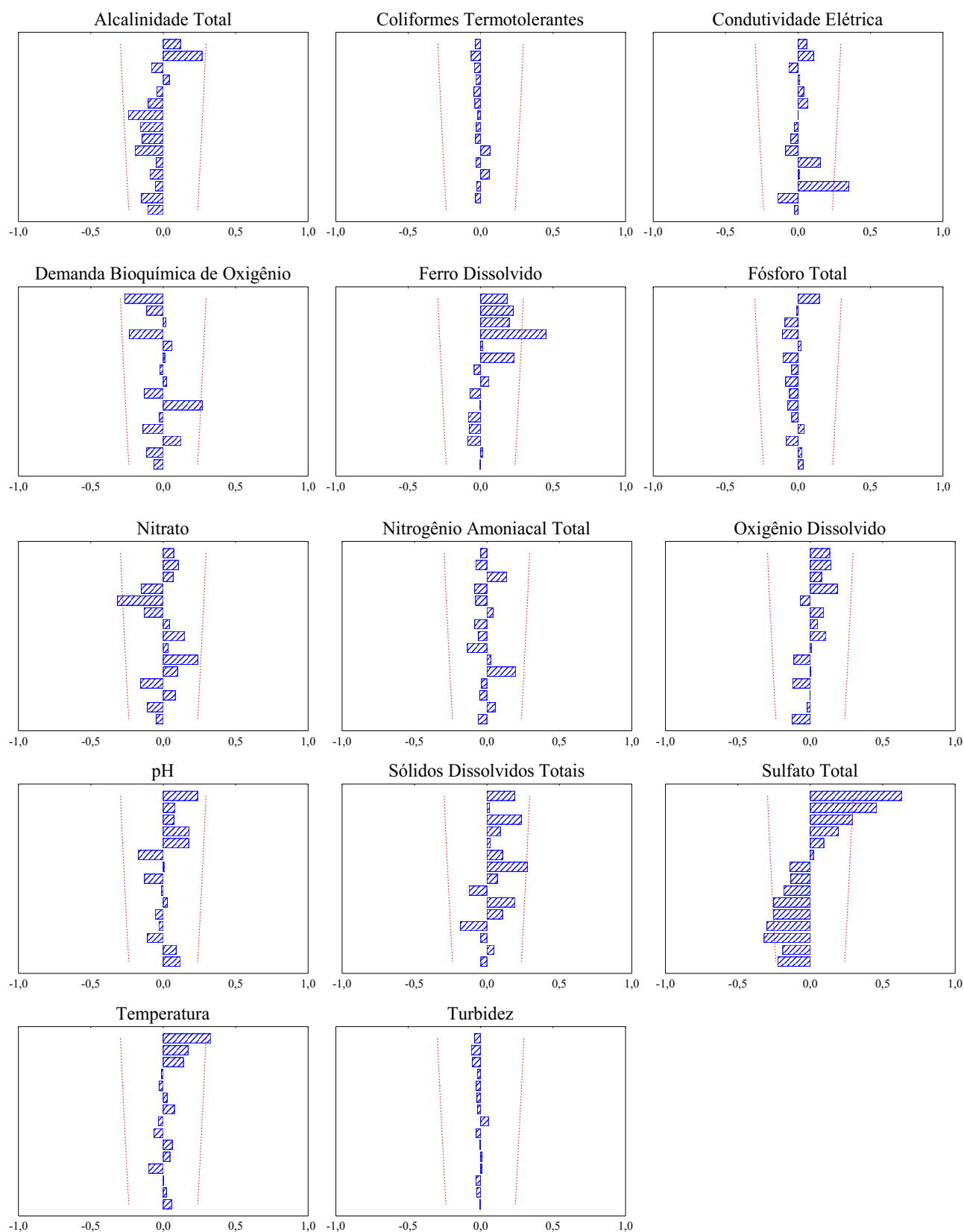


Figura AIV.6 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR11-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

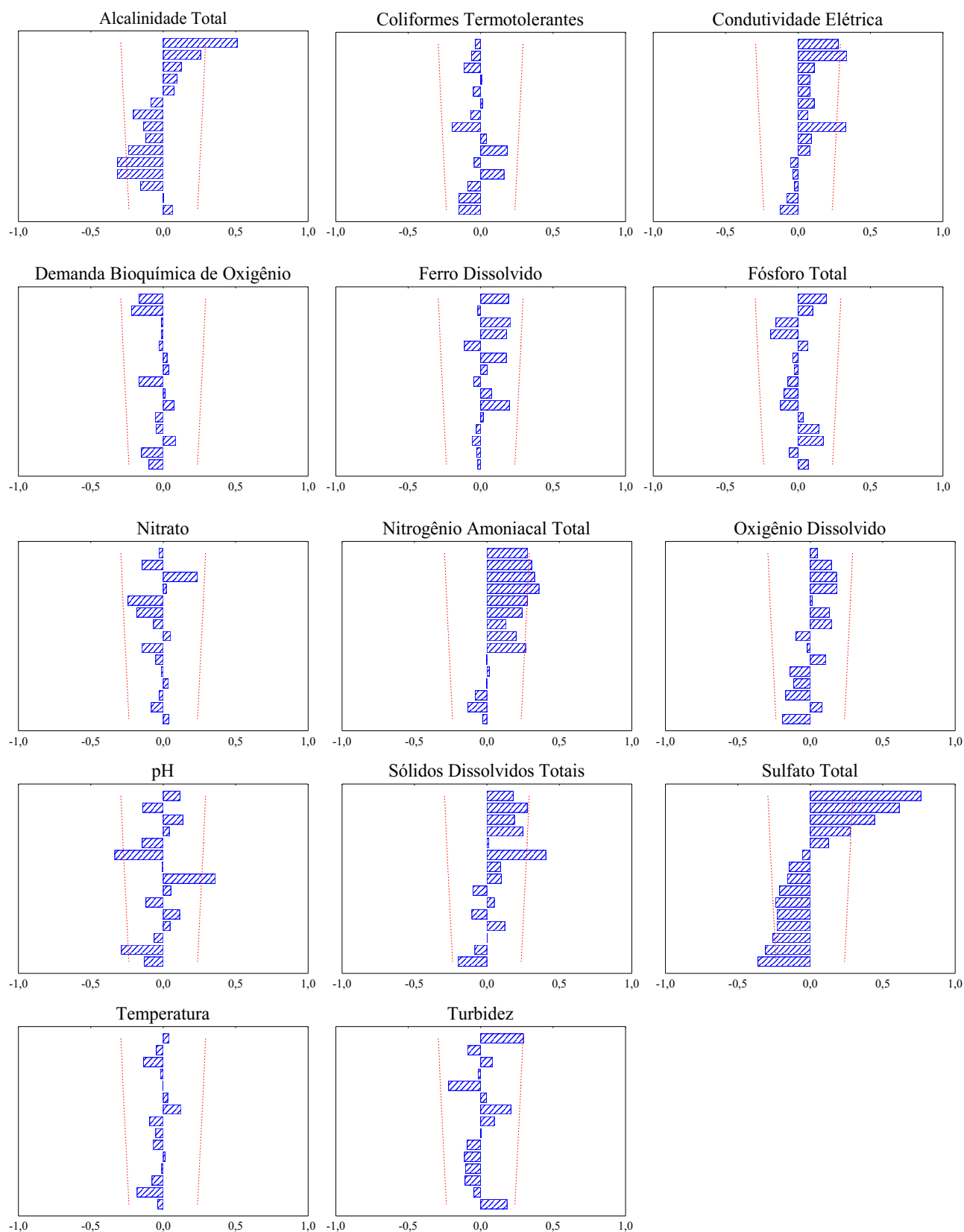


Figura AIV.7 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR70-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

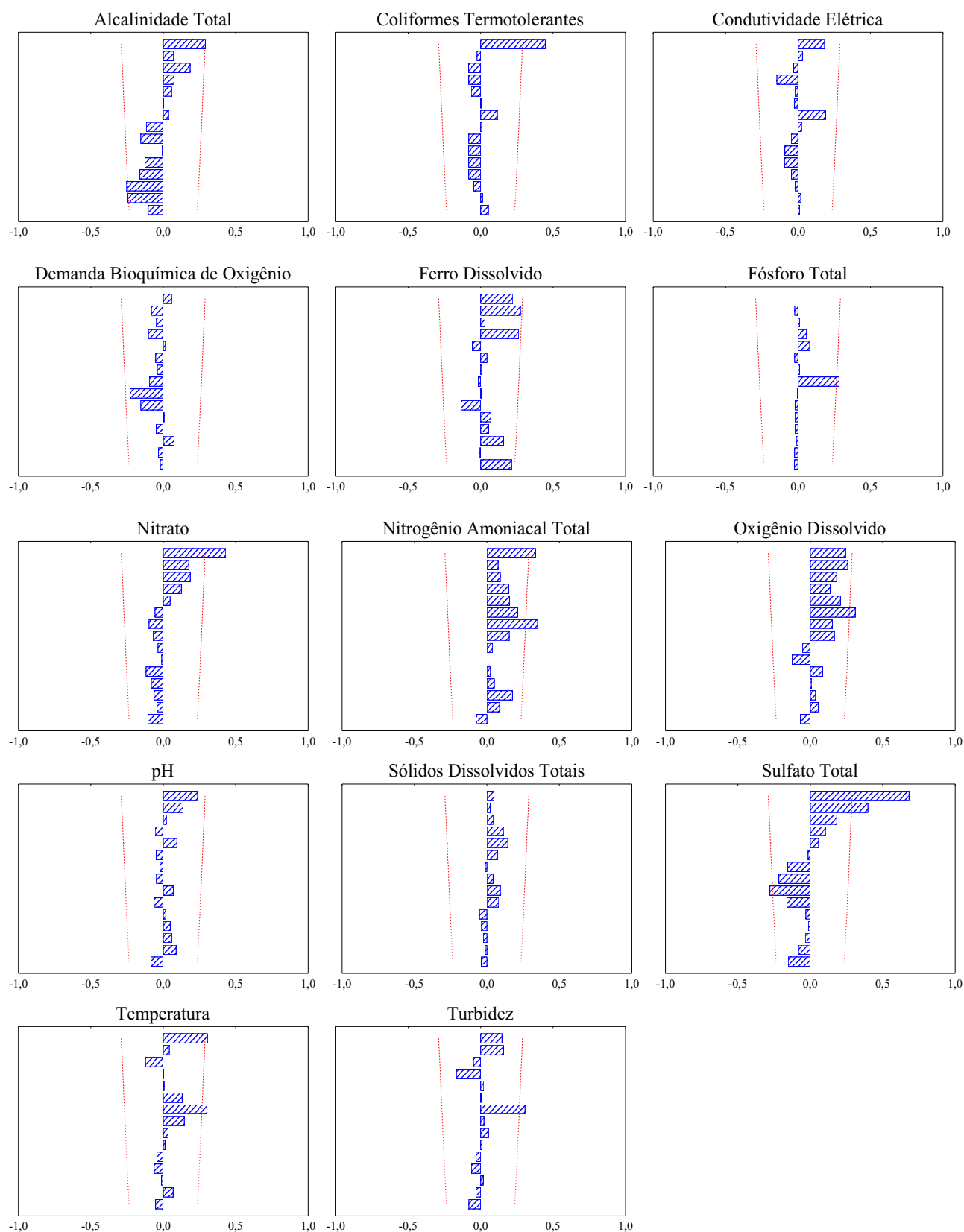


Figura AIV.8 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR95-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

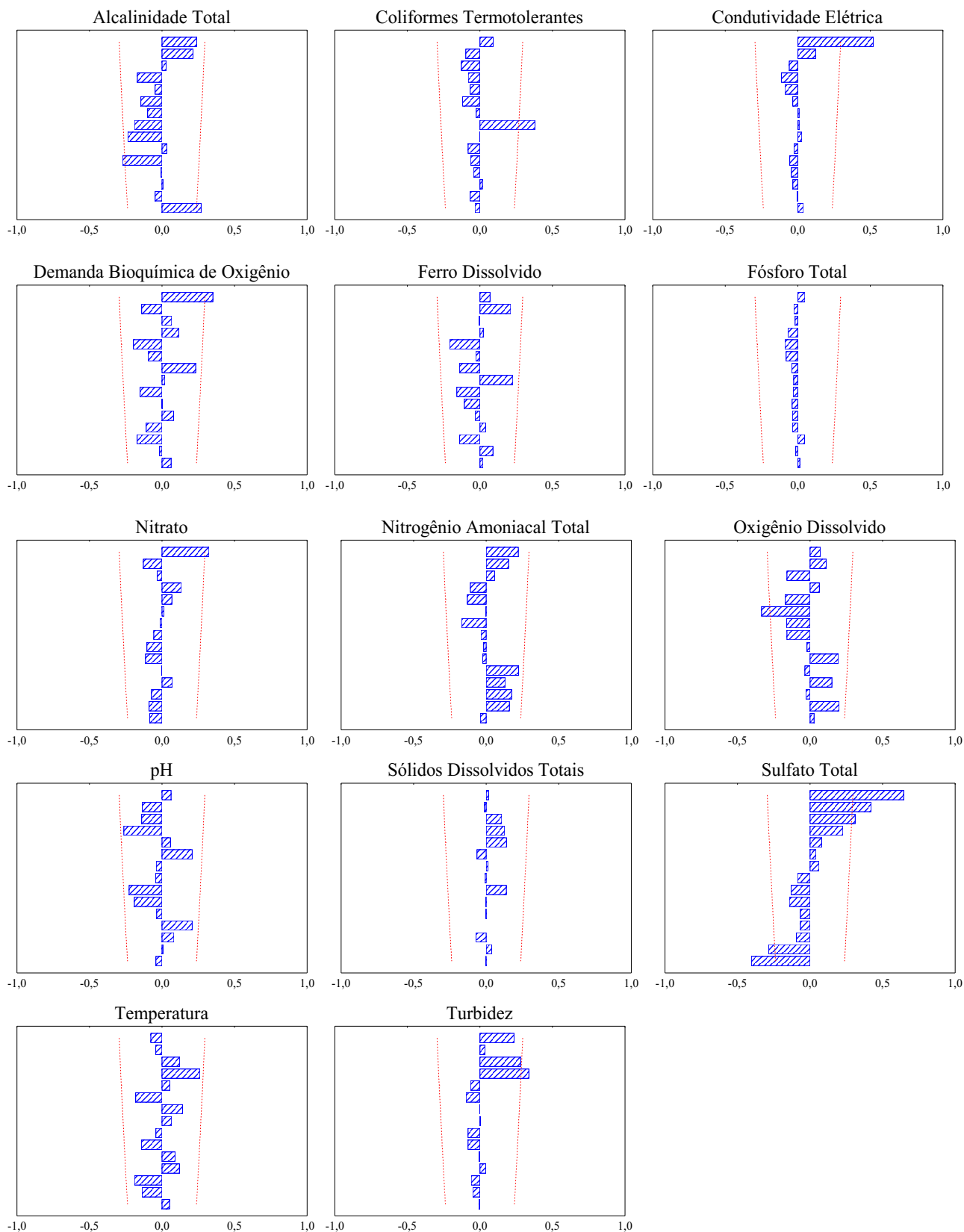


Figura AIV.9 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR115-LO. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

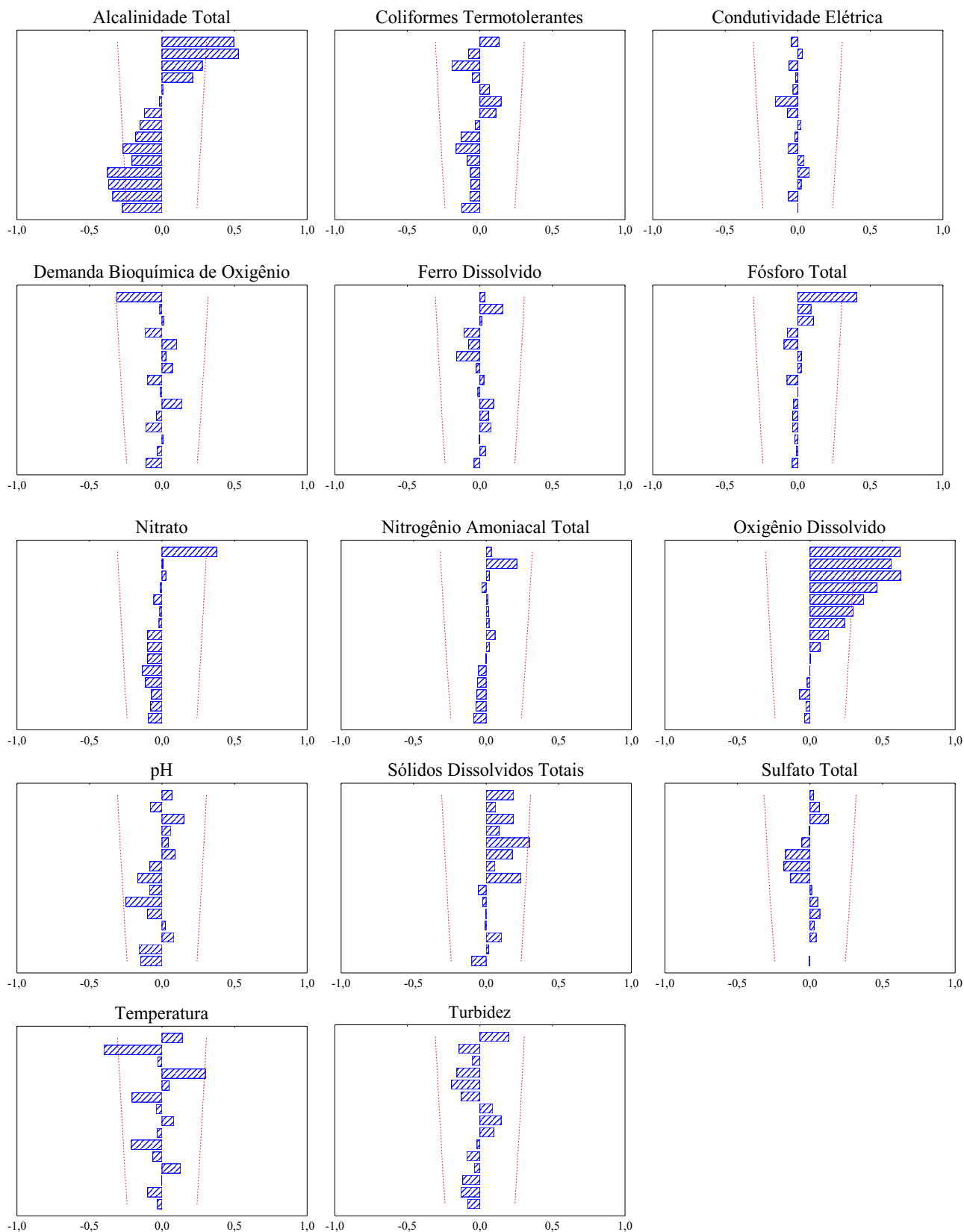


Figura AIV.10 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR20-LE. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

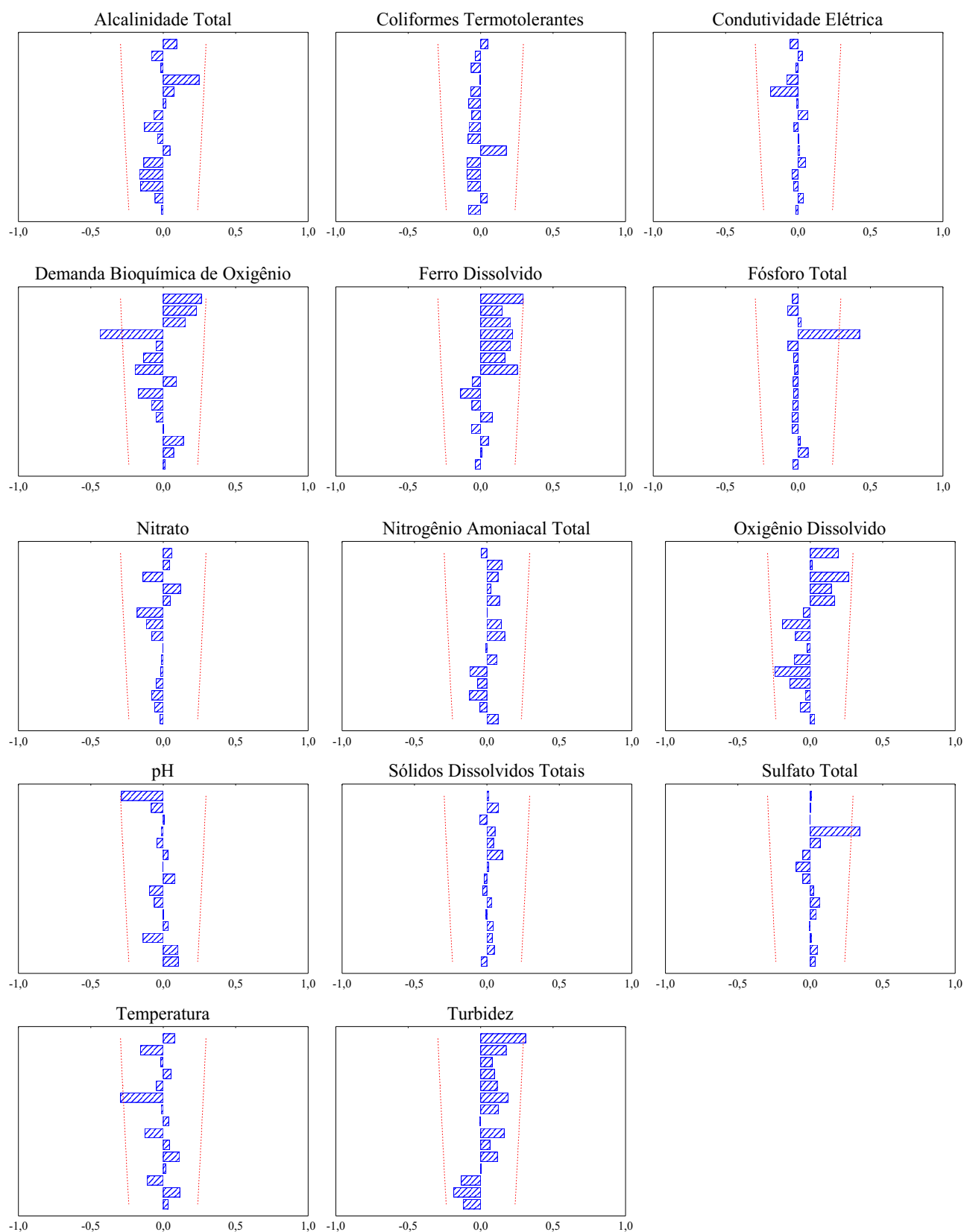


Figura AIV.11 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR30-LE. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

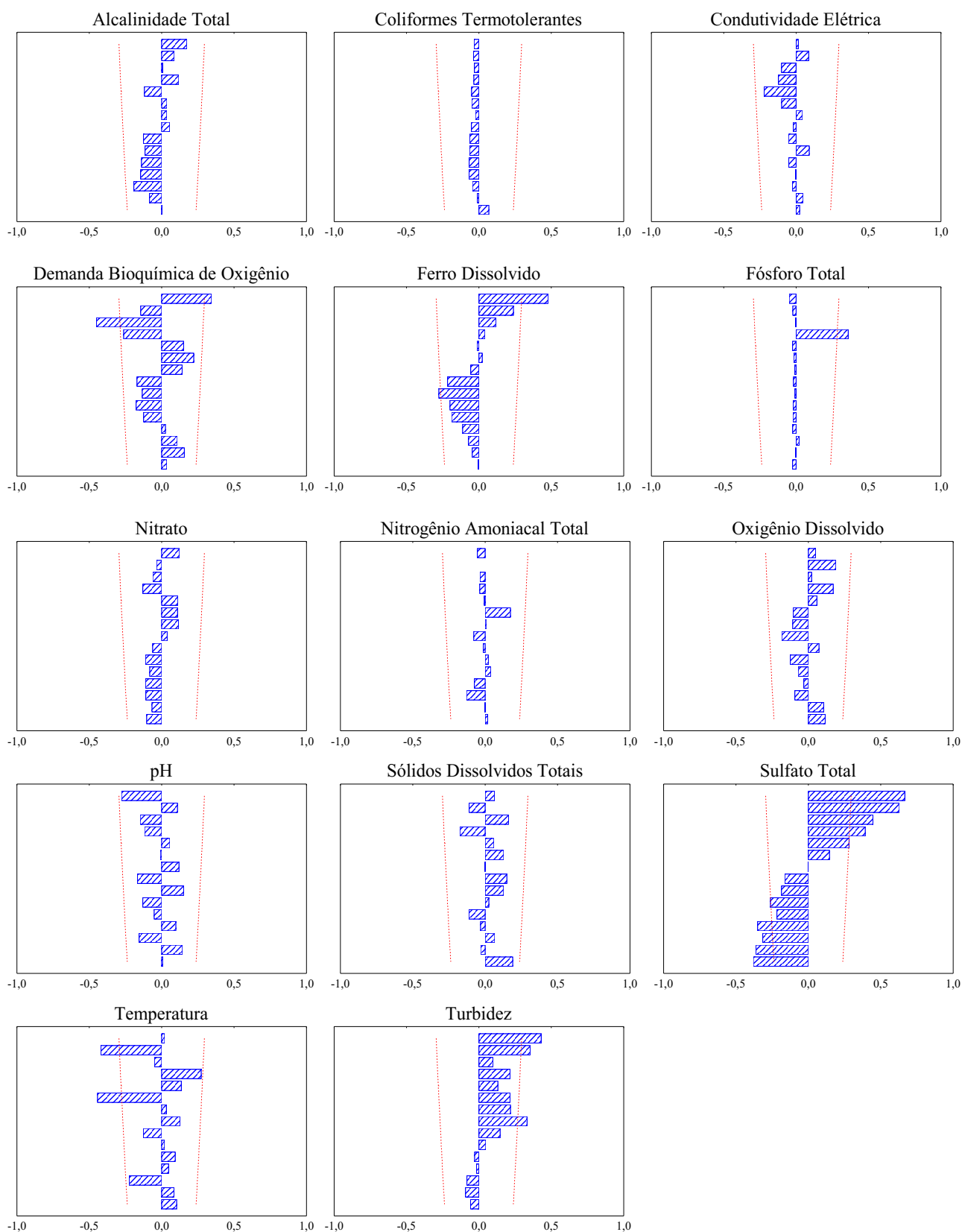


Figura AIV.12 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR40-LE. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

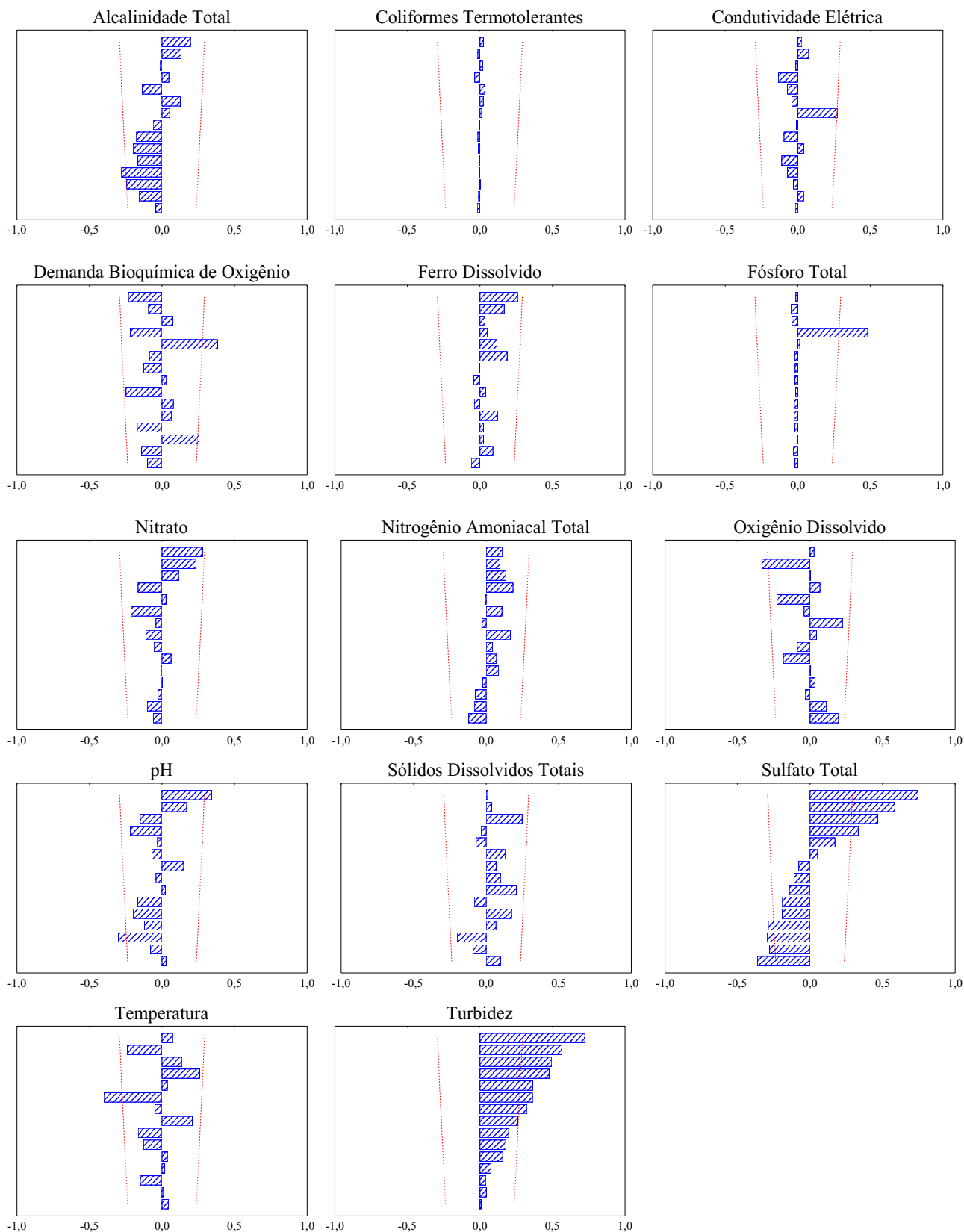




Figura AIV.13 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR50-LE. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%

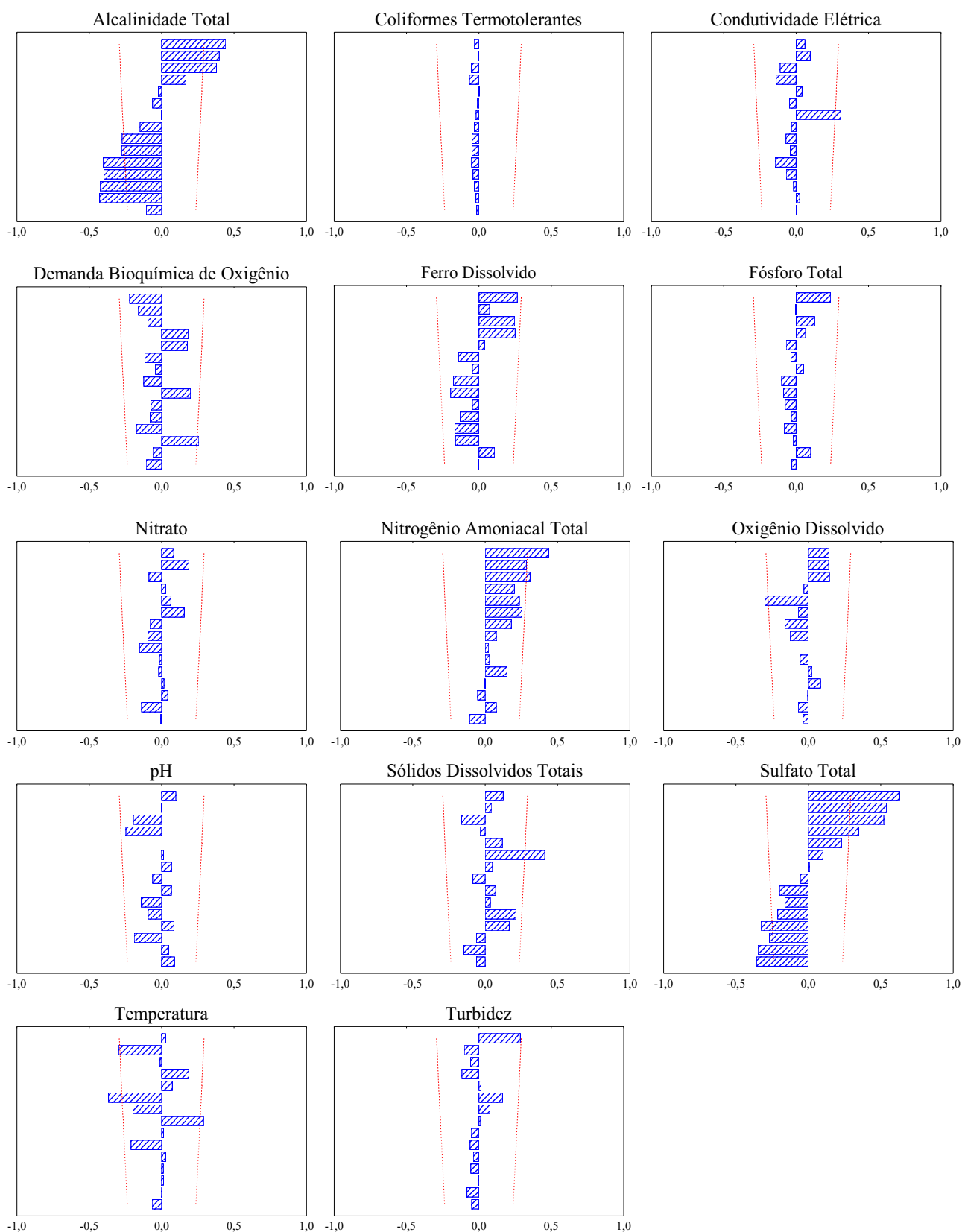
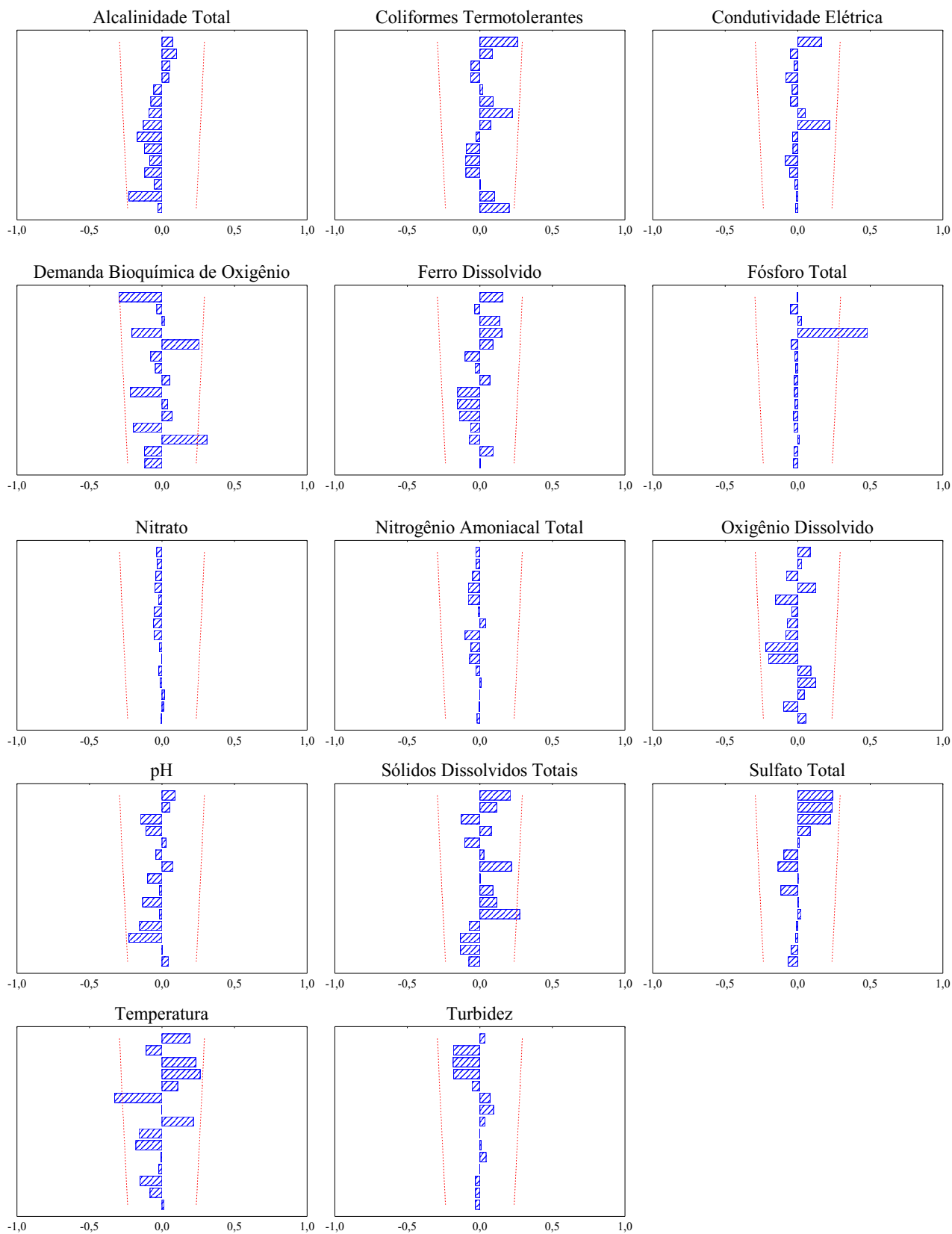


Figura AIV.14 - Coeficientes da Função de Autocorrelação (FAC) dos parâmetros analisados na estação de monitoramento VIR60-LE. As linhas tracejadas indicam valores estaticamente significativos a um nível de significância de 5%



# APÊNDICE V

Resultados das análises de tendência temporal dos parâmetros selecionados, em cada estação de monitoramento do reservatório da UHE de Irapé e principais tributários

Tabela AV.1 - Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro  $alc_T$ , em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	0,196	Não	0,602	-0,061			Sem tendência
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	<u>0,025</u>	Sim			0,497	-0,092	Sem tendência
VIR08-LO	Rio Soberbo	0,723	Não	0,348	-0,109			Sem tendência
VIR09-LO	Rio Ventania	0,459	Não	0,436	0,089			Sem tendência
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	0,792	Não	0,295	-0,121			Sem tendência
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	0,732	Não	0,875	0,018			Sem tendência
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	0,118	Não	0,067	-0,217			Sem tendência
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	0,472	Não	0,573	0,065			Sem tendência
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	0,302	Não	0,918	-0,013			Sem tendência
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	0,341	Não	0,109	-0,187			Sem tendência
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	<u>0,017</u>	Sim			0,159	-0,188	Sem tendência
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	<u>0,008</u>	Sim			0,601	-0,069	Sem tendência
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	0,215	Não	0,280	-0,122			Sem tendência
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	0,395	Não	0,089	-0,194			Sem tendência

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ )

Tabela AV.2 - Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro coliformes termotolerantes, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	<u>0,016</u>	Sim			0,432	-0,105	Sem tendência
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	<u>0,001</u>	Sim			0,106	-0,216	Sem tendência
VIR08-LO	Rio Soberbo	0,050	Não	0,146	-0,168			Sem tendência
VIR09-LO	Rio Ventania	0,287	Não	0,389	-0,104			Sem tendência
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	<u>0,023</u>	Sim			1,000	0,000	Sem tendência
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	<u>0,013</u>	Sim			0,834	0,028	Sem tendência
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	<u>0,020</u>	Sim			<u>0,001</u>	-0,426	Redução
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	<u>0,042</u>	Sim			0,566	-0,076	Sem tendência
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	0,170	Não	<u>0,007</u>	-0,335			Redução
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	0,379	Não	<u>0,012</u>	-0,319			Redução
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	0,145	Não	<u>0,012</u>	-0,314			Redução
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	0,236	Não	<u>0,005</u>	-0,360			Redução
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	0,540	Não	<u>0,000</u>	-0,470			Redução
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	0,418	Não	<u>≤ 0,0001</u>	-0,693			Redução

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ )

Tabela AV.3 - Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro CE, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	0,083	Não	0,942	-0,008			Sem tendência
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	0,500	Não	0,102	0,188			Sem tendência
VIR08-LO	Rio Soberbo	0,129	Não	0,295	0,120			Sem tendência
VIR09-LO	Rio Ventania	0,704	Não	0,182	0,153			Sem tendência
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	0,524	Não	<u>0,037</u>	0,243			Elevação
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	0,831	Não	<u>0,002</u>	0,350			Elevação
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	0,637	Não	0,592	-0,062			Sem tendência
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	0,679	Não	0,199	0,146			Sem tendência
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	0,298	Não	0,661	-0,055			Sem tendência
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	<u>0,007</u>	Sim			0,250	-0,153	Sem tendência
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	0,116	Não	0,970	-0,004			Sem tendência
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	0,424	Não	0,390	-0,096			Sem tendência
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	0,895	Não	0,545	-0,068			Sem tendência
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	0,751	Não	0,654	-0,050			Sem tendência

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos (p<0,05)

Tabela AV.4 - Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro DBO, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	0,291	Não	0,152	0,171			Sem tendência
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	0,452	Não	<u>0,038</u>	0,247			Elevação
VIR08-LO	Rio Soberbo	0,077	Não	<u>0,004</u>	0,344			Elevação
VIR09-LO	Rio Ventania	0,443	Não	0,096	0,197			Sem tendência
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	0,344	Não	0,144	0,172			Sem tendência
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	0,225	Não	0,292	0,125			Sem tendência
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	0,930	Não	0,356	0,111			Sem tendência
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	0,125	Não	<u>0,007</u>	0,322			Elevação
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	0,064	Não	0,168	0,179			Sem tendência
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	0,995	Não	0,753	0,038			Sem tendência
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	0,994	Não	0,659	0,054			Sem tendência
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	0,805	Não	<u>0,030</u>	0,256			Elevação
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	0,481	Não	0,132	0,180			Sem tendência
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	0,568	Não	0,097	0,199			Sem tendência

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos (p<0,05)

Tabela AV.5 - Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro  $Fe_d$ , em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	0,464	Não	0,063	0,211			Sem tendência
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	<u>0,002</u>	Sim			0,251	0,153	Sem tendência
VIR08-LO	Rio Soberbo	0,977	Não	<u>0,003</u>	0,333			Elevação
VIR09-LO	Rio Ventania	0,451	Não	<u>0,000</u>	0,431			Elevação
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	0,130	Não	<u>0,009</u>	0,296			Elevação
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	0,365	Não	<u>0,019</u>	0,269			Elevação
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	0,479	Não	<u>0,030</u>	0,250			Elevação
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	0,258	Não	<u>0,016</u>	0,274			Elevação
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	0,324	Não	0,330	0,121			Sem tendência
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	0,064	Não	<u>0,002</u>	0,354			Elevação
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	0,820	Não	<u>0,044</u>	0,229			Elevação
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	0,127	Não	0,081	0,198			Sem tendência
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	0,644	Não	<u>0,032</u>	0,240			Elevação
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	0,052	Não	0,097	0,189			Sem tendência

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ )

Tabela AV.6 - Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro  $P_T$ , em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	<u>0,014</u>	Sim			0,562	0,076	Sem tendência
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	<u>0,010</u>	Sim			0,218	0,174	Sem tendência
VIR08-LO	Rio Soberbo	0,166	Não	0,297	0,130			Sem tendência
VIR09-LO	Rio Ventania	0,152	Não	0,252	0,142			Sem tendência
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	0,561	Não	0,248	0,139			Sem tendência
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	0,063	Não	0,092	0,205			Sem tendência
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	0,894	Não	0,336	0,123			Sem tendência
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	0,074	Não	0,360	0,109			Sem tendência
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	0,554	Não	0,502	0,089			Sem tendência
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	0,197	Não	0,242	0,139			Sem tendência
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	0,233	Não	0,252	0,141			Sem tendência
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	0,259	Não	<u>0,044</u>	0,254			Elevação
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	0,194	Não	0,942	0,009			Sem tendência
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	0,319	Não	0,257	0,140			Sem tendência

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ )

Tabela AV.7 - Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	<u>0,004</u>	Sim			1,000	0,000	Sem tendência
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	<u>0,010</u>	Sim			0,834	-0,028	Sem tendência
VIR08-LO	Rio Soberbo	0,124	Não	<u>0,000</u>	-0,411			Redução
VIR09-LO	Rio Ventania	0,111	Não	<u>0,008</u>	0,305			Elevação
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	<u>0,032</u>	Sim			0,321	0,132	Sem tendência
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	0,344	Não	0,753	-0,036			Sem tendência
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	0,396	Não	0,056	0,224			Sem tendência
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	<u>0,021</u>	Sim			0,144	0,194	Sem tendência
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	0,631	Não	0,208	0,160			Sem tendência
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	0,440	Não	0,960	-0,006			Sem tendência
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	0,468	Não	0,950	-0,007			Sem tendência
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	0,442	Não	0,175	0,152			Sem tendência
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	0,494	Não	0,179	0,151			Sem tendência
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	0,211	Não	0,050	0,223			Sem tendência

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos (p<0,05)

Tabela AV.8 - Resultados das análises de tendência do parâmetro N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	0,548	Não	0,188	0,153			Sem tendência
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	0,741	Não	<u>0,034</u>	0,250			Elevação
VIR08-LO	Rio Soberbo	0,158	Não	0,087	0,202			Sem tendência
VIR09-LO	Rio Ventania	0,994	Não	<u>0,000</u>	0,437			Elevação
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	0,193	Não	0,197	0,150			Sem tendência
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	0,892	Não	<u>&lt; 0,0001</u>	0,544			Elevação
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	0,526	Não	<u>0,012</u>	0,312			Elevação
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	0,736	Não	<u>&lt; 0,0001</u>	0,502			Elevação
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	0,821	Não	<u>&lt; 0,0001</u>	0,556			Elevação
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	0,979	Não	<u>&lt; 0,0001</u>	0,508			Elevação
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	0,567	Não	<u>0,002</u>	0,359			Elevação
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	0,321	Não	<u>0,000</u>	0,415			Elevação
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	0,679	Não	<u>&lt; 0,0001</u>	0,511			Elevação
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	0,597	Não	<u>0,000</u>	0,426			Elevação

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos (p<0,05)

Tabela AV.9 - Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro OD, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	<u>0,020</u>	Sim			0,143	0,191	Sem tendência
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	0,650	Não	0,844	-0,023			Sem tendência
VIR08-LO	Rio Soberbo	0,719	Não	0,077	0,203			Sem tendência
VIR09-LO	Rio Ventania	0,143	Não	0,685	-0,047			Sem tendência
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	0,118	Não	0,166	0,159			Sem tendência
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	0,156	Não	0,053	0,223			Sem tendência
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	0,057	Não	<u>0,025</u>	0,261			Elevação
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	0,740	Não	0,734	0,039			Sem tendência
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	0,501	Não	<u>0,006</u>	0,350			Elevação
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	0,318	Não	0,565	0,066			Sem tendência
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	0,063	Não	0,464	0,084			Sem tendência
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	0,134	Não	0,900	0,014			Sem tendência
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	0,232	Não	0,285	-0,121			Sem tendência
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	0,510	Não	0,860	0,020			Sem tendência

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos (p<0,05)

Tabela AV.10 - Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro pH, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	0,138	Não	0,410	0,092			Sem tendência
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	0,217	Não	0,753	0,036			Sem tendência
VIR08-LO	Rio Soberbo	0,199	Não	0,792	-0,030			Sem tendência
VIR09-LO	Rio Ventania	0,497	Não	0,110	-0,181			Sem tendência
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	0,922	Não	<u>0,010</u>	-0,292			Redução
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	0,576	Não	0,763	0,034			Sem tendência
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	0,093	Não	<u>0,039</u>	0,238			Elevação
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	0,380	Não	0,642	0,053			Sem tendência
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	0,149	Não	0,871	0,020			Sem tendência
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	<u>0,027</u>	Sim			0,085	-0,230	Sem tendência
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	0,081	Não	0,353	-0,107			Sem tendência
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	0,489	Não	0,140	-0,165			Sem tendência
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	0,447	Não	0,339	-0,107			Sem tendência
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	0,461	Não	0,885	-0,016			Sem tendência

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos (p<0,05)



Tabela AV.11 - Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro SDT, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	0,171	Não	<u>0,000</u>	-0,397			Redução
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	0,360	Não	0,061	-0,216			Sem tendência
VIR08-LO	Rio Soberbo	0,313	Não	<u>0,012</u>	-0,285			Redução
VIR09-LO	Rio Ventania	0,554	Não	0,811	-0,027			Sem tendência
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	0,188	Não	0,332	-0,111			Sem tendência
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	0,222	Não	0,051	-0,221			Sem tendência
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	0,105	Não	0,132	-0,174			Sem tendência
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	0,062	Não	0,087	-0,194			Sem tendência
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	0,431	Não	<u>0,004</u>	-0,359			Redução
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	0,771	Não	0,314	-0,115			Sem tendência
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	0,329	Não	<u>0,045</u>	-0,231			Redução
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	0,444	Não	<u>0,001</u>	-0,377			Redução
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	0,729	Não	<u>0,046</u>	-0,223			Redução
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	0,842	Não	0,166	-0,157			Sem tendência

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos (p<0,05)

Tabela AV.12 - Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>T, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	0,378	Não	0,483	-0,084			Sem tendência
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	0,916	Não	0,245	-0,143			Sem tendência
VIR08-LO	Rio Soberbo	0,504	Não	0,275	-0,132			Sem tendência
VIR09-LO	Rio Ventania	0,272	Não	0,936	-0,010			Sem tendência
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	0,184	Não	0,311	-0,123			Sem tendência
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	0,694	Não	0,798	0,031			Sem tendência
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	0,497	Não	0,092	0,198			Sem tendência
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	0,960	Não	0,819	-0,027			Sem tendência
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	0,869	Não	0,265	0,143			Sem tendência
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	0,684	Não	0,341	-0,115			Sem tendência
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	0,912	Não	0,490	-0,083			Sem tendência
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	0,702	Não	0,175	-0,160			Sem tendência
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	0,698	Não	0,452	-0,088			Sem tendência
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	0,602	Não	0,970	-0,004			Sem tendência

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos (p<0,05)

Tabela AV.13 - Resultados das análises de tendência temporal do parâmetro temperatura, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	<u>0,005</u>	Sim			0,068	0,245	Sem tendência
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	0,200	Não	0,074	0,204			Sem tendência
VIR08-LO	Rio Soberbo	<u>0,002</u>	Sim			0,229	0,161	Sem tendência
VIR09-LO	Rio Ventania	<u>0,005</u>	Sim			0,404	0,111	Sem tendência
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	0,302	Não	<u>0,046</u>	0,228			Elevação
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	0,128	Não	0,414	0,093			Sem tendência
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	<u>0,022</u>	Sim			0,068	0,243	Sem tendência
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	<u>0,006</u>	Sim			0,248	0,152	Sem tendência
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	<u>0,004</u>	Sim			0,292	0,154	Sem tendência
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	<u>0,031</u>	Sim			0,403	-0,111	Sem tendência
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	<u>0,000</u>	Sim			0,754	-0,042	Sem tendência
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	<u>0,000</u>	Sim			0,297	0,139	Sem tendência
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	<u>0,013</u>	Sim			0,754	0,042	Sem tendência
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	<u>0,008</u>	Sim			0,676	0,054	Sem tendência

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos (p<0,05)

Tabela AV.14 - Resultados das análises de tendência do parâmetro turbidez, em cada estação do reservatório da UHE Irapé e principais tributários

Estação	Corpo d'água	Teste KW <sup>1</sup>	Influência da sazonalidade	Teste MK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Teste SMK <sup>1</sup>	Tau de Kendall	Tendência
VIR03-LO	Rio Jequitinhonha	0,172	Não	<u>0,007</u>	0,309			Elevação
VIR06-LO	Rio Itacambiruçu	<u>0,000</u>	Sim			1,000	0,000	Sem tendência
VIR08-LO	Rio Soberbo	<u>0,005</u>	Sim			0,715	0,049	Sem tendência
VIR09-LO	Rio Ventania	0,246	Não	<u>0,013</u>	0,293			Elevação
VIR10-LO	Ribeirão Noruega	0,299	Não	0,293	0,127			Sem tendência
VIR11-LO	Ribeirão Corrente	<u>0,004</u>	Sim			0,466	0,097	Sem tendência
VIR70-LO	Rio Jequitinhonha	0,184	Não	<u>0,002</u>	0,356			Elevação
VIR95-LO	Rio Jequitinhonha	<u>0,042</u>	Sim			0,118	0,208	Sem tendência
VIR115-LO	Rio Jequitinhonha	0,085	Não	0,189	0,172			Sem tendência
VIR20-LE	Rio Jequitinhonha	0,435	Não	<u>0,004</u>	0,353			Elevação
VIR30-LE	Rio Jequitinhonha	0,680	Não	<u>0,001</u>	0,425			Elevação
VIR40-LE	Rio Jequitinhonha	0,596	Não	<u>&lt; 0,0001</u>	0,558			Elevação
VIR50-LE	Rio Itacambiruçu	0,068	Não	<u>0,004</u>	0,373			Elevação
VIR60-LE	Rio Jequitinhonha	0,253	Não	<u>0,003</u>	0,384			Elevação

<sup>1</sup>p-valor relacionado à estatística do teste. Valores sublinhados e em itálico são estatisticamente significativos (p<0,05)

# APÊNDICE VI

Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, em cada estação de monitoramento e para todos os anos que tiveram frequência trimestral, e para cada período do ano (seco e chuvoso)

Tabela AVI.1 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR03-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv*</i>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	43	4	7	0,12	36,36	16,28	10,42	76,22
2011	11	43	3	6	0,05	27,27	13,95	4,62	82,11
2012	11	44	2	5	0,14	18,18	11,36	12,33	85,72
2014	11	43	1	2	0,03	9,09	4,65	2,71	93,90
2015	11	42	1	2	0,01	9,09	4,76	1,25	94,03
2016	11	43	2	5	0,12	18,18	11,63	10,78	86,07
2018	11	44	5	8	0,24	45,45	18,18	19,27	69,62

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.2 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR06-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv*</i>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	42	4	6	0,16	36,36	14,29	14,15	76,01
2011	11	43	3	8	0,24	27,27	18,60	19,61	77,83
2012	11	44	2	4	0,10	18,18	9,09	9,05	87,15
2014	11	44	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2016	11	43	3	5	0,15	27,27	11,63	13,24	81,25
2018	11	44	3	6	0,10	27,27	13,64	8,96	81,65

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.3 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR08-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv*</i>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	43	5	8	0,63	45,45	18,60	38,59	63,94
2011	11	43	7	10	0,20	63,64	23,26	16,48	59,74
2012	11	44	2	5	0,21	18,18	11,36	17,04	84,19
2014	11	43	1	1	0,04	9,09	2,33	3,66	94,18
2016	11	43	4	8	0,42	36,36	18,60	29,73	70,83
2018	11	43	3	6	0,54	27,27	13,95	35,14	73,08

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.4 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR09-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv*</i>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	40	4	10	0,24	36,36	25,00	19,30	72,19
2011	11	43	7	3	0,01	63,64	6,98	1,23	63,03
2012	11	42	2	2	0,01	18,18	4,76	0,80	89,14
2014	11	44	2	3	0,03	18,18	6,82	3,37	88,62
2016	11	42	3	6	0,58	27,27	14,29	36,70	72,34
2018	11	44	2	5	0,11	18,18	11,36	10,19	86,29

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.5 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR10-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv*</i>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	42	4	8	0,45	36,36	19,05	31,26	70,21
2011	11	44	4	6	0,06	36,36	13,64	5,67	77,34
2012	11	43	4	7	0,06	36,36	16,28	5,85	76,75
2014	11	44	3	3	0,03	27,27	6,82	2,82	83,69
2016	11	43	1	4	0,14	9,09	9,30	12,48	89,59
2018	11	44	2	7	0,21	18,18	15,91	17,27	82,86

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.6 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR11-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv*</i>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	42	5	9	0,25	45,45	21,43	20,09	68,75
2011	11	44	3	6	0,05	27,27	13,64	5,19	82,14
2012	11	44	4	8	0,25	36,36	18,18	20,08	73,82
2014	11	43	3	3	0,14	27,27	6,98	12,42	82,24
2016	11	43	4	6	0,29	36,36	13,95	22,44	74,05
2018	11	43	3	6	0,31	27,27	13,95	23,54	77,69

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.7 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR70-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv*</i>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	43	5	13	0,53	45,45	30,23	34,58	62,69
2011	11	42	3	7	0,06	27,27	16,67	5,76	81,25
2012	11	42	5	9	0,09	45,45	21,43	8,37	70,59
2014	11	44	5	7	0,06	45,45	15,91	5,48	72,02
2016	11	43	3	6	0,17	27,27	13,95	14,47	80,44

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.8 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR95-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv*</i>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	42	4	8	0,34	36,36	19,05	25,59	72,07
2011	11	44	2	3	0,03	18,18	6,82	2,63	88,69
2012	11	44	5	8	0,34	45,45	18,18	25,37	68,16
2014	11	44	2	2	0,01	18,18	4,55	0,80	89,17
2015	11	42	5	7	0,29	45,45	16,67	22,34	69,21
2016	11	42	5	10	0,64	45,45	23,81	38,94	62,81
2018	11	44	3	5	0,08	27,27	11,36	7,54	82,39

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.9 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR115-LO, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv*</i>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	42	6	15	0,78	54,55	35,71	43,71	54,68
2011	11	44	3	4	0,03	27,27	9,09	2,84	83,32
2012	11	44	3	5	0,07	27,27	11,36	6,43	82,54
2016	11	43	3	6	0,43	27,27	13,95	29,93	75,27

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.10 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR20-LE, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	snv*	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	44	3	6	1,64	27,27	13,64	62,12	60,04
2011	11	37	2	4	0,05	18,18	10,81	4,93	87,46
2012	11	40	3	5	0,18	27,27	12,50	14,92	80,65
2014	11	44	3	3	0,02	27,27	6,82	1,92	83,73
2015	11	43	3	4	0,14	27,27	9,30	12,04	81,97
2016	11	43	2	5	0,38	18,18	11,63	27,61	79,77
2018	11	42	3	6	0,18	27,27	14,29	14,96	80,24

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.11 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR30-LE, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	snv*	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	44	3	4	0,76	27,27	9,09	43,16	70,06
2011	11	38	2	5	0,07	18,18	13,16	6,83	86,45
2012	11	40	3	4	0,10	27,27	10,00	9,47	82,36
2014	11	42	3	3	0,02	27,27	7,14	2,10	83,68
2015	11	43	1	1	0,00	9,09	2,33	0,08	94,58
2016	11	42	1	3	0,05	9,09	7,14	5,05	92,72
2018	11	43	2	6	0,04	18,18	13,95	3,65	86,60

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.12 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR40-LE, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	snv*	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	43	2	2	0,82	18,18	4,65	45,16	71,76
2011	11	37	1	2	0,02	9,09	5,41	2,35	93,74
2012	11	40	1	4	0,07	9,09	10,00	6,45	91,35
2014	11	43	1	1	0,00	9,09	2,33	0,13	94,58
2015	11	43	1	4	0,07	9,09	9,30	6,86	91,51
2016	11	43	2	3	0,07	18,18	6,98	6,11	88,22
2018	11	44	2	4	0,04	18,18	9,09	4,06	88,03

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.13 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR50-LE, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	snv*	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	43	5	6	0,15	45,45	13,95	13,22	71,51
2011	11	37	2	4	0,07	18,18	10,81	6,79	87,17
2012	11	40	1	6	0,18	9,09	15,00	15,15	86,62
2014	11	43	3	3	0,02	27,27	6,98	2,36	83,69
2015	11	42	2	4	0,04	18,18	9,52	4,23	87,90
2016	11	43	1	3	0,13	9,09	6,98	11,46	90,64
2018	11	44	2	4	0,02	18,18	9,09	1,96	88,21

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.14 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR60-LE, para todos os anos que tiveram frequência trimestral

Ano	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	snv*	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
2009	11	44	2	3	0,80	18,18	6,82	44,55	71,94
2011	11	38	1	3	0,02	9,09	7,89	1,60	92,99
2012	11	37	1	4	0,12	9,09	10,81	10,89	89,70
2014	11	43	2	3	0,02	18,18	6,98	1,94	88,70
2015	11	40	1	1	0,01	9,09	2,50	1,32	94,50
2016	11	43	1	3	0,11	9,09	6,98	10,29	91,11
2018	11	44	1	2	0,01	9,09	4,55	1,12	94,10

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.15 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR03-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	snv*	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	109	6	17	0,18	54,55	15,60	15,08	66,11
Seco	11	108	1	5	0,04	9,09	4,63	3,64	93,75

\* soma normalizada das variações



Tabela AVI.16 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR06-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv</i> *	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	108	5	23	0,33	45,45	21,30	24,85	67,66
Seco	11	108	1	5	0,01	9,09	4,63	1,42	94,05

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.17 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR08-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv</i> *	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	108	6	20	0,29	54,55	18,52	22,64	64,27
Seco	11	108	4	16	0,47	36,36	14,81	31,80	70,83

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.18 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR09-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv</i> *	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	107	7	18	0,42	63,64	16,82	29,39	58,38
Seco	11	105	4	11	0,14	36,36	10,48	12,66	76,96

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.19 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR10-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv</i> *	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	109	6	18	0,40	54,55	16,51	28,57	63,19
Seco	11	108	4	10	0,05	36,36	9,26	5,16	78,13

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.20 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR11-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv</i> *	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	107	6	17	0,25	54,55	15,89	19,78	65,27
Seco	11	108	4	8	0,09	36,36	7,41	8,04	78,08

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.21 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR70-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv</i> *	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	86	7	18	0,31	63,64	20,93	23,60	58,99
Seco	11	107	5	15	0,16	45,45	14,02	13,63	71,43

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.22 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR95-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv</i> *	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	109	6	19	0,68	54,55	17,43	40,46	59,52
Seco	11	109	6	11	0,18	54,55	10,09	14,94	66,83

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.23 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR115-LO, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv</i> *	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	87	6	12	0,20	54,55	13,79	16,71	66,11
Seco	11	87	5	9	0,30	45,45	10,34	23,04	69,98

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.24 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR20-LE, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv</i> *	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	103	5	13	0,10	45,45	12,62	8,74	72,30
Seco	11	106	4	9	0,22	36,36	8,49	18,03	76,06

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.25 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR30-LE, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv</i> *	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	104	5	9	0,07	45,45	8,65	6,43	73,03
Seco	11	104	4	8	0,34	36,36	7,69	25,54	73,96

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.26 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR40-LE, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv</i> *	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	103	2	4	0,01	18,18	3,88	1,11	89,25
Seco	11	105	2	6	0,34	18,18	5,71	25,39	81,67

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.27 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR50-LE, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv</i> *	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	104	4	10	0,14	36,36	9,62	12,18	77,17
Seco	11	104	2	5	0,06	18,18	4,81	5,49	88,69

\* soma normalizada das variações

Tabela AVI.28 – Etapas e valores finais do ICE aplicado ao banco de dados da UHE Irapé, relativos à estação de monitoramento VIR60-LE, para os períodos seco e chuvoso dos anos em estudo

Período	n de parâmetros analisados	n de testes	n de parâmetros desconformes	n de testes desconformes	<i>snv</i> *	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	ICE
Chuvoso	11	104	3	4	0,04	27,27	3,85	3,71	83,95
Seco	11	105	2	6	0,35	18,18	5,71	25,73	81,51

\* soma normalizada das variações

# APÊNDICE VII

Áreas de influência (AI) das estações de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e seus principais tributários

Figura AVII.1 – Áreas de influência (AI) das estações de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e seus principais tributários

---

Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

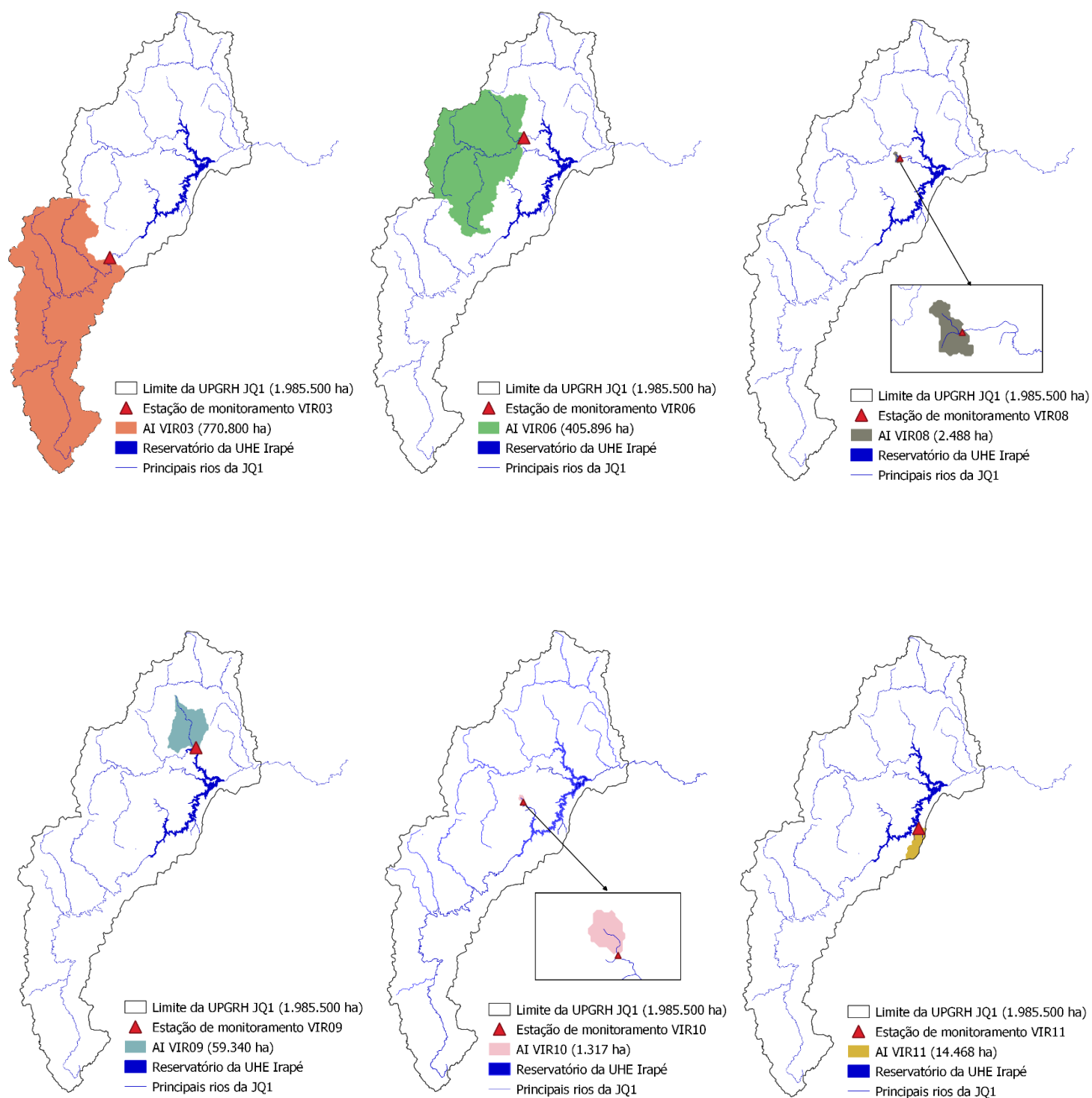


Figura AVII.1 – Áreas de influência (AI) das estações de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e seus principais tributários (cont.)

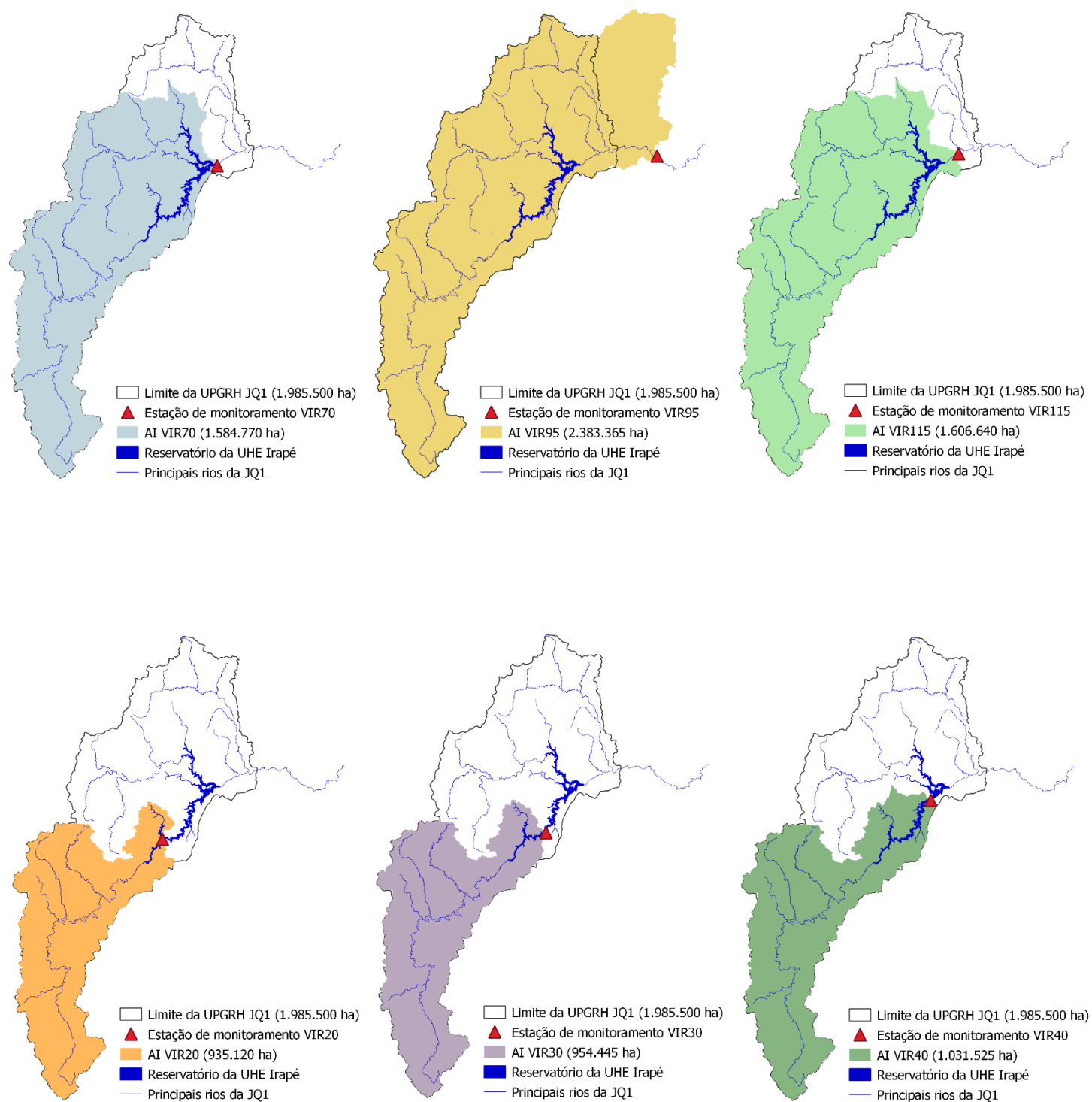
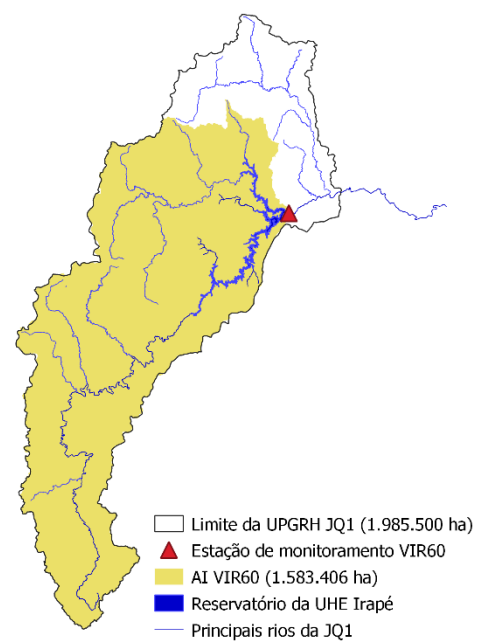
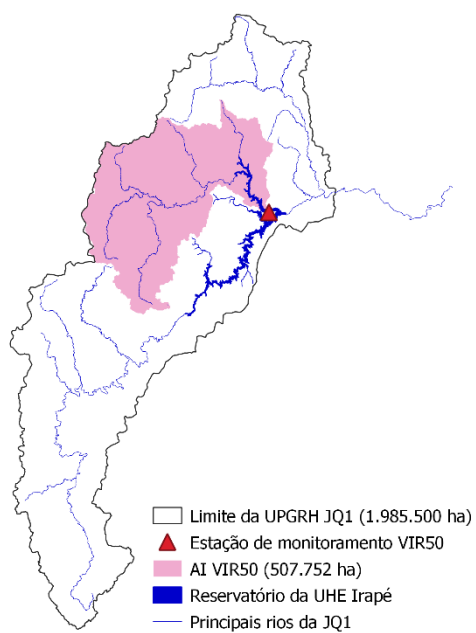


Figura AVII.1 – Áreas de influência (AI) das estações de monitoramento do reservatório da UHE Irapé e seus principais tributários (cont.)





# APÊNDICE VIII

Contabilização da área das classes de solo identificadas no presente estudo, em hectare, para cada área de influência das estações de monitoramento

Tabela AVIII.1 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR03-LO (área total = 770800 ), em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	367750,89	42228,50	318114,32	165,03	40927,59	196,08	1412,64
2009	346484,37	65561,11	353907,37	485,38	3561,94	88,23	710,59
2010	320323,76	69005,41	376450,13	492,16	3521,84	98,03	907,68
2011	314856,87	71257,03	379339,48	496,46	3549,71	139,17	1164,33
2012	347981,50	74027,48	343103,55	513,34	3493,35	317,06	1359,16
2013	336416,61	75107,83	353483,23	580,89	3464,30	439,63	1307,90
2014	307873,37	75934,30	380883,08	591,21	3431,84	400,53	1683,38
2015	301759,71	76847,41	386032,48	616,50	3543,74	426,04	1572,61
2016	314949,09	76871,74	372717,22	657,28	3613,53	361,29	1629,06
2017	353714,16	63690,18	310783,68	28,84	40573,46	415,38	1587,65
2018	329482,31	77789,63	357169,64	718,83	3552,00	363,40	1727,00

Tabela AVIII.2 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR06-LO (área total = 405896 ha), em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	205818,36	16812,25	182100,13	51,09	340,30	0,00	773,70
2009	172707,11	29930,39	202952,06	76,55	0,00	0,00	231,00
2010	175173,06	32492,84	198025,81	79,96	0,00	0,00	124,89
2011	182972,19	34013,93	188624,98	77,60	0,00	0,00	205,24
2012	175785,62	35223,44	194679,14	78,23	0,00	0,00	130,75
2013	189793,66	36148,11	179650,84	82,36	0,00	0,00	224,07
2014	185020,41	36599,06	184038,70	82,07	0,00	0,00	155,62
2015	177016,45	37289,63	191382,79	80,87	0,00	0,00	122,20
2016	185317,70	37321,66	182952,97	86,72	0,00	0,00	215,90
2017	183807,78	26674,49	194603,83	71,52	344,79	0,00	393,18
2018	191364,09	38078,48	176129,74	101,30	0,00	0,00	222,94

Tabela AVIII.3 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR08-LO (área total = 2488 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	1463,45	0,00	1022,96	0,00	0,00	0,00	0,84
2009	1190,47	112,65	1184,38	0,00	0,00	0,00	0,00
2010	1223,65	112,41	1151,29	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	1366,20	112,26	1009,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	1260,32	112,97	1115,13	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	1417,88	112,51	956,77	0,00	0,00	0,00	0,59
2014	1347,82	112,86	1026,59	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	1455,71	112,54	919,16	0,00	0,00	0,00	0,00
2016	1347,49	113,22	1025,85	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	1442,91	0,00	1044,56	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	1412,30	113,13	962,05	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela AVIII.4 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR09-LO (área total = 59340 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	45820,87	185,98	13178,32	0,63	0,00	0,00	155,55
2009	41274,62	1421,81	16135,96	506,51	0,00	0,00	0,00
2010	42676,88	1423,48	15141,29	11,89	0,00	0,00	83,77
2011	44501,95	1532,04	13158,13	8,19	0,00	0,00	138,02
2012	42989,63	1633,58	14638,09	4,95	0,00	0,00	71,94
2013	45572,20	1682,63	12034,45	0,93	0,00	0,00	48,36
2014	45392,47	1709,24	12167,80	0,93	0,00	0,00	69,77
2015	45772,66	1710,58	11852,42	0,93	0,00	0,00	3,62
2016	42156,35	1711,65	15455,77	5,44	0,00	0,00	8,63
2017	40510,28	813,22	17983,42	20,40	0,00	0,00	12,18
2018	43847,43	1723,11	13721,98	17,08	0,00	0,00	28,13

Tabela AVIII.5 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR10-LO (área total = 1317 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	857,90	0,00	452,71	0,00	0,00	0,00	6,79
2009	779,05	0,00	537,53	0,00	0,00	0,00	0,00
2010	820,57	0,00	496,29	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	813,62	0,00	502,84	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	935,58	0,00	380,70	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	909,01	0,00	407,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	804,70	0,00	511,68	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	880,24	0,00	436,49	0,00	0,00	0,00	0,00
2016	885,17	0,00	431,36	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	839,47	0,00	477,64	0,00	0,00	0,00	0,79
2018	870,70	0,00	444,72	0,00	0,00	0,00	0,50

Tabela AVIII.6 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR11-LO (área total = 14468 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	857,90	0,00	452,71	0,00	0,00	0,00	6,79
2009	779,05	0,00	537,53	0,00	0,00	0,00	0,00
2010	820,57	0,00	496,29	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	813,62	0,83	502,84	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	935,58	0,49	380,70	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	909,01	0,44	407,75	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	804,70	0,44	511,68	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	880,24	0,44	436,49	0,00	0,00	0,00	0,00
2016	885,17	0,44	431,36	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	839,47	0,00	477,64	0,00	0,00	0,00	0,79
2018	870,70	0,44	444,72	0,00	0,00	0,00	0,50

Tabela AVIII.7 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR70-LO (área total = 1584770 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	861634,17	75118,63	588574,93	633,34	43930,02	196,08	14680,70
2009	790336,01	128004,71	650333,69	720,48	3561,94	88,23	11726,39
2010	764732,30	134328,86	669832,73	733,78	3521,84	98,03	11521,91
2011	764334,21	139580,42	663881,00	723,48	3549,71	139,17	12563,19
2012	786777,40	146826,11	634441,49	754,50	3493,36	318,45	12153,37
2013	790648,36	150990,35	626942,78	824,55	3464,30	441,30	11458,22
2014	748096,01	152959,93	665304,73	844,03	3431,84	402,31	12364,40
2015	731603,16	155163,94	683510,89	875,43	3543,74	427,15	9641,70
2016	766115,89	155264,05	648041,58	931,30	3613,53	362,48	10438,32
2017	795873,55	121986,22	611578,92	917,01	43601,43	417,33	10389,01
2018	789044,04	157363,80	622203,35	1037,65	3552,01	364,01	11204,33

Tabela AVIII.8 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR95-LO (área total = 2383365 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	1346568,44	106490,69	867018,47	1966,68	43948,32	196,55	17168,04
2009	1194716,79	201323,67	965395,48	1642,89	5983,30	88,23	14215,08
2010	1186583,47	208557,91	966876,99	1680,58	5725,63	98,03	13842,99
2011	1207497,88	214793,40	938480,78	1708,98	5798,96	139,47	14945,98
2012	1203088,55	223719,29	934462,15	1751,29	5574,21	319,61	14441,62
2013	1160473,12	230018,16	971278,20	1858,07	5647,50	441,94	13648,36
2014	1140192,61	233027,15	987565,01	1933,40	5482,67	403,62	14760,30
2015	1107158,01	236527,73	1020017,48	2023,99	5437,63	428,10	11767,01
2016	1145260,99	236803,94	978084,97	2112,99	5562,89	363,58	15176,40
2017	1235403,85	173165,65	916085,25	2201,42	43621,20	417,83	12463,32
2018	1172362,12	241417,18	947762,36	2390,41	5827,96	364,80	13242,89

Tabela AVIII.9 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR115-LO (área total = 1606640 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	877263,86	75608,91	594217,92	634,06	43930,02	196,08	14788,19
2009	803191,68	129923,71	657360,36	721,78	3561,94	88,23	11793,72
2010	778532,64	136267,23	626624,18	50021,95	3521,84	98,03	11574,39
2011	779201,31	141677,69	668736,07	725,31	3549,71	139,17	12612,95
2012	799895,21	149429,13	640541,94	756,35	3493,36	318,45	12200,91
2013	800764,97	153636,49	636004,42	825,68	3464,30	441,30	11502,52
2014	760674,17	155837,97	672931,39	846,94	3431,84	402,31	12509,74
2015	741888,88	157845,41	692340,25	875,91	3543,74	427,15	9715,18
2016	778412,48	157942,92	654654,13	931,98	3613,53	362,48	10720,89
2017	809464,03	124421,98	617327,39	917,01	43601,43	417,33	10486,90
2018	801501,59	160056,62	628833,76	1038,96	3552,01	364,01	11293,67

Tabela AVIII.10 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR20-LE (área total = 935120 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	469023,95	49107,04	369613,77	412,94	43573,64	196,08	3190,63
2009	449625,95	74910,39	404983,61	504,92	3561,94	88,23	1444,48
2010	419495,12	78546,94	431314,36	511,91	3521,84	98,03	1632,15
2011	409251,09	81183,30	438268,53	515,14	3549,71	139,17	2217,58
2012	445544,88	85380,42	397447,05	532,65	3493,35	318,45	2401,01
2013	436099,64	87569,15	404934,42	602,05	3464,30	441,30	2009,45
2014	397629,15	88893,67	441322,64	616,45	3431,84	402,31	2820,99
2015	390507,00	90020,50	447750,54	644,83	3543,74	427,15	2225,17
2016	411556,31	90065,44	426429,40	684,21	3613,53	362,48	2406,61
2017	446746,72	75143,93	366528,15	649,42	43238,57	417,33	2390,24
2018	426590,00	91170,16	410056,34	750,31	3552,00	364,01	2638,20

Tabela AVIII.11 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR30-LE (área total = 954445 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	482793,73	51808,78	371499,07	412,94	43586,99	196,08	4146,60
2009	463320,30	79266,42	405504,10	504,92	3561,94	88,23	2200,14
2010	433165,26	82905,54	431841,07	511,91	3521,84	98,03	2405,10
2011	421306,07	85564,99	440334,41	515,14	3549,71	139,17	3041,90
2012	458220,69	90270,77	398404,92	532,65	3493,35	318,45	3203,67
2013	448682,92	92618,42	405908,91	602,05	3464,30	441,30	2729,61
2014	410069,03	94002,80	442244,67	616,45	3431,84	402,31	3676,17
2015	402668,42	95169,70	449168,40	644,83	3543,74	427,15	2823,84
2016	424196,88	95226,55	427326,85	684,21	3613,53	362,48	3033,94
2017	458602,35	79675,64	368843,73	649,42	43252,38	417,33	2999,83
2018	438920,92	96384,36	411122,04	750,31	3552,00	364,01	3354,34

Tabela AVIII.12 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR40-LE (área total = 1031525 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	543609,51	54284,72	381820,83	422,20	43589,55	196,08	7599,50
2009	519407,14	86816,17	415682,75	526,14	3561,94	88,23	5442,53
2010	488073,06	90565,07	443192,59	532,26	3521,84	98,03	5544,78
2011	475739,97	94036,88	451272,16	527,69	3549,71	139,17	6263,49
2012	511726,61	99549,96	409577,34	544,94	3493,35	318,45	6309,61
2013	498967,02	102487,00	419908,74	610,36	3460,65	440,04	5689,93
2014	460993,77	104177,37	455170,17	636,97	3431,84	402,31	6708,79
2015	451578,78	105459,54	464685,30	665,85	3543,74	427,15	5162,79
2016	478279,64	105528,10	437425,70	705,40	3613,53	362,48	5607,91
2017	511154,96	87268,05	383333,62	653,52	43256,44	417,33	5437,52
2018	492655,93	106836,47	421267,22	772,44	3552,00	364,01	6078,64

Tabela AVIII.13 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR50-LE (área total = 507752 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	284183,84	19211,79	200952,48	97,31	340,30	0,00	2966,34
2009	241304,40	37054,09	226943,27	135,50	0,00	0,00	2315,69
2010	246576,18	39624,97	219323,90	141,32	0,00	0,00	2084,28
2011	257016,53	41396,46	206879,23	135,04	0,00	0,00	2322,17
2012	246319,45	42866,89	216415,12	140,15	0,00	0,00	2009,53
2013	262866,18	43956,04	198774,17	138,28	0,00	0,00	2019,06
2014	258924,05	44452,95	202213,46	136,95	0,00	0,00	2022,96
2015	250550,72	45148,84	210510,52	137,58	0,00	0,00	1400,69
2016	256552,94	45178,22	204301,79	152,90	0,00	0,00	1563,86
2017	253637,94	31511,51	220415,72	157,12	344,79	0,00	1684,80
2018	264972,25	45959,82	194913,68	185,53	0,00	0,00	1720,52

Tabela AVIII.14 – Área ocupada pelas classes de uso do solo identificadas na área de influência da estação de monitoramento VIR60-LE (área total = 1583406 ha) , em cada ano da série histórica selecionada

Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Mineração	Água
2008	860485,71	75118,63	588465,10	632,64	43930,02	196,08	14578,17
2009	789281,45	128004,71	650111,74	718,70	3561,94	88,23	11643,60
2010	763618,28	134328,86	669670,51	731,87	3521,84	98,03	11439,63
2011	763207,09	139569,92	663741,25	721,98	3549,71	139,17	12481,06
2012	785984,80	146633,68	634149,95	753,01	3493,36	318,45	12070,55
2013	789858,59	150786,58	626656,30	822,72	3464,30	441,30	11378,93
2014	748096,01	152959,93	665304,73	844,03	3431,84	402,31	12364,40
2015	730746,13	154959,08	683289,06	873,86	3543,74	427,15	9565,66
2016	765134,62	155058,87	647956,24	931,30	3613,53	362,48	10349,21
2017	794892,21	121783,51	611499,40	917,01	43601,43	417,33	10291,57
2018	788084,48	157158,04	622097,90	1037,65	3552,01	364,01	11113,79



