

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA
DOS RIOS PARAÍBA DO SUL E DO ITABAPOANA ENTRE 2012 E 2019**

ADOLFO OLIVEIRA CRAVINHO

MACAÉ - RJ
2022

ADOLFO OLIVEIRA CRAVINHO

**ANÁLISE ESTATÍSTICA DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA
DOS RIOS PARAÍBA DO SUL E DO ITABAPOANA ENTRE 2012 E 2019**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador: DSc. Thiago Moreira de Rezende Araújo

Coorientador: DSc. Vicente de Paulo Santos de Oliveira

MACAÉ - RJ
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C898a Cravinho, Adolfo Oliveira, 1990-.
Análise estatística de parâmetros de qualidade de água dos Rios Paraíba do Sul e do Itabapoana entre 2012 e 2019 / Adolfo Oliveira Cravinho. — Campos dos Goytacazes, RJ, 2022.
xiii, 31 f.: il. color.

Orientador: Thiago Moreira de Rezende Araújo, 1981-.
Coorientador: Vicente de Paulo Santos de Oliveira, 1965-.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Campos dos Goytacazes, RJ, 2022.
Inclui referências.
Área de concentração: Sustentabilidade Regional.
Linha de Pesquisa: Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

1. Água – Qualidade - Paraíba do Sul, Rio, Bacia. 2. Água – Qualidade - Itabapoana, Rio, Bacia. 3. Desenvolvimento de Recursos hídricos. 4. Água - Análise. 5. Gestão ambiental – Brasil - indicadores. I. Araújo, Thiago Moreira de Rezende, 1981-, orient. II. Oliveira, Vicente de Paulo Santos de, 1965-, coorient. III. Título.

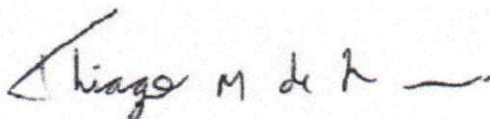
CDD 628.16

(23. ed.)

Dissertação intitulada **ANÁLISE ESTATÍSTICA DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA DOS RIOS PARAÍBA DO SUL E DO ITABAPOANA ENTRE 2012 E 2019**, elaborada por **Adolfo Oliveira Cravinho** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Aprovada em: 24/08/2022

Banca Examinadora:



Thiago Moreira de Rezende Araújo
Doutor em Ciências Naturais / Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF)
Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador

Documento assinado digitalmente

gov.br

VICENTE DE PAULO SANTOS DE OLIVEIRA

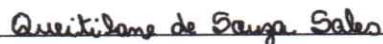
Data: 19/09/2022 21:38:06-0300

Verifique em <https://verificador.itl.br>

Vicente de Paulo Santos de Oliveira
Doutor em Engenharia Agrícola / Universidade Federal de Viçosa (UFV)
Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)



Luis Felipe Umbelino dos Santos
Doutor em Ecologia / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)



Queitilane de Souza Sales
Doutora em Ciências Naturais / Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF)
Fundação Centro de Ciências e Educação Superior à Distância do Estado do Rio de Janeiro
(CECIERJ)

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Alcione e Margarida, e à minha esposa
Samara pelo apoio e incentivo.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, pelas bênçãos e graças concedidas até aqui.

Ao Instituto Federal Fluminense, pela minha formação e pelos conhecimentos adquiridos ao longo desse tempo.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense – IFFluminense, pela disseminação do conhecimento e conselhos.

Ao meu orientador Thiago Moreira de Rezende Araújo por contribuir de forma relevante, tornando a realização deste trabalho possível.

Ao meu coorientador Vicente de Paulo Santos de Oliveira pelos ensinamentos e colaboração. Aos companheiros de curso, pela amizade, atenção, fidalguia e paciência demonstrados.

Aos amigos, Arthur e Barão pelo companheirismo, pelo saber compartilhado, pelos momentos divertidos que compartilhamos juntos, e por toda ajuda durante o mestrado.

À amiga Thayná, pela colaboração, pela motivação durante momentos árduos das jornadas de ida e vinda e por ser tão solícita.

Aos amigos, André e Patrícia, pelo amparo indispensável.

À minha esposa Samara pelo amor, apoio, confiança e motivação incondicional, por ter sido tão presente em todos os momentos que precisei. Obrigada por ter me ajudado a chegar até aqui.

Aos meus pais pelo amor, educação, incentivo e apoio irrestrito.

Por fim àqueles que de certa forma contribuíram para realização desse trabalho.

Muito obrigado!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

LISTA DE FIGURAS**ARTIGO 2**

Figura 1. Estações de Monitoramento da Região Hidrográfica IX (INEA, 2020).....	18
---	----

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1. Espaço amostral (n), valor médio, estimativa do desvio padrão (s), variação, porcentagem de amostras em conformidade com a legislação e seus limites para cada parâmetro avaliado no período de 2014 a 2019 em um ponto de monitoramento mantido pelo INEA no rio Itabapoana.....	08
Tabela 2. Médias, espaço amostral (n) e estimativas do desvio padrão (s) para cada parâmetro avaliado nos biênios 2014/15 e 2018/19, precipitação na região da nascente do rio nos diferentes períodos e o p-valor para o teste de ANOVA realizado.....	10

ARTIGO 2

Tabela 1. Espaço amostral total (n), valor médio, estimativa do desvio padrão (s), variação, porcentagem de amostras em desconformidade com a legislação e seus limites para cada parâmetro avaliado no período de 2012 a 2019 em todos os quatro pontos de monitoramento mantidos pelo INEA na calha principal do rio Paraíba do Sul na região hidrográfica IX.....	19
Tabela 2. Médias (\bar{X}) e estimativas do desvio padrão (s), considerando-se todos os quatro pontos amostrais, dos parâmetros avaliados pelo INEA no baixo Paraíba do Sul entre os anos de 2012 e 2019, p-valor para os testes de ANOVA realizados e os resultados obtidos no teste de média de TUKEY ao nível de significância de 0,01.....	23
Tabela 3. Médias (\bar{X}) e estimativas do desvio padrão (s), entre os anos de 2012 e 2019, dos parâmetros avaliados pelo INEA no baixo Paraíba do Sul em quatro pontos amostrais, p-valor para os testes de ANOVA realizados e os resultados obtidos no teste de média de TUKEY ao nível de significância de 0,01.....	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BJI – Bom Jesus do Itabapoana
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DIMAM - Diretoria de Informação e Monitoramento Ambiental
ES – Espírito Santo
GEAG - Gerência de Qualidade de Água
GELAB - Gerência de Laboratórios
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IET – Índice de Estado Trófico
IFFluminense – Instituto Federal Fluminense
IGAM - Instituto Mineiro de Gestão da Águas
INEA – Instituto Estadual do Ambiente
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
IQA – Índice de Qualidade da Água
LabFoz – Laboratório de Análise e Monitoramento das Águas
MG – Minas Gerais
MS – Mato Grosso do Sul
NMP – Número mais provável
 NO_3^- – Nitrato
OD – Oxigênio Dissolvido
PPEA – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
PCHs – Pequenas Centrais Hidroelétricas
pH – Potencial Hidrogeniônico
PNUD – Programa das Ações Unidas para o Desenvolvimento
RH – Região Hidrográfica
RJ – Rio de Janeiro
RS – Rio Grande do Sul
SDT – Sólidos Dissolvidos Totais
SE – Sergipe
SIGABI – Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade

UHE – Usina Hidroelétrica

UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA DOS RIOS PARAÍBA DO SUL E DO ITABAPOANA ENTRE 2012 E 2019

RESUMO

A água é uma substância incolor, insípida e inodora essencial para manutenção da natureza e da vida, bem como para todos os aspectos do desenvolvimento socioeconômico. Embora fundamental, atualmente à escassez de água de qualidade em algumas regiões do planeta é uma das questões mais discutidas no cenário mundial, ocupando ainda o cerne de vários estudos científicos. Trabalhos que avaliam a qualidade da água de diferentes ambientes aquáticos naturais são essenciais para fornecer informações que possibilitem a melhoria da gestão dos corpos hídricos visando a manutenção do ecossistema e o desenvolvimento socioeconômico de forma sustentável. Para avaliar a qualidade da água utiliza-se de parâmetros indicadores, podendo-os ser biológicos, físicos ou químicos. A caracterização desses parâmetros e de índices de qualidade de água são de suma importância, pois permitem uma análise das substâncias/fatores que estão alterando a qualidade da água. Dessa forma, o objetivo desta dissertação foi analisar estatisticamente os parâmetros de qualidade de água dos rios Paraíba do Sul e do Itabapoana entre 2012 e 2019 e também verificar possíveis diferenças significativas entre os anos de amostragem e pontos de coleta. Os dados utilizados no presente trabalho foram obtidos no site do INEA no qual há boletins contendo resultados (dados brutos) de análises de parâmetros de qualidade de água e do cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQA) por Região Hidrográfica do estado. Com auxílio do Excel[®] 2013, determinou-se o valor médio, a estimativa do desvio padrão e os valores de máximo e de mínimo (variação) para cada um dos parâmetros avaliados no período de 2012 a 2019. Considerando-se os parâmetros e o período temporal analisados sobre a qualidade da água no ponto de Bom Jesus no Rio Itabapoana, verificou-se que, embora a maioria dos parâmetros estivesse de acordo com a legislação vigente, o índice de coliformes termotolerantes excedeu os limites determinados pela Resolução CONAMA 357/2005 para 100 % das amostras avaliadas. Indicando elevada contaminação da água do ponto amostral por esgoto sanitário. Ainda com relação ao rio Itabapoana, houve diferença significativa, ao nível de 5%, entre os valores médios obtidos nos biênios avaliados, apenas para o pH. Destaca-se, ainda, que, de forma geral, as médias dos parâmetros avaliados no ponto amostral em questão melhorou entre os biênios 14/15 para 18/19. Dentre os parâmetros avaliados na análise do Rio Paraíba do Sul, os coliformes termotolerantes e o fósforo total apresentaram maiores índices de desconformidade e alguns outros parâmetros diferiram entre os anos e entre os pontos amostrais. Espera-se que este trabalho possa auxiliar os gestores no desenvolvimento de ações para a conservação e o uso sustentável desses corpos hídricos.

Palavras-chave: Recursos hídricos. Parâmetros de qualidade de água. IQA. Gestão ambiental.

***STATISTICAL ANALYSIS OF WATER QUALITY PARAMETERS IN THE PARAÍBA DO SUL
AND ITABAPOANA RIVERS BETWEEN 2012 AND 2019***

ABSTRACT

Water is a colorless, tasteless and odorless substance essential for the maintenance of nature and life, as well as for all aspects of socioeconomic development. Although, some regions of world quality studies occupy even more fundamental issues in the scenario, occupying several scientific studies. Works that assess the natural quality of water from different natural environments to provide information on the possibility of improving water resources management to maintain the maintenance of water resources and sustainable socioeconomic development. To assess the water quality of the water, biological, physical or chemical parameters can be used. A characterization of these water parameters and water quality indices are of paramount importance, as they allow the analysis of substances/factors that are altering the quality of quality. In this way, the objective of this dissertation was to statistically analyze the water quality parameters of Paraíba do Sul and Itabapoana between 2012 and 2019 and also to verify possible differences in years of comparison and collection points. The data used in the present work were obtained from the INEA website, which has bulletins containing results (raw data) of monitored water quality parameters and the calculation of the State Water Quality Index (IQA) by Hydrographic Region. With the help of Excel® 2013, the standard deviation value and the average values of the maximum and minimum values were calculated for each of the parameters (reference) in the period from 2012 to 2019. Considering the parameters and the period No there is a temporal analysis of the quality of Bom Jesus in Rio de Janeiro, quantity of water limits, although most parameters are in accordance with current legislation, which determines the terms of AMA Resolution the applicable limits357/2005 for the limits 100% of the registered trademarks apply. Indicating the water from the sampling point by sanitary sewer. Still in relation to the Itabapoana river, there was a significant difference, at the level of 5%, between the values obtained in the evaluation biennia, only for pH. It is also noteworthy that, in general, the averages of the evaluation models at the sample point in question improved between the biennia 14/15 to 18/19. Among the analysis parameters of the Paraíba do Sul River, coliforms and total phosphorus showed higher indices of nonconformity and other parameters of comparison between the highest indices of nonconformity. It is hoped that this work can help managers in the development of actions for the conservation and sustainable use of these water bodies.

Keywords: *Water resources. Water quality parameters. WQI. Environmental management.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLA.....	ix
RESUMO.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	01
ARTIGO CIENTÍFICO 1: ANÁLISE ESTATÍSTICA DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA DE UM PONTO DO RIO ITABAPOANA NO PERÍODO DE 2014 A 2019	03
INTRODUÇÃO.....	03
MATERIAL E MÉTODOS.....	06
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	07
CONCLUSÃO.....	11
REFERÊNCIAS.....	12
ARTIGO CIENTÍFICO 2: ANÁLISE ESTATÍSTICA DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA NA REGIÃO DO BAIXO PARAÍBA DO SUL NO PERÍODO DE 2012 A 2019	15
INTRODUÇÃO.....	16
1. METODOLOGIA.....	17
2. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
3. CONCLUSÃO.....	25
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA DISSERTAÇÃO.....	31

APRESENTAÇÃO

O comprometimento da quantidade e qualidade da água no mundo cresce cada dia mais. O uso e ocupação do solo, bem como os processos de produção e atividades antrópicas causam prejuízos aos corpos hídricos e necessitam do diagnóstico constante como ferramenta de controle sustentável desse recurso (BUZELLI & CUNHA SANTINO, 2013).

O monitoramento da qualidade da água é uma ferramenta extremamente necessária quando se fala dos recursos hídricos, sendo útil não apenas para inferir dados a respeito dos impactos provenientes da poluição, mas, também, para que ocorra uma gestão adequada dos recursos hídricos, visando sua proteção e preservação.

No Brasil, a Resolução CONAMA 357/2005 é a que define o monitoramento como a verificação de parâmetros da qualidade e quantidade da água, que poderá ser feita de maneira contínua ou periodizada, para acompanhar o processo de condição da qualidade do corpo d'água. Entretanto, no país, provavelmente devido ao seu tamanho geográfico, há lacunas no tocante ao monitoramento, com ausência de dados pela falta de avaliação desses parâmetros, dificultando então a gestão sustentável nessas áreas (PALMA, 2016).

O monitoramento da água pode ser realizado através da determinação isolada de parâmetros físico, químicos e biológicos, como DBO, DQO, OD, cloreto, fluoreto, nitrato, nitrito, entre outros, entretanto, a possibilidade de serem utilizados índices para a avaliação permite que haja ajustes nos pesos e na escolha dos parâmetros para uma melhor adaptação à realidade regional (GLÓRIA, HORN, HILGEMANN, 2017). Outra vantagem é a possibilidade de reduzir diversos números de análises em um só, tornando as informações resumidas, evitando relatórios muito complexos e ainda assim, com dados ricos sobre a qualidade da água (MARQUES *et al.*, 2020).

O rio Itabapoana nasce na serra do Caparaó – Minas Gerais (MG), com o nome de rio Preto, passando para Itabapoana após a foz do rio Verde, um de seus afluentes. Da confluência com o ribeirão das Onças, até a sua foz no Oceano Atlântico, o Itabapoana separa os estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo (ES) e por atravessar três estados é de domínio federal. Em relação ao esgotamento da sua bacia hidrográfica, segundo o Atlas Esgoto: Despoluição de Bacias Hidrográficas, do total de 18 municípios, apenas 3 indicam possuir tratamento de efluentes (ANA, 2017). Provavelmente, esses índices levam aos elevados valores divulgados pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA-RJ) para a análise de coliformes termotolerantes no rio Itabapoana em um ponto localizado em Bom Jesus do

Itabapoana-RJ e, ainda, aos baixos valores encontrados para o IQA no mesmo ponto entre os anos de 2014 a 2019 (INEA, 2020).

Nesse sentido, o presente estudo teve como principal objetivo fazer uma análise estatística de parâmetros de qualidade de água dos rios Paraíba do Sul e do Itabapoana entre 2012 e 2019. Como produto da dissertação foram obtidos dois (02) artigos científicos.

O primeiro artigo (Artigo Científico 1) foi intitulado “**Análise Estatística de Parâmetros de Qualidade de Água de um Ponto do Rio Itabapoana no Período de 2014 a 2019**”. O artigo se encontra formatado de acordo com as normas do evento no qual ele foi apresentado. Nele foram analisados estatisticamente parâmetros de qualidade da água, disponibilizados pelo INEA, de um ponto do rio Itabapoana entre os anos de 2014 e 2019, visando avaliar se os valores obtidos estavam em acordo com a legislação vigente e, também, verificar se houve diferença significativa entre os resultados obtidos nos biênios 2014/15 e 2018/19. Os resultados mostraram que para a maioria dos parâmetros de qualidade de água contemplados no trabalho não foi observada diferença significativa, ao nível de 5%, entre os valores médios obtidos nos biênios avaliados, apenas para o pH houve diferença. O índice de coliformes termotolerantes excede os limites determinados pela Resolução CONAMA 357/2005, porém para maioria dos parâmetros, considerando a qualidade da água, a média melhorou de 14/15 para 18/19.

O segundo artigo (Artigo Científico 2) teve como título “**Análise Estatística de Parâmetros de Qualidade de Água na Região do Baixo Paraíba no Sul no Período de 2012 a 2019**”. Neste artigo foram analisados estatisticamente parâmetros de qualidade da água, disponibilizados pelo Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA), da região do baixo Paraíba do Sul no período de 2012 a 2019, visando avaliar se os valores obtidos estavam em acordo com a CONAMA 357/2005 e também verificar possíveis diferenças significativas entre os anos de amostragem e pontos de coleta. Dentre os parâmetros avaliados, os coliformes termotolerantes (CT) e o fósforo total (PT) apresentaram maiores índices de desconformidade, 54 % e 12 %, respectivamente. CT, NO_3^- , pH, temperatura e o IQA diferiram entre os anos e NO_3^- , OD, pH, temperatura e o IQA diferiram entre os pontos amostrais. Foi observado que, de forma geral, CT e o IQA melhoraram entre os anos avaliados e que o ponto 3 (Localizado em São Fidelis) foi o que apresentou o menor valor médio de IQA e maior média de CT. Após a defesa da dissertação pretende-se enviar o Artigo Científico 2 para publicação na Revista do Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego.



ARTIGO CIENTÍFICO 1

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA DE UM PUNTO DO RIO ITABAPOANA NO PERÍODO DE 2014 A 2019

Adolfo Oliveira Cravinho^{1,*,x}, Thayná Nunes Borges¹, Vicente de Paulo Santos de Oliveira¹ & Thiago Moreira de Rezende Araújo¹
(1IFFluminense, Rodovia Amaral Peixoto km 164, Imboassica, Macaé, Rio de Janeiro, 27932-050, Brasil; ^xAutor de correspondência: adolfocravinho@gmail.com)

INTRODUÇÃO

Água é uma substância incolor, insípida e inodora essencial para manutenção da natureza e da vida, bem como para todos os aspectos do desenvolvimento socioeconômico. Embora fundamental, atualmente é uma das questões mais discutidas devido à escassez de água de qualidade em algumas regiões do planeta. Nunca se falou tanto em consumo consciente e em preservação da água como neste século, uma questão que ocupa também o centro de vários estudos a fim de preservar a vida e propiciar o desenvolvimento econômico de forma sustentável (FAO, 2017).

Apesar da estimativa de 71% da superfície da Terra ser recoberta por água, sabe-se que aproximadamente 97,5% é salina, ou seja, inadequada ao consumo humano direto, dessedentação animal e à irrigação da plantação. Dentre 2,5% da água doce, grande parte (69%) está reservada em geleiras e calotas polares, 30% são águas subterrâneas (armazenadas em aquíferos) e menos de 1% encontra-se mais disponível em corpos de água superficiais, tais como: rios e lagos de água doce, os quais se constituem nas principais fontes de água para o consumo humano (Gleick, 1993). Logo, a quantidade de água doce superficial é pequena quando comparada com o todo, sendo assim é necessário pensar na utilização desse bem para não prejudicar seus múltiplos usos à atual e às futuras gerações (Leite *et al.*, 2019).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2010) a presença da água doce em solo brasileiro é mais abundante na região Norte (68,50%), onde existe menor densidade populacional (4,12%), enquanto que na região Sudeste este recurso é cada vez mais escasso (6,00%), visto à elevada densidade populacional (86,92%) (Leite *et al.*, 2019).

Além disso, a poluição gerada pelas atividades humanas está limitando ainda mais a quantidade de água doce superficial de qualidade. Por exemplo, a erosão do solo e o escoamento da chuva com substâncias usadas, principalmente, na agricultura e na pecuária, bem como os lançamentos de efluentes industriais e domésticos com conteúdo que alteram a qualidade da água, são algumas das ações antrópicas prejudiciais aos corpos hídricos superficiais (Merten & Minella, 2002).

A determinação da qualidade da água é assunto complexo, porque depende, em especial, dos parâmetros químicos, físicos e biológicos da água, os quais variam no tempo e no espaço. As águas condensadas das nuvens derivam da evapotranspiração, caem em forma de chuva, infiltram e fluem pelos rios e desaguam no mar, retornando ao ciclo por evapotranspiração. Dentro desse ciclo, ela interage com o ambiente alterando sua composição. Assim, os parâmetros usados para determinar a qualidade da água variam conforme região. Porém, mesmo assim, há alguns parâmetros comumente utilizados para obtenção de informações acerca da qualidade da água de um determinado corpo hídrico. Dentre eles pode-se citar: turbidez, potencial hidrogeniônico (pH),



salinidade, sólidos dissolvidos totais (SDT), condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}), oxigênio dissolvido (OD), coliformes totais, termotolerantes e *Escherichia coli* (Von Sperling, 2005, Rocha *et al.*, 2017). Além dos parâmetros de forma individual pode-se utilizar índices para a realização das avaliações. Dentre eles pode-se citar o Índice de Qualidade de Água (IQA) e o Índice do Estado Trófico (IET).

O IQA reflete a interferência por esgotos sanitários, nutrientes e sólidos. Ele é composto por nove variáveis (coliformes termotolerantes, pH, DBO_{5,20}, OD, nitrogênio total ou nitrato, fósforo total, turbidez, sólidos totais e temperatura), com seus respectivos pesos, fixados em função da sua importância para a determinação da qualidade da água. O cálculo é baseado no produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice. Assim, os resultados obtidos variam em uma escala de 0 a 100, de acordo com o estado de qualidade da água do corpo hídrico em questão. Os valores de IQA variam de 0 a 100 e o nível de qualidade da água é avaliado como excelente ($90 < IQA \leq 100$), bom ($70 < IQA \leq 90$), médio ($50 < IQA \leq 70$), ruim ($25 < IQA \leq 50$) e muito ruim ($0 < IQA \leq 25$) (Brown *et al.*, 1970; CETESB, 2009; Buzelli & Cunha Santino, 2013).

Sendo assim, muitos pesquisadores (Almeida & Schwarzbald, 2003; Rocha *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2018; Rodrigues & Lipp-Nissinen, 2018) e órgãos governamentais ligados às Secretarias Estaduais do Meio Ambiente, dentre eles, o Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA), vêm utilizando alguns desses parâmetros e/ou índices para obtenção de informações acerca da qualidade da água de diferentes corpos hídricos.

Almeida & Schwarzbald (2003), por exemplo, realizaram a avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria na cidade de Montenegro-RS com aplicação do IQA e a avaliação de diversos parâmetros. O IQA variou de 44,8 (ruim) a 72,9 (bom). Os melhores valores foram encontrados no outono, enquanto os piores no verão. Verificou-se que a elevação dos valores de sólidos totais, pH e turbidez, parâmetros afetados pela precipitação, determinaram a pior qualidade da água no verão. Com relação aos parâmetros isolados, o valor de coliformes termotolerantes chegou a 12000 UFC/100 mL e a DBO_{5,20} a 13,2 mg L⁻¹. Assim, foi evidenciado que há diferenças na qualidade da água com relação à natureza e densidade da ocupação do solo, com predomínio de despejos orgânicos domésticos e industriais, e que os valores de sólidos e turbidez estão relacionados à grande proporção de solo desprotegido e pluviosidade intensa.

Rocha *et al.* (2017), ao realizarem um diagnóstico da qualidade da água do rio Mataruna, Araruama/RJ, constataram altas concentrações de matéria orgânica, nutrientes e *E. coli*, atribuindo como a principal fonte de poluição o lançamento de esgotos domésticos. Os valores de DBO_{5,20} e *E. coli* passaram de 800 mg L⁻¹ e 60000 NMP/100 mL, respectivamente.

Santos *et al.* (2018) caracterizaram e monitoraram a qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia-SE utilizando o IQA e verificaram que os rios Aningas, Sapucaia e a Lagoa Redonda apresentam baixo grau de degradação, com menor conservação do ponto amostral localizado no Rio Sapucaia, dentro da Reserva Santa Isabel, por ser uma área bastante visitada nos finais de semana e feriados.

Rodrigues & Lipp-Nissinen (2018), ao analisarem parâmetros de qualidade do rio Gravataí no interior de Banhado Grande/MS, detectaram valores indicativos de grandes perturbações, que afetam abastecimentos público, agrícola e industrial. Os parâmetros que apresentaram resultados mais preocupantes foram nitrogênio e turbidez. O uso de fertilizantes, o manejo inadequado do sistema de cultivo de arroz pré-germinado e as estiações foram apontados como responsáveis. O estudo demonstrou a importância do monitoramento para a manutenção da qualidade ambiental em áreas protegidas. Logo, exemplos como esses corroboram a importância de estudos de



monitoramento da qualidade da água para que, caso necessário, sejam estabelecidas ações de gerenciamento, proteção ou de recuperação de um sistema hídrico.

Como mencionado, órgãos governamentais também realizam atividades de monitoramento de qualidade da água de corpos hídricos. O INEA, por exemplo, por meio de sua Gerência de Qualidade de Água (GEAG), realiza monitoramento nos diferentes corpos d'água do Estado do Rio de Janeiro através de medições em campo e coletas de amostras para análises posteriores a cargo da Gerência de Laboratórios (GELAB), no âmbito da Diretoria de Informação e Monitoramento Ambiental (DIMAM). Os resultados deste monitoramento representam dados sobre os ecossistemas aquáticos, cuja análise e interpretação são fontes de informações para tomadas de decisões e para acesso ao público. O Instituto vem realizando o monitoramento de rios, reservatórios, lagoas costeiras, baías e praias do Estado desde a década de 70 do século XX, possuindo atualmente 374 corpos hídricos monitorados por 610 estações de monitoramento (INEA, 2018).

No caso dos órgãos governamentais ligados às Secretarias Estaduais do Meio Ambiente, eles realizam essas determinações como instrumento de gestão dos recursos hídricos nos seus estados e os disponibilizam em suas páginas na internet como dados brutos e/ou relatórios, onde, muitas vezes, uma interpretação preliminar dos resultados é realizada. Porém é comum que pesquisadores (Nonato *et al.*, 2007; Buzelli & Cunha-Santino, 2013) utilizem esses dados para realizar análises adicionais as dos órgãos.

Nonato & colaboradores (2007), por exemplo, analisaram estatisticamente dados de monitoramento da qualidade da água da bacia do alto curso do Rio das Velhas-MG disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão da Águas (IGAM). Com o uso de procedimentos de estatística multivariada, especialmente a análise de componentes principais, eles chegaram, por exemplo, à conclusão que, dos 39 parâmetros analisados, apenas 22 descrevem as 4 componentes principais mais importantes, explicando 80% da variabilidade dos dados. Entre os principais parâmetros estão presentes variáveis que caracterizam o impacto causado pelo lançamento de esgoto sanitário e, também, pela atividade de mineração.

Já Buzelli & Cunha-Santino (2013) analisaram a qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, localizado na região central do estado de São Paulo, Bacia do Médio Tietê Superior, utilizando o IQA e o Índice do Estado Trófico (IET). A partir das medições (em períodos de estiagem de 2011 e cheia de 2012) das variáveis limnológicas que compõem os índices e de uma metanálise de dados (fornecidos pelos relatórios anuais da CETESB) foi possível classificar as águas do reservatório como em condição *boa*, porém hipereutrófico para o período entre os anos de 2007 a 2012, evidenciando a importância da gestão ambiental para a recuperação e preservação dos recursos naturais. Além disso, verificou-se neste estudo que a principal categoria de uso do solo em seu entorno é a atividade agrícola, e que a mesma está contribuindo diretamente para a alteração das características físicas e químicas da água desse ambiente, elevando a fertilização do ambiente.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi analisar estatisticamente parâmetros de qualidade da água, disponibilizados pelo INEA, de um ponto do rio Itabapoana entre os anos de 2014 e 2019, visando avaliar se os valores obtidos estavam em acordo com a legislação vigente e, também, verificar se houve diferença significativa entre os resultados obtidos nos biênios 2014/15 e 2018/19.



MATERIAL E MÉTODOS

Levantamento de dados

Os dados utilizados no presente trabalho foram obtidos no site do INEA (<http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/qualidade-das-aguas-por-regiao-hidrografica-rhs/>) no qual há boletins contendo resultados (dados brutos) de análises de parâmetros de qualidade de água e do cálculo do IQA por Região Hidrográfica do estado. Para cada é apresentado um boletim por ano, de 2014 até 2019. O rio Itabapoana, objeto do presente estudo, está localizado na região IX, Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana, e, para esse corpo hídrico, os boletins disponibilizados possuem resultados referentes a um ponto de amostragem (Latitude: 21°07'59,00"; Longitude: 41°40'42,00") localizado na cidade de Bom Jesus do Itabapoana/RJ. Neles são apresentados resultados de 9 parâmetros de qualidade de água, sendo: DBO_{5,20}, OD, nitrato (NO₃⁻), pH, turbidez, fósforo total, temperatura da água, SDT e coliformes termotolerantes, além do valor do cálculo do IQA. Como o INEA utiliza o valor de SDT ao invés dos sólidos totais para a determinação do IQA, o mesmo será referenciado no presente trabalho como IQA (NSF/INEA).

Com relação à frequência do monitoramento no ponto de amostragem avaliado no presente trabalho, entre os anos de 2014 e 2019 foram disponibilizados pelo INEA resultados referentes a 6, 4, 2, 2, 4 e 4 diferentes datas, respectivamente. Ou seja, um espaço amostral total de 22 dias de monitoramento, porém, nem sempre todos os parâmetros eram analisados.

Área de Estudo

O rio Itabapoana nasce na serra do Caparaó/MG, com nome de rio Preto, passando a Itabapoana após a foz do rio Verde. Da confluência com o ribeirão das Onças, até sua foz no Oceano Atlântico, o Itabapoana separa os estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo (COPPETEC, 2014). Devido à sua diversidade geomorfológica, a bacia é dividida em três microrregiões: alto Itabapoana, caracterizado pelo predomínio de quedas d'água e corredeiras tanto no rio principal como em seus afluentes; médio Itabapoana, região pré-montanhosa com relevo predominante de colinas e rios encaixados, e baixo Itabapoana, caracterizada pela presença de extensas planícies aluviais, frequentemente inundadas por ocasião do período de chuvas, com grande potencial de água subterrânea nos aquíferos sedimentares (Sarmiento-Soares & Martins-Pinheiro, 2014).

Devido ao seu potencial hidrelétrico, o Itabapoana possui diversos empreendimentos instalados ao longo de seu curso, sendo a maioria deles localizados no município de Bom Jesus do Itabapoana/RJ. Atualmente, o rio conta com cinco empreendimentos em funcionamento, sendo o primeiro deles a Usina Hidrelétrica de Rosal e, a jusante, uma sequência de quatro Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs): Calheiros, Pirapetinga, Franca Amaral e Pedra do Garrafão. Além disso, encontram-se em fase de licenciamento junto ao INEA mais três PCHs: Saltinho do Itabapoana, Nova Franca Amaral e Bom Jesus (Souza Junior & Oliveira, 2017).

No estado do Rio de Janeiro, a bacia do Itabapoana compreende uma área de 1507,3 km², o que equivale a 40 % da área total da bacia, com um total de habitantes de 567.731 e, mais especificamente, 35.411 em Bom Jesus, cidade do ponto estudado (IBGE 2010). Esse município possui uma área de 596,659 km² divididos em 6 distritos: Sede de Bom Jesus do Itabapoana, Calheiros, Carabuçu, Pirapetinga de Bom Jesus, Rosal e Serrinha; e faz limite com 5 outros municípios do Rio de Janeiro e 1 do Espírito Santo.

Segundo o Atlas de Desenvolvimento Urbano do Programa das Nações Unidas (PNUD 2013), entre os anos de 2000 a 2010, o município teve um média anual de crescimento populacional de 0,51% e uma taxa de urbanização de 84,51%, o que pode ser ilustrado pelo indicativo de



população que conta com 29.927 habitantes em zona urbana, em oposição a apenas 5.484 em zona rural (IBGE, 2010).

Os dados de saneamento básico da bacia são alarmantes, sendo um dos principais problemas para os recursos hídricos, a insuficiência quando se trata do tratamento de efluentes sanitários e a má disposição final dos resíduos sólidos. Em 2017, em relação à gestão dos resíduos sólidos, 10 municípios ainda não possuíam o Plano Municipal de Resíduos Sólidos, incluso (SINIR, 2017), incluso Bom Jesus. Já no que diz respeito ao esgotamento da bacia, segundo o Atlas Esgoto: Despoluição de Bacias Hidrográficas, do total de 18 municípios, apenas 3 indicam possuir tratamento de efluentes, Bom Jesus entre eles (ANA, 2017), entretanto o município ainda necessita de maiores investimentos nesse sentido, principalmente no que diz respeito às condições precárias das redes de esgoto (Souza Junior *et al.*, 2015). Tais dados chamam atenção e levantam a preocupação quanto aos rios e sistemas lagunares regionais que apresentam a qualidade completamente comprometida, necessitando de investimentos, operações, ações e gestão adequada visando além da proteção, no momento, a recuperação dos cursos hídricos.

Análise estatística e comparação com a legislação vigente

Inicialmente, com auxílio do Excel® 2013, determinou-se o valor médio, a estimativa do desvio padrão e os valores de máximo e de mínimo (variação) para cada um dos parâmetros avaliados no período de 2014 a 2019. Considerando-se ainda esse período e cada parâmetro de forma isolada, foi verificado, quando cabível, a porcentagem de amostras que estavam de acordo com a legislação brasileira vigente (Brasil, 2005). Para tal procedimento foi considerado que a água do rio Itabapoana no ponto de amostragem avaliado no presente estudo é referente a água doce de classe 2, uma vez que, enquanto os respectivos enquadramentos não estiverem definidos, as águas doces serão consideradas classe 2 (Brasil, 2005).

Posteriormente, também com auxílio do Excel® 2013, foram determinados os valores médios e as estimativas do desvio padrão considerando-se apenas os biênios 2014/15 e 2018/19. Considerando-se esses períodos foi realizado ainda um teste de variância (ANOVA), utilizado nível de significância de 0,05 (probabilidade de erro de 5%), para verificar a existência de diferença significativa entre as médias obtidas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como mencionado, um dos objetivos do presente trabalho foi verificar se os valores dos parâmetros de qualidade de água disponibilizados pelo INEA no período de 2014 a 2019 referentes ao ponto de monitoramento do órgão no rio Itabapoana estavam em conformidade com a legislação vigente. Nesse sentido, a Tabela 1 apresenta o espaço amostral (n), o valor médio, a estimativa do desvio padrão (s), a variação, a porcentagem de amostras que estavam de acordo com a legislação e os limites da mesma (quando cabível) para cada parâmetro avaliado no período estudado.



Tabela 1: Espaço amostral (n), valor médio, estimativa do desvio padrão (s), variação, porcentagem de amostras em conformidade com a legislação e seus limites para cada parâmetro avaliado no período de 2014 a 2019 em um ponto de monitoramento mantido pelo INEA no rio Itabapoana.

Parâmetros	n	Valor médio	S	Variação	Em conformidade (%)	Limite ^a
DBO _{5,20} (mg L ⁻¹)	21	-	-	<2,0 - 4,0	100	≤ 5
OD (mg L ⁻¹)	20	7,5	1,3	3,2 - 9,0	95	≥ 5
Col. term. (NMP/100 mL)	20	45670	79931	1700 - 350000	0	≤1000
pH	22	7,2	0,4	6,3 - 7,9	100	6 a 9
Nitrato (mg L ⁻¹)	17	0,30	0,10	0,16 - 0,65	100	≤ 10
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	22	0,06	0,05	0,01 - 0,25	91	≤ 0,1
Turbidez (UNT)	22	17,20	17,40	2,15 - 71,20	100	≤ 100
SDT (mg L ⁻¹)	22	41,8	11,4	23,0 - 60,0	100	≤ 500
Temperatura da água (°C)	21	24,8	2,5	19,0 - 28,0	-	-
IQA(NSF/INEA)	14	56,5 (média)	5,5	49,8 (ruim) – 67,5 (média)	-	-

Onde: ^aÁgua doce/Classe 2 segundo a resolução CONAMA 357/2005; DBO_{5,20} = demanda bioquímica de oxigênio; OD = oxigênio dissolvido; Col. term. = coliformes termotolerantes; SDT = Sólidos dissolvidos totais; IQA = Índice de Qualidade de Água.

Observando-se a Tabela 1, inicialmente verifica-se que para o parâmetro DBO_{5,20} não são apresentados o valor médio e a estimativa do desvio padrão (s). Isso ocorre porque para a maioria das amostras avaliadas (19 de 21) o resultado foi menor que 2,00 mg L⁻¹, limite de detecção da técnica utilizada, o que inviabiliza a análise estatística.

Ainda analisando-se a Tabela 1, é possível identificar que, apesar da maioria dos parâmetros estar em conformidade com a legislação, o índice de coliformes termotolerantes está completamente em desacordo e com média elevada. Trata-se de um resultado preocupante, uma vez que, esses microrganismos são classificados como um subgrupo dos coliformes totais e tem como principal espécie o grupo da *E. coli*, que possui origem exclusivamente fecal (Alves *et al.*, 2018). A *E. coli* é um dos microrganismos mais comuns no trato digestório humano e quando presente na água pode ser considerada um bioindicador importante para a qualidade, uma vez que a mesma pode conter microrganismos patogênicos (Oliveira *et al.*, 2016).

Nota-se ainda que, apesar da maioria dos parâmetros estarem em conformidade com a legislação, o IQA do ponto analisado teve sua variação entre ruim e média, estando esses resultados provavelmente relacionados aos altos valores de coliformes termotolerantes. Malagi *et al.* (2020), também notou em seu estudo que dos 6 rios analisados por eles na cidade de Cascavel, Paraná, todos ultrapassaram o limite estabelecido para coliformes termotolerantes e nenhum obteve classificação boa ou excelente em relação ao IQA.

Tais concentrações são indicativos de aporte direto de material de origem fecal, podendo esse ser, por exemplo, por meio de lançamento de esgoto sem o devido tratamento ou com tratamento ineficiente para suas características (Marques *et al.*, 2020). Assim, é imperativo aumentar o tratamento de esgoto nas cidades da bacia hidrográfica do rio, visto que à poluição dos recursos hídricos compromete a qualidade, bem como a possibilidade de uso dessas águas.

A região onde se encontra o rio Itabapoana apresenta altos índices de degradação ambiental, como falta de cobertura vegetal, lançamento de esgoto *in natura* e exploração hidrelétrica. As medidas



de controle para melhoria da qualidade da água, consideradas neste cenário, dizem respeito às atividades de esgotamento sanitário, sendo: o aumento dos índices de coleta e tratamento de efluentes dos municípios; o aumento das eficiências das estações de tratamento de efluentes existentes; e a inserção de novas unidades do sistema de esgoto sanitário, quando necessário. Essas reduções de cargas poluidoras são necessárias para que haja uma melhoria na qualidade da água no trecho, de modo que seja possível alcançar a classe de qualidade almejada (AGERH, 2018).

Não obstante, considera-se que as cargas poluentes lançadas na rede hidrográfica da bacia do rio Itabapoana são estimadas com base nas cargas de origem doméstica, animal e industrial, além de lançamentos difusos ao longo da bacia. As cargas domésticas representam a principal fonte de poluição durante os períodos de vazões baixas, época que são observadas concentrações críticas para os parâmetros de qualidade da água (AGERH, 2018). Deve-se então questionar, se de fato o tratamento de esgoto realizado em Bom Jesus do Itabapoana é adequado e conta com o monitoramento pós tratamento para avaliar sua efetividade e se a quantidade tratada é adequada à realidade do município e ao volume de efluentes lançados em curso hídrico.

Segundo a resolução CONAMA nº 357/05, o limite de oxigênio dissolvido estabelecido para enquadramento em água doce de classe 2 é não inferior a 5 mg L^{-1} . Portanto, 19 das 20 amostras avaliadas neste trabalho se encontram em concordância com a legislação. Em condições normais, o teor de oxigênio dissolvido na água depende da temperatura e da altitude. Levando em consideração esses fatores, baixos teores de oxigênio podem indicar o recebimento de matéria orgânica no corpo hídrico, impactando diretamente os organismos aeróbios (Souza *et al.*, 2010).

O OD é uma das principais variáveis usadas no controle dos níveis de poluição nas águas e na caracterização de seus efeitos, especialmente em casos de despejos industriais ou lançamentos irregulares, de origem doméstica, que contem altas taxas de matéria orgânica. No processo de decomposição do material orgânico feito por bactérias e outros organismos, elevadas taxas de OD são consumidas através de processos respiratórios dos indivíduos atuantes. Logo, valores baixos de OD podem ser associados à presença de material orgânico, provavelmente advindo de esgotos ou despejos irregulares, e grande quantidade de biomassa de bactérias aeróbicas decompositoras. Destaca-se que no caso de um corpo hídrico eutrofizado, o crescimento excessivo de algas pode mascarar a avaliação do grau de poluição de uma água, quando se toma por base apenas a concentração de OD (CETESB, 2010).

Outro parâmetro que não alcançou 100 % de conformidade foi o fósforo total o que pode indicar um ambiente propício ao processo de eutrofização em alguns períodos de amostragem (Von Sperling 2005). Para todos os demais parâmetros foi alcançado 100 % de conformidade.

Outro objetivo do presente trabalho foi determinar se houve diferença significativa entre as médias encontradas nos biênios 2014/15 e 2018/19 para cada parâmetro avaliado. Os valores referentes ao biênio 2016/17 não foram analisados nessa parte do trabalho devido ao seu pequeno espaço amostral. Nesse sentido, na Tabela 2 podem ser observadas as médias e o espaço amostral (n) para cada parâmetro nos diferentes biênios analisados, a estimativa do desvio padrão para cada caso (s) e o p-valor do teste de ANOVA de um fator ao nível de significância de 0,05 (probabilidade de erro de 5 %). Além disso, na Tabela 2 encontram-se os valores de precipitação (somatório) da estação pluviométrica (no 83639) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no Caparaó nos diferentes biênios.



Tabela 2: Médias, espaço amostral (n) e estimativas do desvio padrão (s) para cada parâmetro avaliado nos biênios 2014/15 e 2018/19, precipitação na região da nascente do rio nos diferentes períodos e o p-valor para o teste de ANOVA realizado.

Parâmetros/Precipitação	2014/15			2018/19			p-valor ^a ANOVA
	N	Média	S	N	Média	s	
DBO _{5,20} (mg L ⁻¹)	9	<2,00	-	8	<2,00	-	-
OD (mg L ⁻¹)	10	7,5	0,8	7	8,1	0,5	0,0923
Coli. term. (NMP/100mL)	10	73670	106464	8	18563	21596	0,1713
pH	10	6,9	0,2	8	7,5	0,2	2,47E-05
Nitrato (mg L ⁻¹)	9	0,38	0,13	6	0,27	0,11	0,1176
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	10	0,07	0,07	7	0,03	0,03	0,2510
Turbidez (UNT)	10	15,73	20,06	8	19,28	17,91	0,7011
SDT (mg L ⁻¹)	10	45,0	7,9	8	43,1	15,1	0,7319
Temperatura da água (°C)	9	24,1	3,0	8	24,6	2,2	0,6974
IQA (NSF/INEA)	8	55,3	3,8	5	58,3	8,2	0,3866
Precipitação (mm)	1916			2809			-

Onde:^aNível de significância de 0,05; DBO_{5,20} = demanda bioquímica de oxigênio; OD = oxigênio dissolvido; Col. term. = coliformes termotolerantes; SDT = Sólidos dissolvidos totais; IQA = Índice de Qualidade de Água.

Observando-se a Tabela 2, inicialmente verifica-se que para o parâmetro DBO_{5,20} não são apresentados a estimativa do desvio padrão (s) e o p-valor. Isso ocorre porque para todas as 17 amostras dos biênios avaliados o resultado foi menor que 2,00 mg L⁻¹, limite de detecção da técnica utilizada, o que inviabiliza a análise estatística.

Ainda com relação à Tabela 2, observa-se que para os 9 parâmetros que foram analisados estatisticamente, há diferença significativa apenas para 1 (pH). Sendo assim, para os parâmetros de qualidade de água avaliados não houve diferença estatisticamente significativa entre os biênios em questão. Porém, para maioria dos parâmetros, houve uma melhora no valor médio entre os biênios 2014/15 e 2018/19. Segundo Silva *et al.* (2019) isso pode estar relacionado com o acréscimo do índice de precipitação o que eleva a vazão no rio, aumentando a velocidade do escoamento e contribuindo com a diluição de alguns contaminantes. Entretanto, estudos como de Andrietti *et al.* (2016), já consideram o aumento das chuvas como um fator que reporta em uma maior concentração/valor para os parâmetros. Sendo assim, deve-se promover a avaliação em estações diferentes, épocas secas e chuvosas, para que de fato a análise seja correspondente à realidade do comportamento do corpo hídrico que se deseja estudar.

Dentre as melhorias entre os biênios, verificou-se que para o parâmetro de coliformes termotolerantes, os índices são bem menores no biênio 2018/19 o que, considerando esse parâmetro, indica uma melhoria na qualidade da água do rio Itabapoana.

Apesar do aumento da média do valor da temperatura da água, o que diminui a solubilidade de gases no corpo d'água, a concentração de oxigênio dissolvido foi maior no biênio 2018/19. Esse aumento do oxigênio dissolvido pode ter sido observado, por exemplo, devido à diminuição da



concentração de matéria orgânica e ao aumento na vazão/volume do rio, o que o tornaria mais lóxico e aumentaria o seu poder de depuração (Von Sperling, 2005).

A diminuição das médias para os parâmetros fósforo total e nitrato no biênio 2018-19 também é um fator positivo com relação à qualidade da água, pois a presença de elevadas concentrações dessas espécies em corpos hídricos ocasiona processos de eutrofização e pode estar associada à contaminação por efluentes doméstico, industrial e agrícola (Finkler *et al.* 2015).

CONCLUSÃO

Considerando-se os parâmetros e o período temporal analisados neste trabalho sobre a qualidade da água no ponto de Bom Jesus no rio Itabapoana, verificou-se que, embora a maioria dos parâmetros esteja de acordo, o índice de coliformes termotolerantes excede os limites determinados pela Resolução CONAMA 357/2005, o que é preocupante para a situação do rio e da comunidade que faz uso dessa água. Isso porque a presença elevada desses coliformes indicam a existência de microrganismos patogênicos e responsáveis pela transmissão de várias doenças, como, verminoses, cólera, amebíase. O lançamento de efluentes sem tratamento ou com tratamento ineficiente possivelmente ocasionou essa contaminação da água. Desta forma, sugere-se a expansão do sistema de saneamento básico do município e da bacia como um todo, garantindo que os lançamentos se enquadrem nos estabelecidos pela legislação.

Para a maioria dos parâmetros de qualidade de água contemplados no trabalho não foi observada diferença significativa, ao nível de 5%, entre os valores médios obtidos nos biênios avaliados, apenas para o pH houve diferença. Porém, destaca-se que para maioria dos parâmetros, considerando a qualidade da água, a média melhorou de 14/15 para 18/19 o que pode ter relação com o maior volume/vazão do rio ou com a diminuição no lançamento de efluentes no rio Itabapoana e em seus afluentes.

Diante desse resultado é necessário aumentar o tratamento de esgoto nas cidades da bacia hidrográfica do rio, visto que à poluição dos recursos hídricos compromete a qualidade e a possibilidade de uso das águas dos mananciais por lançamento de efluentes de esgoto. Nessa conjectura, é necessário que ocorram iniciativas que de fato se unam-se em prol da preservação dos mananciais e que sejam visadas algumas medidas como o reflorestamento das matas ciliares e a ampliação da coleta e do tratamento dos esgotos domésticos e industriais ao longo do percurso da bacia hidrográfica do rio Itabapoana, buscando a melhoria da qualidade da água desse importante corpo hídrico brasileiro.

O investimento em medidas de saneamento podem minimizar os impactos antrópicos causados pela geração de efluentes; através do tratamento de esgoto é possível diminuir as concentrações de DBO_{5,20}, aumentar a OD, diminuir a concentração de coliformes, o que geraria uma possível manutenção desse ecossistema, melhorando a qualidade geral da água no local e propiciando reflexos positivos para os moradores locais como água de melhor qualidade para o consumo, atividades recreativas e até mesmo a pesca.



REFERÊNCIAS

Agência Estadual De Recursos Hídricos – AGERH (2018) Diagnóstico e Prognóstico Das Condições De Uso Da Água Na Bacia Hidrográfica Do Rio Itabapoana. Relatório Etapa A. Vitória, 2018. Disponível:https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documenta%C3%A7%C3%A3o%20CBHs/Itabapoana/Plano%20de%20Bacia/REA_DiagnosticoPrognostico_CCBH%20Itabapoana.pdf. Acessado em 28 de setembro de 2020.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2010) Portal Da Qualidade Das Águas. Disponível: <Http://Pnqa.Ana.Gov.Br/Rede-Nacional-Rede-Monitoramento.AspX>. Acessado em 8 de setembro de 2020.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (2017) Atlas esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas. Disponível: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acessado em 25 de agosto de 2020.

Almeida MAB, Schwarzbold A (2003) Avaliação Sazonal da Qualidade das Águas Doarrio da Cria Montenegro, RS com Aplicação de um Índice de Qualidade de Água (IQA). Revista Brasileira De Recursos Hídricos, 8 (1): 81-97.

Alves SGS *et al.* (2018) Análise microbiológica de coliformes totais e termotolerantes em água de bebedouros de um parque público de Brasília, Distrito Federal. Revista de Divulgação Científica Sena Aires, v. 7, n. 1, p. 12-17, 2018.

Andrietti G *et al.* (2016) Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. Revista Ambiente & Água, v. 11, n. 1, p. 162-175, 2016.

Brasil (2005) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 357, De 17 De Março De 2005. Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 18 Mar. 2005. Brown RM *et al.* (1970) A water quality index: do we dare? Water & Sewage Works, vol. 117, p. 339-343.

Buzelli GM, Cunha-Santino MB (2013) Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). Ambi-Agua, Taubaté, 8 (1): 186-205.

Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo - CETESB (2009) Variáveis De qualidade De Água. São Paulo. Disponível: <Http://Www.Cetesb.Sp.Gov.Br/Agua/Rios/Variaveis.Asp#Transparencia>. Acessado em 19 de janeiro de 2019.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo CETESB (2010) Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas de amostragem. In: Série relatórios/Cetesb. relatório de qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo 2009. 2ª Edição. Apêndice A. São Paulo/SP, Brasil. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2010.

Coppetec (2014) Plano estadual de recursos hídricos do estado do rio de janeiro, Perhi-RJ. Relatório Síntese. Rio De Janeiro, 125p.



Finkler NR *et al.* (2015) Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. *Rev. Ambient. Água* 10 (4): 782-792.

Food And Agriculture Organization of the United Nations - FAO (2017) *Water for Sustainable Food and Agriculture*. Fao: Roma, 2017.

Gleick PH (1993) *Water In Crisis : A Guide To The World's Fresh Water Resources*. New York : Oxford University Press, 1993.

Index.Htm&Lang=Pt-Br. Acessado em 15 de setembro de 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010) *População - Censo Demográfico, 2010*. Disponível: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=31&dados=21>. Acessado em 27 de agosto de 2020.

Instituto Estadual Do Ambiente - INEA (2018) *Gestão da qualidade das águas*. Disponível: <Http://Www.Inea.Rj.Gov.Br/Portal/Megadropdown/Monitoramento/Qualidadedaagua/>

Leite MA *et al.* (2019) Usos Múltiplos da Água. In: Dornfeld, CB, Talamoni, ACB, Queiroz, TV. *O Jogo Digital Na Sala De Aula - Água, Ação e Reflexão: elaboração de jogo digital para a educação básica*. Ilha Solteira: Unesp, 4: 44-57.

Malagi I *et al.* (2020) Physicochemical quality of and Escherichia coli resistance profiles in urban surface waters. *Brazilian Journal of Biology*, v. 80, n. 3, p. 661-668, 2020.

Marques JRA *et al.* (2020) Situação sanitária e o uso da água do Igarapé Santa Cruz, município de Breves, Arquipélago de Marajó, Pará, Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 25, n. 4, p. 597-606, 2020.

Merten GH, Minella JP (2002) Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável*, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.

Nonato EA *et al* (2007) Tratamento estatístico dos parâmetros da qualidade das águas da bacia do alto curso do Rio das Velhas. *Química Nova*, v. 30, n. 4, p. 797-804, 2007.

Oliveira AJ *et al.* (2016) Coliformes Termotolerantes: bioindicadores da qualidade da água destinada ao consumo humano. *Atas de Saúde Ambiental-ASA (ISSN 2357-7614)*, v. 3, n. 2, p. 24-29, 2016.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento PNUD (2013) *Atlas de Desenvolvimento Urbano do Programa das Nações Unidas. Perfil Bom Jesus do Itabapoana - RJ*. Disponível em: http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/bom-jesus-do-itabapoana_rj. Acesso em: 20 De Ago De 2020.

Rocha BCS *et al.* (2017) Diagnosis of water quality of the mataruna river, municipality of Araruama, RJ, through physical, chemical and microbiological parameters, *Revista Espacios*, v. 38, n. 27, p. 2.



Rodrigues MB, Lipp-Nissinen KH (2018) Diagnóstico de parâmetros de qualidade do rio gravataí no interior da área de proteção ambiental (APA) do Banhado Grande, RS, e a detecção de desativação de criticidade, *Revista Thema*, 15 (3): 1137-1153.

Santos RCL *et al.* (2018) Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da bacia costeira do Sapucaia em Sergipe. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 23, n. 1, p. 33-46.

Sarmiento-Soares LM, Martins-Pinheiro RF (2014) A fauna de peixes nas bacias sul do Espírito Santo, Brasil. *Sitientibus, Série Ciências Biológicas*, 13: 1-37.

Silva JC *et al.* (2019) Condições De Balneabilidade Da Praia Do Jacaré, Em Cabedelo, Pb, A Partir Da Densidade De Coliformes Termotolerantes Como Bioindicador De Qualidade Da Água. *Acta Scientia*, v. 1, n. 1, 2019.

Souza CF *et al.* (2010) Avaliação da qualidade da água do rio Paraíba do Sul no município de Taubaté-SP. *Revista Biociências*, 16: 1.

Souza Junior EG, *et al.* (2015) Diagnóstico Ambiental do Município de Bom Jesus do Itabapoana, RJ. *Boletim Do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, 9 (1): 83-98.

Souza Junior EG, Oliveira VPS (2017) Qualidade da Água do Rio Itabapoana: análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos e influência de empreendimentos hidrelétricos. *Boletim Do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*, 11 (1): 29-41.

Von Sperling M (2005) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo horizonte: Editora UFMG

ARTIGO CIENTÍFICO 2

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA NA REGIÃO DO BAIXO PARAÍBA DO SUL NO PERÍODO DE 2012 A 2019

CRAVINHO, A. O.; ARAÚJO, T. M. R.*

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense

taraujo@iff.edu.br*

RESUMO

Considerando a água um recurso vital à vida interligada a atividades econômicas, sua qualidade é um fator indispensável e deve ser prioridade. A Bacia do rio Paraíba do Sul é responsável pelo abastecimento de inúmeras pessoas ao longo dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, sendo de extrema necessidade o contínuo monitoramento de suas águas para verificar a adequação aos seus múltiplos usos. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi analisar estatisticamente parâmetros de qualidade da água, disponibilizados pelo Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA), da região do baixo Paraíba do Sul no período de 2012 a 2019, visando avaliar se os valores obtidos estavam em acordo com a CONAMA 357/2005. E, também, verificar possíveis diferenças significativas entre os anos de

amostragem e pontos de coleta. Dentre os parâmetros avaliados, os coliformes termotolerantes (CT) e o fósforo total (P_T) apresentaram maiores índices de desconformidade, 54 % e 12 %, respectivamente. CT, NO_3^- , pH, temperatura e o IQA diferiram entre os anos e NO_3^- , OD, pH, temperatura e o IQA diferiram entre os pontos amostrais. Foi observado que, de forma geral, CT e o IQA melhoraram entre os anos avaliados e que o ponto 3 (Localizado em São Fidelis) foi o que apresentou o menor valor médio de IQA e maior média de CT. Concluiu-se ainda que o trecho do rio em questão vem sendo impactado com despejo de esgoto doméstico e que melhorias no esgotamento sanitário da região devem ser realizadas visando a melhoria da qualidade da água do rio Paraíba do Sul na região do estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade, Recursos Hídricos, Legislação.

STATISTICAL ANALYSIS OF WATER QUALITY PARAMETERS IN THE LOW PARÍBA DO SUL REGION IN THE PERIOD FROM 2012 TO 2019.

ABSTRACT

Considering water a vital resource for life linked to economic activities, its quality is an indispensable factor and must be a priority. The Paraíba do Sul River Basin is responsible for supplying countless people throughout the states of São Paulo, Minas Gerais and Rio de Janeiro, and the continuous monitoring of its waters is extremely necessary to verify its suitability for its multiple uses. Therefore, the objective of the present work was to statistically analyze water quality parameters, made available by the Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA), in the lower Paraíba do Sul region from 2012 to 2019, in order to assess whether the values obtained were in accordance with CONAMA 357/2005. And, also, verify possible significant differences between the sampling years and collection points. Among the

parameters evaluated, thermotolerant coliforms (TC) and total phosphorus (PT) showed the highest levels of nonconformity, 54% and 12%, respectively. CT, NO_3^- , pH, temperature and WQI differed between the years and NO_3^- , OD, pH, temperature and WQI differed between the sampling points. It was observed that, in general, TC and WQI improved between the years evaluated and that point 3 (Located in São Fidelis) was the one with the lowest mean value of WQI and highest mean of WQ. It was also concluded that the stretch of the river in question has been impacted with discharge of domestic sewage and that improvements in the sanitary sewage of the region must be carried out in order to improve the quality of the water of the Paraíba do Sul river in the region of the study.

KEYWORDS: Quality, Water Resources, Legislation.

INTRODUÇÃO

Uma das questões mais discutidas atualmente é a escassez de água doce de qualidade em algumas regiões do mundo, principalmente no que se refere ao consumo consciente, a preservação da água atrelada à vida e ao desenvolvimento econômico de forma sustentável (PEREIRA *et al.*, 2021; FAO, 2017). Inclusive porque a quantidade de água doce disponível é pequena quando comparada à água presente no planeta (LEITE *et al.*, 2019). De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2010) a presença da água em solo brasileiro é cada vez mais escassa na região Sudeste, visto à elevada densidade populacional (87 habitantes por km²) e ao mau uso da mesma (GLEICK, 1993; MERTEN e MINELLA, 2002; LEITE *et al.*, 2019).

Em concordância, a Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, afirma que a gestão sistemática dos recursos hídricos deve ocorrer associada aos aspectos de quantidade e qualidade e que, dentre os instrumentos fundamentais para gestão de água, encontra-se o enquadramento dos corpos hídricos em classes segundo os seus principais usos, o que, no caso das águas superficiais, é regulado pelas Resoluções 357/2005 e 91/2008, respectivamente, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2005; CNRH, 2008). Ressalta-se que o enquadramento estabelece metas de qualidade de água, os quais podem variar ao longo do corpo hídrico, e se fundamenta no nível mínimo de qualidade que os corpos hídricos devem possuir para satisfazer seus usos preponderantes (BRASIL, 2005).

A avaliação da qualidade da água é realizada, principalmente, através da determinação de parâmetros químicos, físicos e biológicos. Alguns parâmetros usualmente empregados são: oxigênio dissolvido (OD), turbidez, potencial hidrogeniônico (pH), salinidade, sólidos totais dissolvidos (STD), condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes termotolerantes (CT) e *Escherichia coli* bem como, alguns índices, dentre eles: o Índice de Qualidade de Água (IQA) e o Índice do Estado Trófico (IET) (VON SPERLING, 2005, ROCHA *et al.*, 2017).

O IQA, por exemplo, indica a interferência por esgotos sanitários, nutrientes e sólidos, sendo composto por nove variáveis (coliformes termotolerantes, pH, DBO, nitrogênio total, fósforo total, turbidez, sólidos totais, OD e temperatura) com seus respectivos pesos. Importante mencionar que os valores de IQA variam de 0 a 100 e o nível de qualidade da água é avaliado como excelente ($90 < IQA \leq 100$), bom ($70 < IQA \leq 90$), médio ($50 < IQA \leq 70$), ruim ($25 < IQA \leq 50$) e muito ruim ($0 < IQA \leq 25$) (CETESB, 2009; BUZELLI e CUNHA-SANTINO, 2013; FINKLER *et al.*, 2015).

A Bacia do rio Paraíba do Sul drena uma das regiões mais desenvolvidas do Brasil, com isso o território é extremamente antrópico, com a Mata Atlântica original restrita principalmente à parques e reservas florestais. Ela está situada na região sudeste do Brasil e ocupa uma área de aproximadamente 62.074 km², estendendo-se pelos estados de São Paulo (14.510 km²), Rio de Janeiro (26.851 km²) e Minas Gerais (20.713 km²), abrangendo 184 municípios. A área da bacia corresponde a cerca de 0,7 % da área do país e, aproximadamente, a 6,0 % da região sudeste brasileiro. O seu principal corpo hídrico, o rio Paraíba do Sul, tem mais de 1.150 km de comprimento (BRASIL, 2015). Em toda essa extensão há 180 municípios, 36 dos quais estão parcialmente inseridos na bacia. A população urbana total da bacia é 4.922.779 habitantes, segundo o Censo 2000 do IBGE, sendo que, desses, 2.142.397

vivem no Estado do Rio de Janeiro, 1.632.670 em Minas Gerais e 1.147.712 em São Paulo (BRASIL, 2015).

Nesse contexto, o rio Paraíba do sul e seus afluentes recebem esgoto bruto, dentre outras formas de poluição, de diversas fontes. Desta forma, Queiroz *et al.* (2017), Costa *et al.* (2020) e Cintra *et al.* (2020) relataram que alguns pontos do rio ou da bacia se encontram com parâmetros de qualidade de água acima do permitido pela legislação brasileira. Queiroz *et al.* (2017) verificaram que as variáveis OD, fósforo total e CT estavam em desacordo com o estabelecido para um rio classe 2, conforme a resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005). Eles observaram ainda que algumas variáveis se mostraram influenciadas pelas chuvas, como a clorofila a, os STD e os efeitos tóxicos agudos e crônicos que apresentaram correlação positiva com o aumento da precipitação, e o OD que obteve correlação negativa. Enquanto que, Costa *et al.* (2021) relataram que os níveis de DBO variaram de 2,00 a 45,00 mg L⁻¹ (média e desvio padrão = $7,69 \pm 7,52$ mg L⁻¹) considerando-se 54 amostras de água do rio Piabanha (afluente do rio Paraíba do Sul) analisadas no ano de 2019. Ou seja, a maioria das amostras apresentaram DBO acima do permitido pela legislação (5,00 mg L⁻¹). Já Cintra *et al.* (2020), embora mencionem que, para maioria das amostras, tenham encontrado valores compatíveis com a legislação vigente, chegaram a valores de OD e coliformes termotolerantes de até 1,40 mg L⁻¹ e 3024,5 NMP/100 mL, respectivamente.

Sendo assim, diante da necessidade de analisar a qualidade da água ao longo do tempo devido aos possíveis problemas ocasionados pela interferência humana no rio Paraíba do Sul, o objetivo do presente trabalho foi avaliar estatisticamente parâmetros de qualidade da água de quatro pontos amostrais, disponibilizados pelo Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA), da calha principal do rio no período de 2012 a 2019, visando verificar se os valores obtidos estavam em conformidade com a legislação vigente, bem como verificar se há diferença significativa entre os pontos amostrais e entre os anos de coleta.

1 METODOLOGIA

1.1 Área de estudo

A área de estudo compreendeu uma parte do território da Região Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana, também denominada de Região Hidrográfica IX, situada na região norte e noroeste fluminense, com destaque para o rio Paraíba do Sul. Os quatro pontos considerados situam-se nos municípios de Itaocara (PS 0434 e PS 0436), São Fidélis (PS 0439) e Campos dos Goytacazes (PS 0441), conforme a Figura 1.

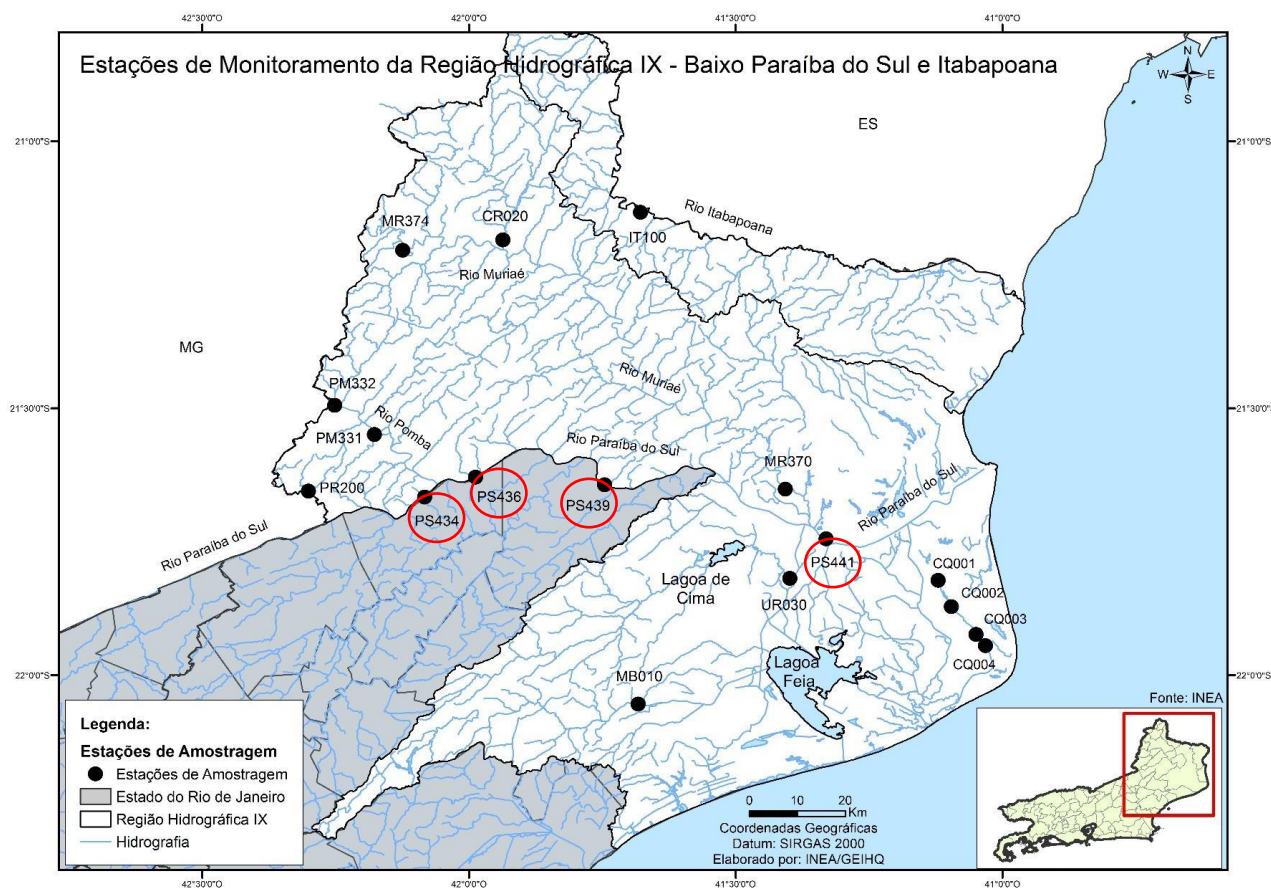


Figura 1: Estações de Monitoramento da Região Hidrográfica IX (INEA, 2020).

1.2 Levantamento e análise dos dados

Os dados de qualidade de água analisados estatisticamente no presente trabalho foram obtidos na página do Instituto Estadual do Ambiente (<http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/qualidade-das-aguas-por-regiao-hidrografica-rhs/>), sendo referentes às análises de demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}), fósforo total, nitrato, oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), turbidez, coliformes termotolerantes, sólidos totais dissolvido (STD), temperatura da água e ao cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQA). Foram utilizados um total de 3450 dados distribuídos entre os períodos de 2012 a 2019 e os quatro pontos amostrais citados no item 1.1.

A análise estatística foi realizada com auxílio do Excel[®] 2019, onde, inicialmente, determinou-se o valor médio, a estimativa do desvio padrão e os valores de máximo e de mínimo (variação) para cada um dos parâmetros/índice avaliados no período de 2012 a 2019. Considerando-se ainda esse período e cada parâmetro de forma isolada, foi verificado, quando cabível, a porcentagem de amostras que estavam em desconformidade com a legislação brasileira vigente (Brasil, 2005). Para tal procedimento foi considerado que a água do rio Paraíba do Sul nos pontos de amostragens avaliados no presente estudo são referentes à água doce classe 2, uma vez que, enquanto os respectivos enquadramentos não estiverem definidos, as águas doces serão consideradas como classe 2 (Brasil, 2005).

Posteriormente, também com auxílio do Excel[®] 2019, foram realizados os testes de análise de variância (ANOVA) de fator único com repetição para aceitar ou rejeitar a hipótese nula – H_0 (não há diferença entre as médias) considerando-se inicialmente os anos de 2012 a 2019 e, depois, os quatro pontos amostrais. Para os parâmetros que apresentaram diferenças significativas, em cada caso, foram aplicados o teste de média de TUKEY, com o intuito de apontar precisamente onde ocorreram as diferenças. Para as análises estatísticas foi utilizado o nível de significância de 0,01 (probabilidade de erro de 1 %). O nível de significância de 1 % foi escolhido para diminuir a probabilidade de se cometer o Erro Tipo I, ou seja, aceitar H_0 sendo H_0 falsa.

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As porcentagens de amostras em desconformidade com a CONAMA 357/2005 (água doce/classe 2), dentre outras informações, por parâmetro/índice avaliado considerando-se todos os pontos analisados e o período de 2012 a 2019 podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 1: Espaço amostral total (n), valor médio, estimativa do desvio padrão (s), variação, porcentagem de amostras em desconformidade com a legislação e seus limites para cada parâmetro avaliado no período de 2012 a 2019 em todos os quatro pontos de monitoramento mantidos pelo INEA na calha principal do rio Paraíba do Sul na região hidrográfica IX.

Parâmetros	N	Valor médio	s	Variação (mínimo-máximo)	Em desconformidade (%)	Limite ^a
DBO _{5,20} (mg L ⁻¹)	364	-	-	<2,0 – 7,4	0,55	≤5
Col. term. (NMP/100 mL)	343	6593	20690	<18 – 240000	54,23	≤1000
P _T (mg L ⁻¹)	364	0,07	0,10	<0,01 – 0,92	11,82	≤0,1
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	304	0,75	0,38	<0,01 – 3,00	0	≤10
OD (mg L ⁻¹)	356	8,2	0,8	5,6 – 12,0	0	≥5
pH	364	7,4	0,5	5,7 – 9,0	0,83	6 a 9
Turb. (UNT)	363	21,43	53,16	1,10 – 862,00	3,86	≤100
SDT (mg L ⁻¹)	364	61,49	29,59	<1 – 335	0	≤500
Temp. (°C)	355	24,4	2,8	18,0 – 35,0	-	-
IQA (NSF/INEA)	273	66,8 (média)	8,2	41,5 (ruim) - 84,2 (boa)	-	-

Onde: ^aÁgua doce/Classe 2 segundo a resolução CONAMA 357/2005; DBO_{5,20} = demanda bioquímica de oxigênio; Coli. term. = Coliformes termotolerantes; P_T = Fósforo total; NO₃⁻ = Nitrato; OD = Oxigênio dissolvido; pH = Potencial hidrogeniônico; Turb. = Turbidez; SDT = Sólidos dissolvidos totais; Temp. = Temperatura; IQA = Índice de Qualidade de Água.

Analisando-se a mesma, verifica-se que, para os parâmetros referenciados pela legislação, os que apresentaram desconformidade foram: DBO_{5,20}, pH, turbidez, fósforo total e coliformes termotolerantes. Porém, para os dois últimos parâmetros, as porcentagens de amostras em desconformidade foram maiores, chegando a mais que 10 % e 50 % nos casos do fósforo total e coliformes termotolerantes, respectivamente. O valor máximo encontrado para o parâmetro coliformes termotolerantes também é expressivo, 240000 NMP/100 mL. Segundo Von Sperling (2014), distintos aspectos de origem natural ou antropogênica podem ocasionar essas desconformidades. Porém, para

uma análise mais criteriosa da qualidade da água e da origem das desconformidades, é imperativa a avaliação dos modos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica e das condições de saneamento básico, principalmente no que se refere ao esgotamento sanitário.

Conforme o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Paraíba do Sul (AGEVAP, 2006), esta situa-se na região de abrangência da Mata Atlântica, bioma mais degradado no país, devido ao desenvolvimento de atividades econômicas que iniciaram com o desmatamento para estabelecimento de monocultura e levou à degradação do solo tornando-o improdutivo. Atrelado a um desenvolvimento industrial que resultou em êxodo rural elevado e uma queda nas atividades agrossilvipastoris, com a maior parte dos habitantes da bacia residindo em áreas urbanas.

Os coliformes termotolerantes estão presentes em corpos d'água, geralmente, devido a contaminação antropogênica, tendo como uma de suas principais fontes o despejo de esgotos sanitários *in natura*. A presença desse grupo de bactérias na água indica a sua contaminação por microrganismos patogênicos o que pode ser prejudicial à saúde humana e ao ecossistema de forma geral (VON SPERLING, 2014).

Já o fósforo pode ter sua origem natural, devido à dissolução de compostos do solo e decomposição da matéria orgânica, quanto antrópica, devido aos despejos domésticos, industriais, de detergentes, de excrementos de animais e fertilizantes (VON SPERLING, 2014). Finkler *et al.* (2015) afirmam também que o aumento das médias dos valores de fósforo total é um fator negativo com relação à qualidade da água, pois elevadas concentrações desse elemento em corpos hídricos podem ocasionar processos de eutrofização e a presença do mesmo pode estar associada à contaminação doméstica, industrial e agrícola.

Em concordância, Queiroz *et al.* (2017) afirmam que a qualidade da água de um corpo hídrico pode ser comprometida devido à retirada da vegetação ciliar, o aumento de áreas impermeáveis, a atividade industrial, a utilização de insumos agrícolas e, principalmente, pelo lançamento de esgotos sem tratamento adequado.

Num contexto geral, com base no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, no Brasil, cerca de 43 % da população possui esgoto coletado e tratado e 12 % utilizam-se de fossa séptica (solução individual), ou seja, 55 % possuem tratamento considerado adequado; 18 % têm seu esgoto coletado e não tratado, o que pode ser considerado como um atendimento precário; e 27 % não possuem coleta nem tratamento, isto é, sem atendimento por serviço de coleta sanitário (ATLAS ESGOTOS, 2022).

O impacto do lançamento de esgotos nos corpos hídricos, ou seja, dispor o esgoto sem o adequado tratamento, gera comprometimento da qualidade da água nas áreas urbanas, afetando a saúde da população e dificultando o atendimento de usos a jusante, como abastecimento humano, balneabilidade, irrigação, dentre outros (ATLAS ESGOTOS, 2022).

Em relação ao saneamento na área da Bacia do rio Paraíba do Sul, no seu Plano de Recursos Hídricos de 2021 (AGEVAP, 2021), é apresentada a informação que 5 % do esgoto é destinado a soluções individuais como fossa séptica, 8 % é desprovida de qualquer atendimento e 87 % do esgoto gerado na bacia é coletado, entretanto, desse valor, somente 41 % é tratado. Sendo a Unidade de Planejamento (UP) Paraíba do Sul (trecho paulista) a que possui o maior índice de esgoto tratado e coletado (69,6 %). Todavia, mesmo apresentando os melhores valores de tratamento, o percentual não removido gera grande impacto, uma vez que essa UP é a maior geradora de efluentes, pois concentra 34 % da população total da bacia.

Além disso, no Brasil, o nível de tratamento de esgotos, na maior parte das ETEs, é o secundário, ou seja, visa principalmente a remoção de matéria orgânica e sólidos, não possuindo etapas específicas para remoção de coliformes, organismos patogênicos e nutrientes. Sendo assim, ao assumir que esta também é uma realidade comum a Bacia do rio Paraíba do Sul, mesmo com o tratamento de esgotos em maior escala, estes parâmetros possivelmente apresentariam violações aos limites de qualidade estabelecidos pela legislação (MALAFAIA *et al.*, 2012).

Pode-se então inferir que, com índices de tratamentos de efluentes sanitários tão pequenos e o tratamento das ETEs brasileiras sendo, geralmente, até o nível secundário, as maiores porcentagens de desconformidade dos parâmetros coliformes termotolerantes e fósforo total estão relacionadas ao despejo de esgotos domésticos nos corpos hídricos da bacia.

Com relação à turbidez, o seu limite pela CONAMA nº 357/2005 em corpos hídricos de água doce e enquadrados como classe 2 é de até 100 UNT. Sendo assim, algumas amostras, 3,86 %, apresentaram desconformidade à legislação para esse parâmetro. Ressalta-se que elevados níveis de turbidez são esteticamente desagradáveis e, principalmente, prejudiciais ao processo de fotossíntese da vegetação mais enraizada ou submersa, o que pode suprimir a produtividade de peixes, influenciando as comunidades aquáticas e todo o equilíbrio ecossistêmico (CETESB, 2010).

Segundo Rocha *et al.* (2010), os parâmetros de turbidez e dos sólidos totais dissolvidos condicionam a penetração de raios solares na água. Destaca-se que esses parâmetros podem tanto influenciar as comunidades biológicas aquáticas como prejudicar o uso doméstico e industrial dos recursos hídricos (CETESB, 2017).

Em estudo realizado por Cintra *et al.* (2020) verificou-se que, provavelmente, a maior vazão no período estudado teve relação com mais chuvas na região da bacia hidrográfica do rio o que fez aumentar a turbidez da água.

Já em estudo realizado por Queiroz *et al.* (2017), no mesmo corpo hídrico, porém em outra região, verificou-se diferença de turbidez em períodos com distintos níveis de precipitação, sendo que o período com menor precipitação apresentou média de turbidez maior em relação ao período de maior precipitação. Silva *et al.* (2008) também observaram valores de turbidez mais baixos no período chuvoso ao avaliarem a água do Rio Purus – AM. Os autores atribuíram os baixos valores de turbidez ao tamanho e natureza das partículas presentes na coluna d'água.

No caso do pH, a resolução CONAMA nº 357/2005 preconiza para todas as classes de água doce o valor entre 6,0 a 9,0, sendo possível evidenciar que, de forma geral, os resultados encontrados estavam adequados ao preconizado pela resolução, apesar do percentual de desconformidade de 0,83 %. Ressalta-se que os valores de pH podem oferecer indícios sobre a qualidade da água de um corpo hídrico ou sobre que tipo de poluição química está presente. No entanto, não se pode deixar de considerar que, em um curso d'água, a variação do pH depende de diversos fatores naturais, como por exemplo: clima, geologia e vegetação, mas também pode ser resultado de interferências antropogênicas (SPERLING, 2005).

Em relação a $DBO_{5,20}$, este é um parâmetro que, em desconformidade, contribui significativamente para a baixa qualidade da água do rio. Além disso, é também um parâmetro de referência (COLETTI *et al.*, 2009). Como a $DBO_{5,20}$ é uma medida do consumo de oxigênio requerido pelos microrganismos que fazem a decomposição da matéria orgânica biodegradável, o seu valor em uma amostra de água indica a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por

decomposição microbiana aeróbica para uma forma inorgânica estável. Valores de $DBO_{5,20}$ elevados podem provocar a morte dos organismos que necessitam de oxigênio (GONZÁLEZ *et al.*, 2011).

Já os parâmetros nitrato, SDT e OD não apresentaram desconformidade. É importante manter a conformidade desses parâmetros, visto que seus níveis interferem na qualidade da água do rio Paraíba do Sul na região.

Conforme Souza (2010), a água em condições normais contém oxigênio dissolvido e seu teor é dependente da altitude e temperatura, sendo também indispensável aos organismos aeróbios. Baixos teores de oxigênio indicam recebimento de matéria orgânica no corpo hídrico, já que sua decomposição por bactérias aeróbias consome oxigênio, podendo levar a valores muito baixos desse parâmetro, impactando diretamente os organismos aeróbios. A conformidade da concentração de oxigênio dissolvido para todas as amostras, a baixa desconformidade de $DBO_{5,20}$ e o esgotamento sanitário deficitário da bacia discutido anteriormente, indicam o poder de autodepuração que o rio Paraíba do Sul possui na região em estudo.

Em relação ao SDT, este é um parâmetro de determinação da qualidade da água, pois avalia o peso total dos constituintes minerais presentes na mesma por unidade de volume. Além disso, é um parâmetro que condiciona a penetração de raios solares na água, sendo que valores altos podem reduzir a fotossíntese da vegetação enraizada submersa nos corpos hídricos, o que pode suprimir a produtividade de peixes. Logo, esse parâmetro pode não só influenciar as comunidades biológicas aquáticas, como também prejudicar os usos domésticos, recreacional e industrial dos recursos hídricos (CETESB, 2016).

Assim como as substâncias contendo fósforo, os compostos nitrogenados em níveis elevados podem causar crescimento excessivo de algas nos corpos hídricos, podendo prejudicar o abastecimento público, a recreação e a preservação da vida aquática (VON SPERLING, 2014). Desta forma, a conformidade da concentração de NO_3^- para todas as amostras é um aspecto positivo relacionado à qualidade da água do rio Paraíba do Sul na região do estudo.

A determinação do IQA também é uma ferramenta importante no trabalho de monitoramento, visto que esse índice é composto por relevantes parâmetros para a determinação da qualidade da água de um corpo hídrico superficial, principalmente aqueles relacionados à contaminação por esgoto sanitário (VON SPERLING, 2014).

Buzelli e Cunha-Santino (2013), por exemplo, diagnosticaram a qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, localizado na região central do estado de São Paulo, Bacia do Médio Tietê Superior, utilizando-se o IQA e o IET e evidenciaram a importância da gestão ambiental para a recuperação e preservação dos recursos naturais.

Com relação aos resultados avaliados no presente trabalho, observou-se que a média obtida para esse índice foi de 66,8 (qualidade média) variando de 41,5 (qualidade ruim) a 84,2 (boa). Indicando que alguns dos parâmetros que compõem o IQA devem ser melhorados na região do rio em estudo.

Com a aplicação do teste de ANOVA seguido do teste de TUKEY para todos os parâmetros/índices analisados entre os anos de 2012 e 2019 (Tabela 3), com grau de significância de 1%, foi possível observar que os parâmetros coliformes termotolerantes, NO_3^- , pH e temperatura e o índice IQA apresentaram variações estatisticamente significativas entre os anos, p -valor (ANOVA) < 0,01.

Tabela 2: Médias (\bar{X}) e estimativas do desvio padrão (s), considerando-se todos os quatro pontos amostrais, dos parâmetros avaliados pelo INEA no baixo Paraíba do Sul entre os anos de 2012 e 2019, *p*-valor para os testes de ANOVA realizados e os resultados obtidos no teste de média de TUKEY ao nível de significância de 0,01.

Parâmetros Período	Coli. term. NMP/100 mL	P _T mg L ⁻¹	NO ₃ ⁻ mg L ⁻¹	OD mg L ⁻¹	pH	Turb. UNT	SDT mg L ⁻¹	Temp. °C	IQA	
2012	\bar{X}	19461^a	0,0656^a	0,6006^b	8,03^a	7,30^{abc}	16,37^a	69,61^a	22,07^c	64,08^b
	s	47870	0,0336	0,3479	0,74	0,61	25,45	31,48	2,78	8,64
2013	\bar{X}	12077^{ab}	0,0817^a	0,7618^{ab}	8,20^a	7,61^a	23,64^a	54,41^a	22,64^{bc}	66,93^{ab}
	s	29433	0,0578	0,6524	0,72	0,69	34,93	33,78	2,09	9,41
2014	\bar{X}	3929^{ab}	0,0998^a	0,6279^b	8,23^a	7,18^c	8,87^a	64,48^a	24,09^{abc}	68,11^{ab}
	s	7809	0,1849	0,0951	0,80	0,19	12,14	18,56	2,56	7,33
2015	\bar{X}	8725^{ab}	0,1009^a	0,9528^a	8,12^a	7,06^c	34,24^a	61,34^a	24,30^{ab}	65,23^{ab}
	s	17122	0,1875	0,4963	0,74	0,16	130,76	21,95	2,04	8,45
2016	\bar{X}	4393^{ab}	0,0602^a	0,7632^{ab}	8,03^a	7,30^{bc}	32,26^a	65,69^a	25,33^a	64,81^{ab}
	s	6201	0,0472	0,2078	0,88	0,35	37,77	47,11	2,68	9,16
2017	\bar{X}	1325^b	0,0463^a	0,7229^{ab}	8,30^a	7,28^{bc}	17,50^a	65,79^a	24,15^{ab}	68,95^{ab}
	s	2191	0,0411	0,1231	0,96	0,57	25,76	15,79	2,43	6,46
2018	\bar{X}	2417^b	0,0556^a	0,7430^{ab}	8,19^a	7,51^{ab}	25,67^a	63,71^a	25,29^a	64,68^{ab}
	s	3737	0,0361	0,3121	0,73	0,20	39,99	23,89	2,96	6,78
2019	\bar{X}	2547^b	0,0385^a	0,8396^{ab}	8,10^a	7,62^a	12,80^a	48,33^a	25,92^a	70,28^a
	s	5509	0,0349	0,3244	0,76	0,28	11,68	28,78	3,00	6,68
<i>p</i> -valor ^w ANOVA	6,785E-4	0,0197	1,090E-3	0,7196	2,639E-12	0,2212	0,0135	5,128E-12	6,661E-3	

Onde: Coli. term.= Coliformes termotolerantes; P_T= Fósforo total; NO₃⁻= Nitrato; OD= Oxigênio dissolvido; pH= Potencial hidrogeniônico; Turb.= Turbidez; SDT=Sólidos dissolvidos totais; Temp.= Temperatura; IQA= Índice de Qualidade de Água; ^wNível de significância de 0,01; ^{a,b,c}Indicam os resultados do teste de média de Tukey, letras iguais significam médias iguais ao nível de significância de 0,01 e letras distintas mostram médias diferentes.

No caso dos coliformes termotolerantes e do IQA observa-se, de forma geral, uma melhoria nos resultados desse parâmetro e do índice ao longo dos anos. Ou seja, nos anos iniciais observa-se maiores valores médios de coliformes termotolerantes e menores valores de IQA e, nos anos finais, essa tendência se inverte. Embora, no caso do parâmetro fosforo total, não se tenha observado diferença estatisticamente significativa entre os anos, há, também, uma tendência de diminuição para esse parâmetro nos anos finais avaliados no presente trabalho. Essas observações podem ser um indicativo de melhorias no sistema de esgotamento sanitário na área de estudo nos anos finais da avaliação.

A quantidade de parâmetros/índice (coliformes termotolerantes, NO₃⁻, pH, temperatura e IQA) em que as médias variaram significativamente entre os anos pode ser ainda um indicativo da influência das diferentes vazões durante o intervalo de estudo. O clima também é um fator que pode contribuir para a diferença apresentada pelos testes estatísticos, já que mudanças nas épocas chuvosas e secas podem afetar de forma significativa os parâmetros de qualidade de água de um corpo hídrico (ANA, 2015).

Queiroz *et al.* (2017) verificaram diferenças nos parâmetros de qualidade de água em períodos chuvosos e períodos mais secos na Bacia do rio Paraíba do Sul. Também relacionaram o período chuvoso (novembro de 2013 e fevereiro de 2014) ao arraste de compostos tóxicos e matéria orgânica para o corpo hídrico, resultando em um maior efeito tóxico e na redução da solubilidade do OD. Não obstante, verificaram que além do lançamento de esgoto, a lixiviação de matéria orgânica causada pelas frequentes chuvas em alguns períodos pode ter contribuído para o aumento de alguns parâmetros, considerando que a maioria dos pontos avaliados não possuía mata ciliar preservada.

Conforme Alvarenga *et al.* (2012), a distribuição espacial e temporal das chuvas é um fator que influencia fortemente os aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos da região da Bacia do rio Paraíba do Sul. A chuva é um evento que altera as características de um corpo hídrico, bem como do ambiente ao seu redor.

De acordo com Santos *et al.* (2010) e Gerald e George (2012) as variações pluviométricas ao longo do ano ocasionam distintos tipos de padrões sazonais que mudam a intensidade dos processos ambientais. Logo, processos erosivos são desencadeados levando à lixiviação de matéria orgânica, nutrientes e poluentes, e também as chuvas modificam o regime de vazão de corpos hídricos, aumentando a capacidade de diluição destes compostos. Assim, observa-se que o período chuvoso surge como um agente intensificador dos impactos causados no rio Paraíba do Sul.

Quanto aos tratamentos estatísticos dos dados entre os pontos amostrais (Tabela 4) para a identificação de diferenças significativas entre os trechos, constatou que as médias dos parâmetros NO_3^- , oxigênio dissolvido, pH, temperatura e o índice IQA diferiram significativamente. Logo, para esses parâmetros, ressalta-se uma maior heterogeneidade nos dados entre esses trechos, conferindo uma maior variação de seus valores em relação à média.

Tabela 3: Médias (\bar{X}) e estimativas do desvio padrão (s), entre os anos de 2012 e 2019, dos parâmetros avaliados pelo INEA no baixo Paraíba do Sul em quatro pontos amostrais, *p*-valor para os testes de ANOVA realizados e os resultados obtidos no teste de média de TUKEY ao nível de significância de 0,01.

Parâmetros/ Ponto amostral	Coli. term. NMP/100 mL	P_T mg L ⁻¹	NO_3^- mg L ⁻¹	OD mg L ⁻¹	Ph	Turb. UNT	SDT mg L ⁻¹	Temp. (°C)	IQA	
Ponto 1	\bar{X}	4730 ^a	0,0720 ^a	0,9222 ^a	8,12 ^{ab}	7,42 ^{ab}	31,53 ^a	61,15 ^a	25,19 ^a	69,23 ^a
	s	19104	0,1035	0,5417	0,74	0,48	93,31	23,46	2,65	9,30
Ponto 2	\bar{X}	6192 ^a	0,0702 ^a	0,7179 ^b	8,26 ^{ab}	7,24 ^b	18,01 ^a	60,04 ^a	24,12 ^{ab}	65,93 ^{ab}
	s	26059	0,1111	0,3181	0,84	0,37	30,27	27,72	2,69	7,25
Ponto 3	\bar{X}	10445 ^a	0,0547 ^a	0,7161 ^b	8,30 ^a	7,31 ^{ab}	14,89 ^a	67,32 ^a	24,30 ^{ab}	64,33 ^b
	s	21635	0,0764	0,2849	0,77	0,38	22,85	39,98	2,90	7,62
Ponto 4	\bar{X}	4983 ^a	0,0758 ^a	0,6512 ^b	7,93 ^b	7,47 ^a	21,31 ^a	57,46 ^a	23,76 ^b	68,17 ^{ab}
	s	13907	0,1212	0,2637	0,77	0,55	32,82	23,67	2,96	7,70
<i>p</i> -valor ^w ANOVA	0,2388	0,5433	5,456E-05	7,564E-03	2,506E-3	0,1689	0,1414	6,262E-3	1,578E-3	

Onde: Coli. term.= Coliformes termotolerantes; P_T = Fósforo total; NO_3^- = Nitrato; OD= Oxigênio dissolvido; pH= Potencial hidrogeniônico; Turb.= Turbidez; SDT=Sólidos dissolvidos totais; Temp.= Temperatura; IQA= Índice de Qualidade de Água; ^wNível de significância de 0,01; ^{a,b,c}Indicam os resultados do teste de média de Tukey, letras iguais significam médias iguais ao nível de significância de 0,01 e letras distintas mostram médias diferentes.

O parâmetro nitrato diferiu significativamente apenas entre o ponto 1 (localizado em Itaocara), com o maior valor de média, e os demais. Possivelmente o ponto 1 está recebendo maior quantidade de nitrato devido ao uso de fertilizantes próximo da região (VON SPERLING, 2014).

Para o parâmetro OD apenas entre o ponto 1 e 2 não houve diferença significativa. Sendo o ponto 3 com o maior valor de média de OD e ponto 4 com o menor valor. O menor valor obtido no ponto 4 pode ter ocorrido devido à menor velocidade e à falta de corredeiras, que ajudam a oxigenar a água, neste ponto do rio.

Embora as médias dos valores do parâmetro coliformes termotolerantes não tenham apresentado diferenças significativas na análise entre os pontos (Tabela 4), o ponto 3 apresentou o maior valor de média para o mesmo. O mesmo ponto apresentou o menor valor médio para o IQA. Ele está localizado no município de São Fidelis, onde o serviço de coleta e de tratamento de esgotos é realizado pela prefeitura municipal, com índice de atendimento de 99 % não tratado e 1 % tratado (para uso individual), sendo que o esgotamento sanitário na zona rural é realizado através de fossas sépticas, com caixa de gordura, sendo sanitariamente adequadas (SÃO FIDELIS, 2012).

O destino final dos efluentes sanitários, coletados ou não, é realizado nos cursos d'água da região, na maioria das vezes sem tratamento prévio. Ressalta-se que estes lançamentos indiscriminados, dos esgotos na forma "*in natura*" nos corpos d'água, podem ocasionar diversos inconvenientes como o aspecto e odor desagradáveis até a disseminação de doenças infectocontagiosas de veiculação hídrica. A contaminação das águas superficiais e subterrâneas gera sérios problemas à saúde pública local, visto que diversas doenças podem ser transmitidas pelo consumo de água (SÃO FIDELIS, 2012).

3 CONCLUSÃO

Considerando-se os parâmetros físico-químicos e microbiológicos que foram contemplados no presente trabalho no período avaliado, a qualidade da água nos pontos estudados do rio Paraíba do Sul estava, em sua maioria, compatível com o enquadramento água doce/classe II.

Porém, principalmente para o parâmetro coliformes termotolerantes foi encontrada porcentagem elevada de desconformidade com a legislação vigente entre as amostras avaliadas o que indica que está havendo impactos causados, principalmente, pelo lançamento de esgotos domésticos sobre o rio Paraíba do Sul na região avaliada. Desta forma, esses impactos devem ser minimizados e requerem investimento em ações para promover a melhoria da qualidade da água deste manancial para que esteja em conformidade com a legislação vigente, inclusive às exigências estabelecidas pela Resolução CONAMA 357/05.

Dentre as ações, destacam-se o melhoramento da proteção da cobertura vegetal ciliar, o planejamento sobre a ocupação do solo na bacia e o aumento da coleta e do tratamento dos esgotos domésticos e industriais ao longo de toda a bacia hidrográfica para a melhoria da qualidade da água desse importante corpo hídrico brasileiro.

Observou-se ainda que o nível de coliformes termotolerantes e o IQA melhoraram ao longo do período avaliado indicando que algumas ações de melhoria da qualidade da água desse rio possam estar em andamento.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGEVAP – Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Novembro, 2006.
- AGEVAP – Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Novembro, 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil**. 1ª edição. Brasília/DF, Brasil. Agência Nacional das Águas, 2005.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Portal da Qualidade das Águas. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/rede-nacional-rede-monitoramento.aspx>>. Acesso em: 8 set. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Região Hidrográfica Amazônica: a maior do mundo em disponibilidade de água**. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/amazonica>. Acesso em: 14 set 2020.
- ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 81-97, jan./mar. 2003.
- ALVARENGA, L. A.; MARTINS, M. P. P.; CUARTAS, L. A.; PENTEADO, V. A.; ANDRADE, A. Estudo da qualidade e quantidade da água em microbacia, afluente do Rio Paraíba do Sul – São Paulo, após ações de preservação ambiental. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 3, p. 228-240, 2012.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Bacia do rio Paraíba do Sul**, 2015. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/outorgaefiscalizacao/RioParaibadoSul.aspx>>. Acesso em: maio de 2021.
- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington, 2005.
- ATLAS ESGOSTOS - Despoluição das Bacias Hidrográficas, 2022. Disponível em: <http://atlasegotos.ana.gov.br/>. Acesso em: maio de 2022.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, **Diário Oficial da União**, Brasília, 9 jan. 1997.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 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. Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 18 mar. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Brasília, 1997.

BRASIL. Ministério Da Saúde. **Documento Base de Elaboração da Portaria MS nº2.914/2011: Portaria de Potabilidade da Água para Consumo Humano.** Brasília/DF, Brasil. Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria no 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, p. 39, 12 dez. 2011.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, 2015 [viewed 13 May 2019]. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2015 [online]. Available from: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.

CARVALHO, K. Q.; LIMA, S. B.; PASSIG, F. H.; GUSMÃO, L. K. SOUZA, D. C.; KREUTZ, C.; BELINI, A. D.; ARANTES, E. J. Influence of urban área on the water quality of the Campo River basin, Paraná State, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 4, p. 96-106, 2015.

CAVALCANTI, B. S.; MARQUES, G. R. GARCIA (2016). Recursos hídricos e gestão de conflitos: A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul a partir da crise hídrica de 2014-2015. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, v. 15, n. 1, p. 04-16.

CINTRA, C. R. *et al.* Monitoramento de Parâmetros de Qualidade da Água do Rio Paraíba do Sul em Campos Dos Goytacazes – RJ. **HOLOS**, Ano 36, v.5, e9564, 2020.

COLETTI, C.; TESTEZLAFL, R.; RIBEIRO, T. A. P.; SOUZA, R. T. G. de; PEREIRA, D. de A. Water quality index using multivariate factorial analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 517-522, 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas de Amostragem. In: Série Relatórios/CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2009**. 2ª edição. Apêndice A. São Paulo/SP, Brasil. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Variáveis de qualidade de água**. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#transparencia>>. Acesso em: 19 Jan. 2011.

- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB (São Paulo). **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo** 2017. [recurso eletrônico] . São Paulo : CETESB, 2018. 1 arquivo de texto, 301 p.
- CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CNRH. **Resolução nº 91**, de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Diário Oficial da União. 6 Fev 2009.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução Nº 396**, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasil, 2008.
- COPPETEC. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro, PERHI-RJ. **Relatório Síntese. Rio de Janeiro**, 2014. 125 p.
- FINKLER, N. R.; PERESIN, D.; COCCONI, J.; BORTOLIN, T. A.; RECH, A.; SCHNEIDER, V. E. Qualidade da água superficial por meio de análise do componente principal. **Rev. Ambient. Água** v. 10, n. 4, p. 782-792, 2015.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Water for Sustainable Food and Agriculture**. FAO: Roma, 2017.
- GERALDES, A. M.; GEORGE, C. Limnological variations of a deep reservoir in periods with distinct rainfall patterns. **Acta Limnologica Brasiliensis**, v. 24, n. 4, p. 417-426, 2012.
- GLEICK, P. H. **Water in crisis: a guide to the world's fresh water resources**. New York: Oxford University Press, 1993.
- GONZÁLEZ, O.; ALMEIDA, C.; QUINTAR, S.; MALLEA, M.; GONZÁLEZ, P. Application of multivariate statistical techniques to evaluate organic pollution on a river in Argentina. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 27-42, 2011.
- INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (IEMA). **Região hidrográfica do Rio Itabapoana**. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/Search?q=rio+Itabapoana&culture=pt-BR>. Acesso em: 15 de set de 2020.
- INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). (2018). **Gestão da Qualidade das Águas**. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Qualidadedaagua/index.htm&lang=PT-BR>. Acesso em: 15 de set de 2020.
- LEITE, M. A. et al. **Usos múltiplos da água**. In: DORNFELD, C. B.; TALAMONI, A. C. B.; QUEIROZ, T. V. O Jogo digital na sala de aula - ÁGUA, AÇÃO E REFLEXÃO: elaboração de jogo digital para a Educação Básica. Ilha Solteira: Unesp, 2019. Cap. 4. p. 44-57.

- MALAFAIA, J. P.; MIRANDA, A. C.; GOMES, H. P. A Bacia do Rio Paraíba do Sul: cenário de uma atividade de EA a partir de problemas ambientais. **ANAP Brasil**, v. 5, n. 5, p. 1-12, 2012.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável**, v. 3, n. 4, 33-38, 2002.
- PASSIG, F. H.; LIMA, S. B.; CARVALHO, K. Q.; HALMEMAN, M. C. R.; SOUZA, P. C.; GUSMÃO, L. K. Monitoring of urban and rural basins: water quality of Mourão basin. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 4, p. 158-164, 2015.
- PEREIRA, M. C. S. et al. Melhoria da qualidade da água de rios urbanos: novos paradigmas a explorar–Bacia hidrográfica do rio Pinheiros em São Paulo. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, p. 577-590, 2021.
- QUEIROZ, L. G. et al. Caracterização estacional das variáveis físicas, químicas, biológicas e ecotoxicológicas em um trecho do Rio Paraíba do Sul, SP, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v. 12, n. 2, Taubaté – Mar. Apr., 2017.
- ROCHA, B. C. S.; DA HORA, M. A. G. M.; MORAES, J. R. Diagnosis of water quality of the Mataruna river, municipality of Araruama, RJ, through physical, chemical and microbiological parameters, **Revista Espacios**, v. 38, n. 27, p. 2, 2017.
- ROCHA, E. S. *et al.* Análise Microbiológica da Água de Cozinhas e/ou cantinas das Instituições de Ensino do Município de Teixeira de Freitas (BA). **Revista Baiana de Saúde Pública**. v. 34, n. 3, p. 694-705, 2010.
- RODRIGUES, M. B.; LIPP-NISSINEN, K. H. Diagnóstico de parâmetros de qualidade do rio Gravataí no interior da Área de Proteção Ambiental (APA) do Banhado Grande, RS, e a detecção de situação de criticidade, **Revista Thema**, v. 15, n. 3, p. 1137-1153, 2018.
- SANTOS, R. C. L.; LIMA, A. S.; CAVALCANTI, E. B.; MELO, C.; MARQUES, M. N. Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 33-46, 2018.
- SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 115-123, 2010.
- SÃO FIDÉLIS, 2012a. **Plano Municipal de Saneamento Básico: plano regional de saneamento com base nas modalidades água, esgoto e drenagem urbana** – São Fidélis. AGEVAP. CEIVAP. DRZ Geotecnologia e Consultoria. 2012. Disponível em: . Acesso em: jan 2020.
- SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 733-742, 2008.

SOUZA, C. F. *et al.* Avaliação da qualidade da água do rio Paraíba do Sul no município de Taubaté-SP. **Revista Biociências**, v. 16, n. 1, 2010.

SPERLING, M. V., **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento De Esgotos**. 3ª edição. Volume 1. Belo Horizonte/MG, Brasil. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 2005.

TYAGI, S., SHARMA, B., SINGH, P., DOBHAL, R. Water quality assessment in terms of water quality index. **American Journal of water resources**, v. 1, n. 3, p. 34-38, 2013.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2014. 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA DISSERTAÇÃO

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA (2017) Atlas esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas. Disponível: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acessado em 25 de agosto de 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N°357, De 17 De Março De 2005. Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 18 Mar. 2005.

BUZELLI GM, CUNHA-SANTINO MB. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 8, n. 1, 186-205, 2013.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). (2018). Gestão da Qualidade das Águas. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Qualidadedaagua/index.htm&lang=PT-BR>. Acesso em: 15 de set de 2020.

MARQUES JRA et al. Situação sanitária e o uso da água do Igarapé Santa Cruz, município de Breves, Arquipélago de Marajó, Pará, Brasil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 25, n. 4, p. 597- 606, 2020.

PALMA, D. A. Monitoramento de Qualidade da Água com o Enfoque Ciência Cidadã: Estudo de Caso em Brazlândia [Distrito Federal]. Graduação em Engenharia Ambiental, 2016.