

AValiação Temporal da Qualidade das Águas Superficiais e do Tratamento de Esgoto de Rio Claro-SP

TEMPORAL EVALUATION OF SURFACE WATER QUALITY AND WASTEWATER TREATMENT IN RIO CLARO-SP

Jandir Pereira BLASIUS, Paulo Henrique dos SANTOS, Renata Xavier Lona de MORAES, André Corrêa de TOLEDO, Marcelo Loureiro GARCIA

Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Avenida 24-A, 1.515. Rio Claro – SP.

E-mails: jandirblasius@gmail.com; paulosantos_rc@yahoo.com.br; renata_lona@hotmail.com; andre.correa.toledo@gmail.com; marcelo.garcia@unesp.br

Introdução
Material e métodos
 Área de estudo
 Análise da qualidade das águas superficiais
 Análise da qualidade do sistema de tratamento de esgoto
Resultados e discussão
 Qualidade das águas superficiais
 Indicadores de qualidade das águas superficiais
 Qualidade do sistema de tratamento de esgoto
Conclusões
Referências

RESUMO - Considerando a importância da água e a influência das ações antrópicas na degradação dos recursos hídricos, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar temporalmente a qualidade das águas superficiais e do sistema de tratamento de esgoto do município de Rio Claro-SP. Foram avaliados cinco pontos de monitoramento de águas superficiais bem como os efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE): Flores e Conduta. Os resultados foram comparados aos padrões estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº. 357/2005 e 430/2011, Decisão de Diretoria da CETESB nº. 112/2013/E e Decreto Estadual nº. 8.468/1976. A análise histórica revelou que os parâmetros: turbidez, oxigênio dissolvido, nitrato, nitrogênio amoniacal e clorofila-a atenderam aos limites estabelecidos pela Legislação. Enquanto, a condutividade elétrica, DBO, *Escherichia coli*, fósforo total e teores de alumínio e ferro dissolvidos e manganês total apresentaram desconformidades. Em relação ao tratamento de esgoto, os efluentes das ETE estudadas atenderam à Legislação para os indicadores de DBO, pH e sólidos sedimentáveis e apresentaram elevada eficiência da remoção de DBO (> 80%) e de DQO (> 77%). De modo geral, a avaliação dos índices de qualidade da água revelou forte correlação entre as características pedológicas, a localização e as atividades econômicas desenvolvidas na região.

Palavras-chave: Recursos hídricos. Monitoramento ambiental. Saneamento básico. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº. 6.

ABSTRACT - Considering the importance of water and the influence of human actions on the degradation of water resources, the present work aimed to evaluate temporally the quality of surface water and the sewage treatment system in the municipality of Rio Claro-SP. The water quality was evaluated at five monitoring points as well as the effluents from the Sewage Treatment Stations (STS): Flores and Conduta. The results were compared to the standards established by CONAMA Resolutions nº. 357/2005 and nº. 430/2011, CETESB Board Decision nº. 112/2013/E and State Decree nº. 8,468/1976. The historical analysis revealed that the parameters: turbidity, dissolved oxygen, nitrate, ammonia nitrogen and chlorophyll-a met the limits established by the Legislation. Meanwhile, electrical conductivity, BOD, *Escherichia coli*, total phosphorus, dissolved aluminum and iron and total manganese contents showed nonconformities. Regarding sewage treatment, the effluents from the STS studied complied with the Legislation for the indicators of BOD, pH and settling solids and showed high efficiency in removing BOD (> 80%) and COD (> 77%). In general, the evaluation of water quality indices revealed a strong correlation between soil characteristics, location and economic activities developed in the region.

Keywords: Water resources. Environmental monitoring. Sanitation. Sustainable Development Goal nº 6.

INTRODUÇÃO

De acordo com estimativa da Organização das Nações Unidas - ONU, devido ao crescimento populacional, aos padrões de consumo e ao desenvolvimento econômico, o consumo de água aumenta cerca de 1% ao ano (ONU, 2021). Sendo assim, a crescente demanda por água tratada implica em desafios à gestão sustentável deste recurso. Devido à facilidade de acesso, as águas superficiais representam a principal fonte de abastecimento (Ferreira, 2017). Este recurso é

suscetível aos produtos e subprodutos provenientes de diversas atividades antrópicas, tais como: agricultura, indústrias, mineração, aglomerações urbanas, deficiência de saneamento e entre outras.

Neste sentido, em 2020, do total de efluentes domésticos gerados no Brasil, apenas 50,8% foram coletados, e deste percentual, somente 79,8% foram tratados (SNIS, 2021). Em consequência da falta de coleta e/ou tratamento

ineficiente, os esgotos domésticos constituem a principal ameaça à qualidade das águas (ANA, 2012), do solo e do ar, além de gerar malefícios à biota, à saúde humana e ao desenvolvimento econômico e social.

A contribuição das indústrias consiste no lançamento de efluentes contendo elementos metálicos potencialmente tóxicos, tais como: cobre, zinco, cromo, chumbo e o níquel (Falqueto, 2008). Enquanto isso, as atividades agrícolas, que utilizam agrotóxicos e fertilizantes, são responsáveis pelo lançamento de produtos químicos e nutrientes, que resultam na contaminação e eutrofização dos corpos hídricos (FAB - PCJ, 2020).

A qualidade dos corpos hídricos é resultante de condições naturais e de fatores antrópicos, relacionados ao uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. Diversos parâmetros são utilizados para avaliar a qualidade das águas, tais como: cor, turbidez, condutividade elétrica, temperatura, pH, alcalinidade, dureza, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), metais pesados e entre outros (Von Sperling, 2007).

A fim de garantir a manutenção da qualidade das águas superficiais, a Resolução CONAMA n.º. 357/2005 (alterada pela Resolução n.º. 430/2011), estabeleceu padrões de lançamento de efluentes e critérios ambientais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais (Brasil, 2005, 2011). Dessa forma, os corpos hídricos são classificados segundo os seus usos preponde-

rantes, com intuito de diminuir os custos de combate à poluição, mediante ações preventivas permanentes.

Nessa perspectiva, através da Agenda 2030, a ONU estabeleceu o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável n.º. 6, que tem como meta a garantia do acesso universal à água em padrões de qualidade adequados, através de ações que reduzam a poluição, eliminem o despejo e a liberação de produtos químicos e materiais perigosos nas águas (ONU, 2022). Para que esta meta seja cumprida se faz necessária a fiscalização e o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos.

No Estado de São Paulo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) é o órgão ambiental responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais. Enquanto, a Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (ARES-PCJ) é responsável por regular e fiscalizar os serviços de saneamento básico de alguns municípios, incluindo o município objeto deste estudo (Rio Claro-SP).

Neste sentido, o presente estudo teve por objetivo avaliar temporalmente a qualidade das águas superficiais e do sistema de tratamento de esgoto do município de Rio Claro/SP, a fim de averiguar se estes sistemas estão em conformidade com a legislação vigente e dessa forma, fornecer subsídios para estimativa do cumprimento ou não do ODS n.º 6 da Agenda 2030.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O município de Rio Claro (Figura 1) está localizado no interior do Estado de São Paulo, a 175 km da capital, entre as coordenadas 22°24'39" S e 47°33'39" O. Possui área territorial de 498,42 km² e população estimada em 209.548 habitantes (IBGE, 2021).

Segundo a classificação Köppen, o clima é classificado como "cwa" (subtropical úmido), sendo caracterizado por duas estações bem definidas: inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual é de 22 °C e a média pluviométrica é de 1400 mm/ano (Cardoso-Leite et al., 2004).

Geologicamente, o município está localizado no setor paulista do flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, representada por rochas sedimentares e vulcânicas das eras Paleozoica

(Grupo Itararé; formações Tatuí, Irati e Corumbataí), Mesozoica (formações Piramboia, Botucatu e Serra Geral) e Cenozoica (Formação Rio Claro e depósitos recentes) (Medeiros, 2012).

A topografia de Rio Claro é pouco acidentada e a altitude varia entre 500 e 650 m. Os tipos de solos presentes são: Argissolos Vermelho-Amarelos (67,9% - que apresenta teores elevados de alumínio e alta suscetibilidade à erosão), Latossolos Vermelhos (21,3%), Latossolos Vermelho-Amarelos (6,9%) e Neossolos Litólicos (3,9%) (PMRC, 2014).

O Município pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos n.º. 05 (UGRHI – 05), constituída pelas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) e sub-bacia do Rio Corumbataí. Os corpos hídricos presentes em Rio Claro são os rios Corumbataí e Ribeirão Claro,

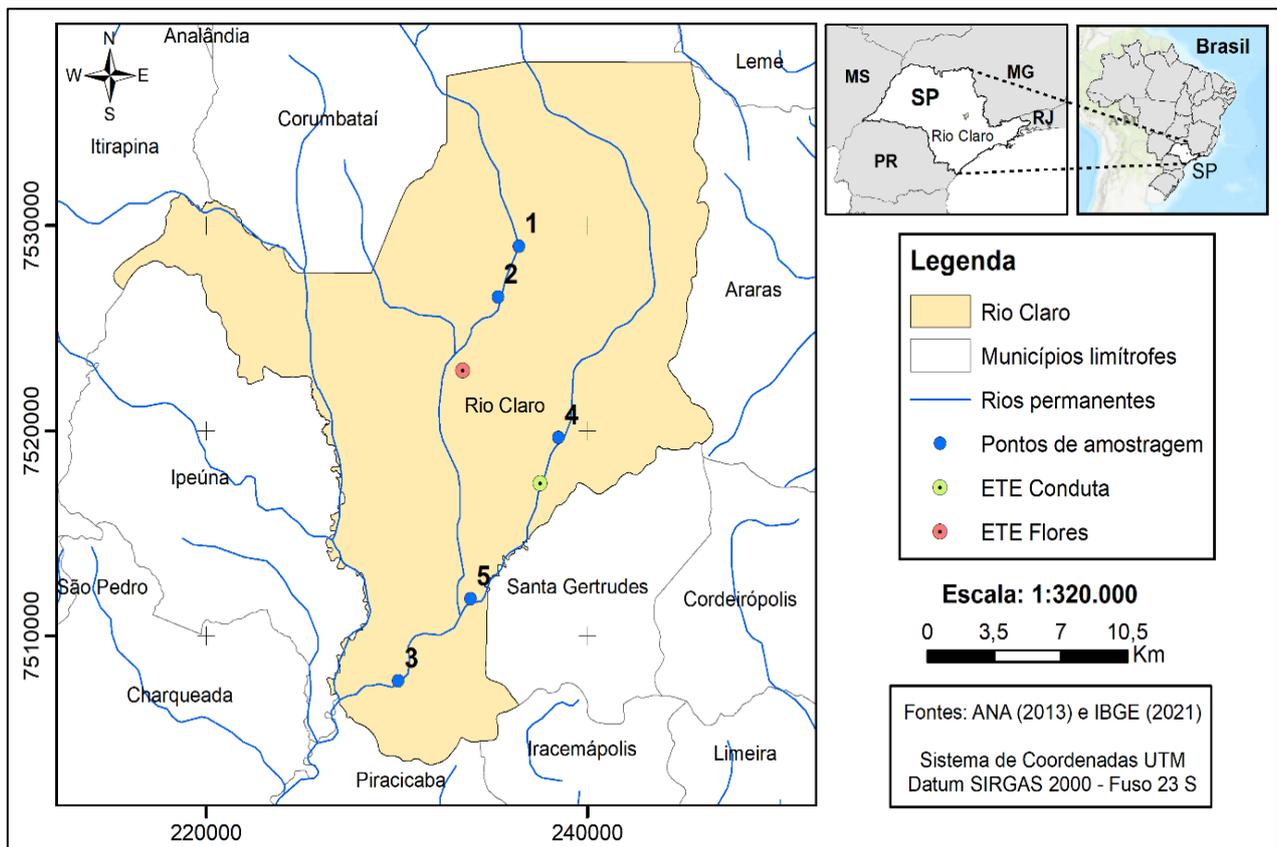


Figura 1 - Mapa de localização do município de Rio Claro – SP com destaque dos pontos de amostragem das águas superficiais e localização das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE).

destinados para captação e abastecimento de água do município. De acordo com o Decreto Estadual nº. 10.755/1977, ambos os rios foram enquadrados na classe 2 (exceto um trecho do Ribeirão Claro que em um ponto de amostragem (ponto 4) foi enquadrado na classe 3) (São Paulo, 1977).

O abastecimento público é o principal usuário de água na Bacia do Rio Corumbataí, com demanda total de 43,94%, seguido pela irrigação (31,82%), pelo setor industrial (22,11%) e pela dessedentação animal (2,13%) (FAB-PCJ, 2020).

As principais atividades econômicas desenvolvidas no município são: produção de eletroeletrônicos, fibras de vidro, termoplásticos, plásticos, segmento cerâmico, cimento, cal, reagentes químicos, alimentos, segmento sucroalcooleiro e entre outros (FAB-PCJ, 2020).

O município de Rio Claro atende 100% da população com abastecimento de água potável (SNIS, 2021). A infraestrutura de abastecimento é composta por duas captações de águas superficiais, duas captações subterrâneas, três estações elevatórias, 55 reservatórios e duas ETA – Estações de Tratamento de Água - I e II (DAAE, 2019).

Cerca de 99,91% da população é atendida pelo sistema de coleta de esgoto (SNIS, 2021) e deste montante, 92% do esgoto coletado é tratado (BRK Ambiental, 2019). A estrutura do sistema

de tratamento de esgoto é composta por 13 estações elevatórias e 8 Estações de Tratamento de Esgoto - ETE, sendo quatro delas localizadas em área urbana: Flores, Palmeiras, Conduta e Jardim Novo.

Análise da qualidade das águas superficiais

Para análise da qualidade das águas superficiais foram utilizadas informações dos relatórios anuais do Estado de São Paulo, divulgados pela CETESB. Foram selecionados dados dos parâmetros de qualidade da água: condutividade elétrica, turbidez, nitrato, nitrogênio amoniacal, OD, DBO, fósforo total, *Escherichia coli* (*E. coli*), clorofila e metais potencialmente tóxicos (manganês total, alumínio e ferro dissolvidos) para o período de 2015 a 2019 e para o ano de 2020. Também foram analisados dados do período de 2015 a 2020 sobre os seguintes parâmetros: Índices de Qualidade das Águas (IQA), Índice de Qualidade das Águas para Fins de Abastecimento Público (IAP) e Índice de Estado Trófico (IET).

Para a coleta de dados foram selecionados cinco pontos de amostragem (Figura 1 e 2), sendo três pontos dispostos no Rio Corumbataí e dois no Ribeirão Claro, de forma a englobar localidades à montante e à jusante da área urbana do município Rio Claro/SP. Cabe destacar que os

pontos 1 e 4 correspondem a pontos de captação de água para abastecimento.

Os dados foram comparados aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº. 357/2005 (alterada pela Resolução CONAMA nº. 430/2011) e da Decisão de Diretoria nº. 112/2013/E (CETESB, 2013) que dispõe sobre valores norteadores do parâmetro *E. coli*, considerando os corpos d'água de classe 2.

Para avaliação temporal da qualidade das águas superficiais, os resultados do presente estudo foram comparados aos trabalhos de Scarlatti et al. (2019) e Moraes et al. (2021), que estudaram os mesmos pontos de amostragem nos períodos de 2010 a 2015 e 2013 a 2018, respectivamente.

Análise da qualidade do sistema de tratamento de esgoto

Para avaliação da qualidade do sistema de tratamento de esgoto do município, foram utilizadas informações disponibilizadas pela ARES-PCJ (2019). Foram coletados dados dos parâmetros de DBO, DQO, relação DQO/DBO, sólidos sedimentáveis e pH do afluente e do efluente tratado das ETE Jardim das Flores e Jardim Conduta, no período de 2015 a 2019. Os dados foram analisados de acordo com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº. 430/2011 e pelo Decreto Estadual nº. 8.468/1976, o qual estabelece diretrizes para lançamento direto e indireto de efluentes no corpo receptor (São Paulo, 1976).

Corpo Hídrico	Ponto de coleta	Código da CETESB	Coordenadas
Rio Corumbataí	1	CRUM 02080	22°19'29" S; 47°33'32" O
	2	CRUM 02100	22°20'49" S; 47°34'12" O
	3	CRUM 02200	22°30'54" S; 47°37'26" O
Ribeirão Claro	4	LARO02500	22°24'33" S; 47°32'25" O
	5	LARO02900	22°28'46" S; 47°35'11" O

Figura 2 - Descrição dos pontos de amostragem de águas superficiais (Fonte: CETESB, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade das águas superficiais

Os resultados da avaliação temporal da qualidade das águas superficiais são apresentados nas figuras 3 e 4. Por não haver valor de referência para águas de classe 2 para o parâmetro condutividade elétrica, foi adotado o valor de 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, pois de acordo com a CETESB (2016), acima desse valor é um indicativo de águas poluídas. Durante todo o período analisado, os pontos de monitoramento 3 e 5 apresentaram valores de condutividade elétrica acima do índice de referência, enquanto os demais pontos (1, 2 e 4) mantiveram-se abaixo (Figura 2a).

Cabe ressaltar que os pontos que historicamente apresentam valores elevados de condutividade elétrica são localizados à jusante da área urbana do município de Rio Claro. É provável que os corpos hídricos recebam crescente carga de íons, proveniente da poluição mineral de atividades agrícolas (Palma-Silva, 2006) e/ou das indústrias cerâmicas presentes na região.

A turbidez é caracterizada pela presença de sólidos suspensos (compostos orgânicos e minerais) na água (Ferreira et al., 2015). O aumento deste parâmetro pode ser ocasionado pela preci-

pição (devido ao carreamento e a suspensão de partículas), lançamento de efluentes domésticos, industriais, atividades agropecuárias e mineração (CETESB, 2013).

De acordo com a análise temporal, todos os pontos apresentaram valores de turbidez dentro da faixa limite estabelecida pela Resolução CONAMA nº. 357/2005, de 100 UNT (Figura 2b). Este resultado pode indicar baixa interferência das atividades antrópicas nos corpos hídricos, sem prejuízo à manutenção da qualidade do ecossistema aquático.

O nitrogênio é um nutriente essencial para o metabolismo dos ecossistemas aquáticos, porém quando presente em grande quantidade, resulta na eutrofização do corpo hídrico, que consiste no crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas e na redução do nível de OD. O processo de eutrofização pode ocorrer pelo despejo de efluentes ricos em matéria orgânica e minerais. Os parâmetros da série de Nitrogênio: nitrato (Figura 2c) e nitrogênio amoniacal (Figura 2d) também apresentaram valores abaixo dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº. 357/2005 (10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e 3,7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, para valores de

pH inferiores a 7,5), respectivamente durante o período monitorado.

De acordo com Silva & Araújo (2003), concentração elevada de nitrato é indício de contaminação por lançamento de efluentes

domésticos e industriais, além de uso de fertilizantes agrícolas e sinaliza que a fonte de poluição está distante do ponto de amostragem, porque o nitrato é o produto da oxidação do nitrogênio.

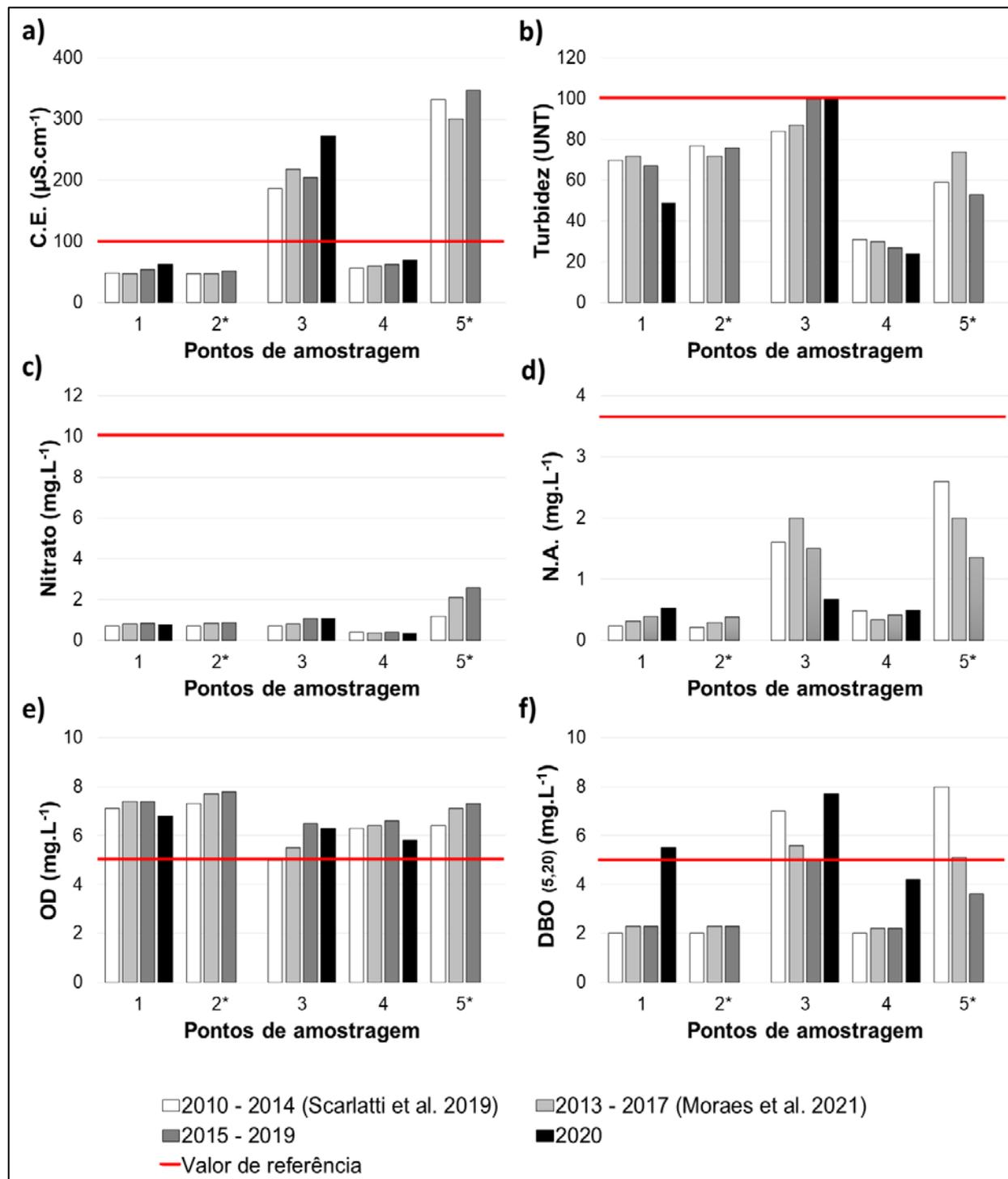


Figura 3 – Análise temporal dos parâmetros de qualidade de água com referência aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n.º. 357/2005. *:Pontos de amostragem sem dados para o ano de 2020; C.E.: Condutividade Elétrica; N.A.: Nitrogênio Amoniacal; OD: Oxigênio Dissolvido; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio.

Por outro lado, águas com elevada concentração de nitrogênio orgânico e amoniacal podem indicar fonte de contaminação recente e próxima, pois estes compostos são liberados nas fases iniciais de degradação da matéria orgânica. Sendo assim,

é possível inferir que próximo aos pontos de amostragem não há fontes de poluição ou se existentes, apresentam baixa concentração de nitrogênio.

O OD é essencial para qualidade da água e manutenção da vida aquática e é um indicador

das condições naturais da água (Von Sperling, 2007). Este parâmetro é utilizado para detectar processos de poluição orgânica e de eutrofização dos corpos hídricos (Scarlati et al., 2019).

De acordo com a análise temporal, todos os pontos monitorados apresentaram índice de OD acima do valor de referência determinado pela Resolução CONAMA n.º. 357/2005 - 5,0 mg.L⁻¹ (Figura 2e). Segundo Reis (2019), parte do oxigênio é consumido na estabilização da matéria orgânica. Sendo assim, pela elevada disponibilidade de OD nos pontos amostrados, é possível inferir baixa concentração de matéria orgânica.

De modo geral, o teor de OD na massa d'água também depende das características de velocidade hidráulica, sendo maior em locais com maior turbulência, que favorece a aeração da água (Silva et al., 2018).

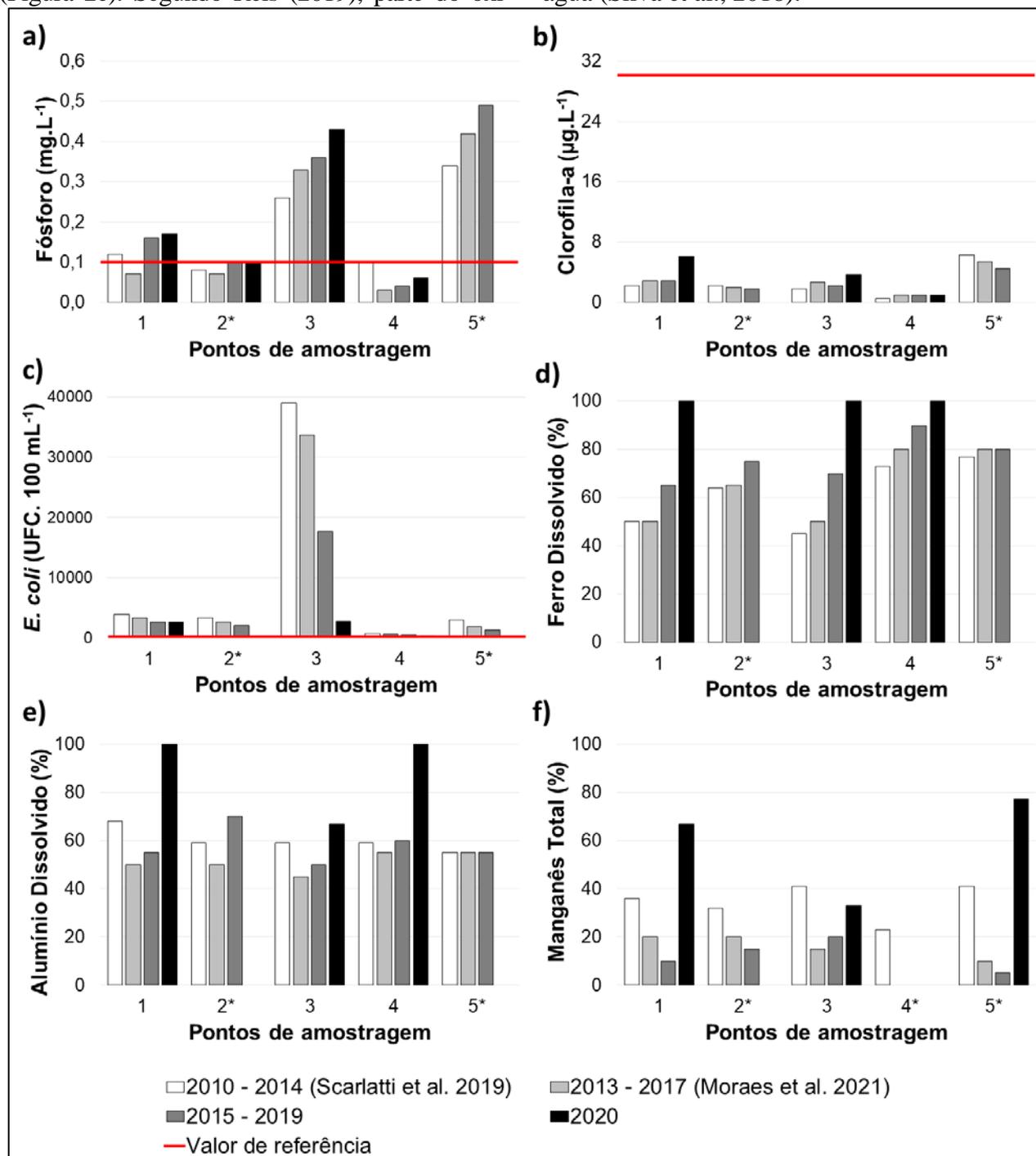


Figura 4 – Análise temporal dos parâmetros de qualidade de água com referência à Resolução CONAMA n.º. 357/2005 (a – c) e percentual de desconformidade de elementos metálicos (d – f). *: Pontos de amostragem sem dados para o ano de 2020; *E. coli*: *Escherichia coli*.

Os pontos 1 (em 2020), 3 (em todo período monitorado) e 5 (entre 2010 – 2017) apresentaram valores de DBO superiores ao estabelecido pela Resolução CONAMA n.º. 357/2005 - 5,0 mg.L⁻¹

(Figura 2f). Nos pontos 3 e 5, à jusante da área urbana no município, este comportamento é mais frequente e pode ser atribuído aos prováveis despejos clandestinos de origem orgânica. Enquanto que, para o ponto 1, localizado à montante da área urbana municipal, pode ser devido à presença de concentração elevada de matéria orgânica e carreamento de insumos agropecuários.

Em relação ao elemento fósforo (Figura 3a), os pontos 3 e 5 apresentaram concentração acima de valor de referência estabelecido pela Resolução CONAMA n.º. 357/2005 ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$) durante todo o período analisado. Já no ponto 1, a média da concentração de fósforo apresentou valor superior ao limite padrão somente no período de 2013 a 2017. Enquanto, os pontos 2 e 4 não ultrapassaram o valor de referência durante todo o período monitorado.

O lançamento de esgotos e as atividades humanas podem contribuir com a carga de fósforo presente nas águas superficiais (Morais, 2010). Entretanto, é provável que o uso de fertilizantes e praguicidas utilizados no cultivo de cana-de-açúcar, na área rural do município, sejam responsáveis pela presença deste poluente, já que mesmo à montante da área urbana são identificados valores superiores ao limite permitido (Falqueto, 2008; Palma-Silva, 2006; Rodrigues et al., 2019).

A clorofila-a é uma forma específica de clorofila usada na fotossíntese oxigenada e indica o estado trófico dos corpos hídricos (CETESB, 2016). Todos os pontos monitorados mantiveram resultado abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA n.º. 357/2005 ($30 \mu\text{g.L}^{-1}$) (Figura 3b). Este resultado sinaliza que em todos os pontos analisados, as águas apresentam estado trófico baixo.

Escherichia coli é um indicador de contaminação fecal de corpos hídricos. Neste sentido, a resolução CONAMA n.º. 357/2005 estabelece o limite de 1000 UFC/100 mL, enquanto a Decisão de Diretoria 112/2013/E da CETESB (2013), fixou em 600 UFC/100 mL. Por ser mais restritivo, a título de comparação, os resultados dos pontos monitorados foram analisados com referência ao menor índice.

Durante a análise histórica (Figura 3c), todos os pontos analisados apresentaram valores superiores ao limite estabelecido pela Decisão de Diretoria 112/2013/E. Porém, é perceptível que a concentração média de *E. coli* vem diminuindo ao longo do tempo e que o ponto 3 (localizado à jusante da área urbana) apresentou a maior com-

centração deste parâmetro durante todo período considerado.

De acordo com Moraes et al. (2021), não é possível afirmar se a contaminação fecal é de origem animal ou humana, porém pode estar associada a contribuição destes fatores com o lançamento de efluentes domésticos e agropecuários.

Para análise dos íons metálicos, foram abordados os seguintes elementos: ferro e alumínio dissolvidos e manganês total (Figuras 3d, e, f), que apresentaram maior representatividade nas amostras analisadas.

Em todos os pontos monitorados, a porcentagem de desconformidade (em relação à Resolução CONAMA n.º. 357/2005) de ferro dissolvido aumentou em função do tempo. Em 2020, os pontos 1, 3 e 5 apresentaram índice de 100% de desconformidade. Este parâmetro apresentou o maior índice de desconformidade em comparação aos demais íons metálicos, com média aproximada de 60%.

Para o parâmetro “alumínio dissolvido”, no ano de 2020, os pontos 1 e 4 também apresentam percentual de desconformidade de 100%. Porém, não há um padrão evidente para os demais pontos e períodos analisados. O ponto 5 manteve o percentual de desconformidade em 55% entre 2010 e 2019.

De acordo com a CETESB (2019), a ocorrência de concentrações elevadas de ferro e alumínio dissolvidos é indicativa de processos erosivos, que resultam no transporte de material particulado aos corpos hídricos. Portanto, é provável que a desconformidade destes metais seja originada pela degradação, lixiviação dos compostos presentes no solo, escoamento superficial e atividades mineradoras (Scarlatti et al., 2019; Fraga et al., 2021). Ainda, Marmontel & Rodrigues (2015), complementam que concentrações elevadas de ferro e alumínio em corpos hídricos podem estar associadas a inexistência de mata ciliar preservada, que facilita o carreamento dos metais do solo para a água.

Em 2020, os pontos de amostragem 1 e 5 apresentaram índices de manganês total com desconformidade média de 70%. Porém, os pontos 1 e 2 apresentavam uma queda aparente na média deste parâmetro no período de 2010 a 2019. A média de desconformidade no ponto 4, no período de 2010 a 2014, foi de aproximadamente 23%. O manganês geralmente é associado ao ferro (Richter & Azevedo Netto, 1991). A concentração de manganês presente nos pontos

de monitoramento pode ser explicada pelo desenvolvimento de atividades agrícolas na região, que fazem uso de fertilizantes, que são transportados até os corpos hídricos (CETESB, 2020). Isso explica, principalmente os índices encontrados no ponto 1, que está localizado próximo às áreas rurais, à montante da sede do município de Rio Claro/SP.

Esta hipótese é corroborada pela pedologia local, que é composta principalmente por solos dos tipos Argissolos e Latossolos, que são ricos em ferro e alumínio e por consequência da presença de ferro, há associação com o manganês. Por fim,

outra hipótese é que a origem destes metais nas águas superficiais seja decorrente do lançamento clandestino de efluentes industriais (CETESB, 2016).

Indicadores de qualidade das águas superficiais

Na tabela 1 são apresentados os indicadores de qualidade das águas superficiais: IQA, IAP e IET analisados durante o período de 2015 a 2020.

De acordo com a faixa de valores do IQA, os pontos 1, 2 e 4 foram enquadrados na classe “boa” (faixa de 52 – 79) durante todo o período analisado (2015 a 2020). Já no ponto 3, foi classificado

Tabela 1 - Indicadores de qualidade das águas superficiais

Indicadores	Pontos de coleta	2015	2016	2017	2018	2019	2020
IQA	1	66	60	60	63	56	78
	2 *	66	62	62	64	57	-
	3	43	48	46	50	45	85
	4	64	72	71	74	66	53
	5	52	56	55	58	57	47
IAP	1	64	33	51	44	28	29
	4	46	64	45	52	34	37
IET	1	56	56	54	54	59	60
	2 *	55	53	53	54	57	-
	3	63	56	57	59	58	61
	4	50	50	51	51	52	52
	5	63	61	59	64	62	59

*IQA: Índice de Qualidade das Águas; IAP: Índice de Qualidade das Águas para Fins de Abastecimento Público (IAP); e IET: Índice de Estado Trófico.
Fonte: CETESB (2021).

como “ótimo”. Por outro lado, o ponto 5, que se mantinha na classe “boa” de 2015 a 2019, apresentou índice menor e foi enquadrado como “razoável” em 2020.

O comprometimento do desempenho do IQA no ponto de monitoramento 5 pode ser explicado pelo despejo de efluentes clandestinos no Ribeirão Claro. Enquanto, a variabilidade observada no ponto 3, que apresentou melhor desempenho em 2020 e que se encontra à jusante do Município, pode ser resultado da melhoria dos serviços de tratamento de esgoto do município ou a ausência de lançamentos irregulares.

Os valores de IQA observados no presente estudo foram semelhantes aos encontrados por Zambetta (2006), que analisou sete pontos no Rio Corumbataí e destacou predominância de enquadramento na classe “boa”. Com exceção de um ponto com classe “razoável”, que está localizado a jusante do município de Rio Claro e próximo aos pontos 3 e 5 deste trabalho, que também apresentaram os menores valores de

IQA para os períodos de 2015 a 2019 e de 2020, respectivamente.

O IAP é composto por três grupos de parâmetros: que avaliam a qualidade das águas (IQA), a presença de substâncias tóxicas e variáveis que afetam a qualidade organoléptica da água (CETESB, 2021).

O ponto 1 (local de captação de água para abastecimento humano no Rio Corumbataí) apresentou classificação “Boa” (valores de 52 – 79) somente no ano de 2015, enquanto de 2017 a 2018 foi classificado como “regular” (valores de 37 – 51) e nos anos de 2016, 2019 e 2020 foi classificado como “ruim” (valores de 20 – 36). Já o ponto 4 (local de captação de água para abastecimento no Ribeirão Claro), nos anos de 2016 e 2018 foi enquadrado na classe “boa”, em 2019, na classe “ruim” e os demais anos, na classe “regular”.

Os valores de IAP podem ter sofrido influência da concentração de metais na água, tendo em vista que os dois pontos de captação

apresentaram elevado percentual de desconformidade para ferro e alumínio dissolvidos, principalmente. Portanto, o IAP destacou que os pontos de captação de água apresentaram variação na qualidade da água ao longo do tempo e isso implica na necessidade de tratamento mais robusto para retorno da água ao estado potável.

O IET avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento de nutrientes, que é relacionado ao crescimento de algas e/ou macrófitas aquáticas. Os pontos 1 (de 2015 a 2019), 2 e 4 (durante todo o período monitorado), 3 (de 2016 a 2019) e 5 (em 2017 e 2020) foram classificados no estado trófico denominado de “mesotrófico” (48 - 52), que corresponde a corpos d’água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.

Enquanto, os pontos 1 (2020), 3 (em 2015 e 2020) e 5 (nos anos de 2015, 2016, 2018 e 2019) foram enquadrados na classe “eutrófico” (60 – 63), que é relacionado a corpos d’água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas nos quais ocorrem alte-

rações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos. Somente o ponto 5 (em 2018) foi classificado como “supereutrófico” (64 – 67), que representa corpos d’água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas nos quais ocorrem com frequência, alterações indesejáveis na qualidade da água, florações de algas e interferências nos seus múltiplos usos. É provável, que o resultado deste ponto seja decorrente da presença de nutrientes na água, principalmente de fósforo, que apresentou concentração seis vezes mais elevada (0,62 mg. L⁻¹) que o limite determinado pela Resolução CONAMA n°. 357/2005. (0,1 mg.L⁻¹) em 2018 (Scarlati et al., 2019).

Qualidade do sistema de tratamento de esgoto

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos parâmetros selecionados para avaliação da qualidade do sistema de tratamento de esgoto das ETE Flores e Conduta, no período de 2015 a 2019.

Tabela 2 - Características físico-químicas dos afluentes e efluentes das ETE Flores e Conduta

Parâmetros	ETE	2015		2016		2017		2018		2019	
		Af	Ef	Af	Ef	Af	Ef	Af	Ef	Af	Ef
DBO (mg.L⁻¹)	Flores	363,0	45,0	297,0	30,0	327,8	12,4	315,3	14,1	208,1	4,0
	Conduta	361,0	< 3	334,0	65,0	273,0	9,2	285,1	10,8	159,9	10,0
Remoção de DBO (%)	Flores	87,6		89,9		96,2		95,5		98,1	
	Conduta	99,2		80,5		96,6		96,2		93,7	
DQO (mg.L⁻¹)	Flores	753,0	84,0	575,0	63,0	639,6	54,9	657,9	66,3	426,9	< 10
	Conduta	700,0	< 8	632,0	141,0	550,7	43,5	608,0	56,4	365,6	22,8
Remoção de DQO (%)	Flores	88,8		89,9		91,4		89,9		97,7	
	Conduta	98,9		77,7		92,1		90,7		93,8	
DQO/DBO	Flores	2,1	1,9	1,9	2,1	2,0	4,4	2,1	4,7	2,1	2,4
	Conduta	1,9	2,6	1,9	2,2	2,0	4,7	2,1	5,2	2,3	2,3
pH	Flores	-	7,5	-	-	7,3	7,3	7,3	7,4	-	-
	Conduta	-	6,9	-	-	7,2	6,7	7,1	6,9	-	-
SS (mL.L⁻¹)	Flores	-	< 0,5	-	-	3,5	0,1	5,0	0,2	-	-
	Conduta	-	0,5	-	-	2,8	0,1	4,8	0,2	-	-

* Af – Afluente; Ef – Efluente; SS: Sólidos Sedimentáveis. Fonte: Adaptado de BRK Ambiental (2019).

A Resolução CONAMA n°. 430/2011 estabelece valores de referência para o lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos, sendo os limites de: < 120 mg. L⁻¹ de DBO; 5 < pH < 9 e < 1 mL.L⁻¹ para sólidos sedimentáveis. Enquanto que o Decreto Estadual n°. 8.468/1976 estabelece os mesmos valores para os parâmetros pH e sólidos sedimentáveis e restringe a DBO para o

valor < 60 mg. L⁻¹.

Sendo assim, com relação à Resolução CONAMA n°. 430/2011, no período analisado, as ETE Flores e Conduta não apresentaram valores superiores aos padrões para DBO, pH e sólidos sedimentáveis. No entanto, em relação ao Decreto Estadual n°. 8.468/1976, no ano de 2016, o efluente da ETE Conduta apresentou valor de

DBO acima do limite permitido (65 mL.L⁻¹). A ETE Flores apresentou eficiência de remoção de DBO na faixa de 87,6 a 98,1%, enquanto a ETE Conduta apresentou índices de 80,5 a 99,2%.

Em relação à DQO, não há referência legal para este parâmetro no caso de lançamento de efluentes em corpos d'água e sendo assim, este estudo avaliou a eficiência de remoção de DQO entre o afluente e o efluente. A ETE Flores apresentou índices de eficiência entre 88,8 e 97,7% e a ETE Conduta, entre 77,7 e 98,9%. Desta forma, os resultados de DBO e de DQO sinalizam que ambas as ETE apresentaram elevada eficiência no tratamento de esgoto durante o período monitorado.

A relação DQO/DBO é utilizada para definir o tipo de tratamento mais adequado. Se a relação for menor que 2,5 significa que o efluente é facilmente biodegradável e o tratamento biológico é o mais indicado. Se a relação for maior que 4,0, o esgoto apresenta fração biodegradável reduzida e o tratamento físico-químico é mais adequado. Geralmente efluentes domésticos apresentam relação entre 1,7 e 2,2, enquanto os

esgotos industriais podem apresentar maior variação (Von Sperling, 2007).

O afluente da ETE Flores apresentou valores de DQO/DBO na faixa de 1,9 a 2,1 e o efluente, valores de 1,9 a 4,7. Enquanto, na ETE Conduta foram observados índices de DQO/DBO de 1,9 a 2,3 para o afluente e valores de 2,2 a 5,2 para o efluente. Em relação aos afluentes, as duas ETE apresentaram valores da relação DQO/DBO abaixo de 2,5, que sinaliza a entrada de esgoto com elevada carga orgânica (provavelmente de origem doméstica) e a necessidade do uso de tratamento biológico. Já o efluente da ETE Flores apresentou índices de DQO/DBO superiores a 4,0 nos anos de 2017 (4,4) e 2018 (4,7) e na ETE Conduta, em 2015 (2,6), 2017 (4,7) e 2018 (5,2).

De modo geral, o aumento da relação DQO/DBO no efluente tratado indica que após a remoção da carga orgânica no tratamento biológico, o efluente ainda apresenta elevada fração inerte (Von Sperling, 2007). A fração não biodegradável pode ser decorrente dos insumos agrícolas utilizados nas áreas rurais e que são transportados até os corpos d'água.

CONCLUSÕES

A análise temporal dos recursos hídricos superficiais estudados revelou que os parâmetros: turbidez, oxigênio dissolvido, nitrato, nitrogênio amoniacal e clorofila-a atenderam aos valores estabelecidos pela Legislação vigente. No entanto, desconformidades foram observadas com relação aos parâmetros: condutividade elétrica, DBO, *Escherichia coli*, fósforo total e teores de alumínio e ferro dissolvidos e manganês total.

De modo geral, a variação da qualidade da água apresentou forte correlação com a pedologia e com a localização dos pontos monitorados, pois nos pontos próximos da área rural, as águas sofreram influência negativa das atividades agrícolas e no perímetro urbano, dos despejos domésticos e industriais clandestinos.

As desconformidades foram mais frequentes nos pontos de monitoramento 3 e 5, localizados à jusante do município. Entretanto, a concentração de ferro e alumínio dissolvidos apresentou desconformidade em todos os pontos investigados e aumentou ao longo do tempo. Este comportamento pode ser decorrente da degradação dos solos locais que são compostos por estes elementos metálicos, além do lançamento de efluentes industriais. De acordo com o IQA, os pontos 1, 2 e 4 foram classificados como "bom"

durante todo o período monitorado. Já os pontos 3 e 5 apresentaram variação na classificação ao longo do tempo, de razoável à ótimo e de bom a razoável, respectivamente.

O monitoramento do índice de IAP dos pontos de captação (1: Rio Corumbataí e 4: Ribeirão Claro) apresentou variabilidade ao longo do tempo e este comportamento pode estar associado a concentração de metais presente nas águas, que possui grande influência no cálculo deste índice. Já em relação ao IET, em maior parte do período avaliado, os pontos foram classificados como mesotrófico e eutrófico, com exceção do ponto 5, que em 2018 foi enquadrado na classe supereutrófico.

Os efluentes tratados das ETE Flores e Conduta atenderam aos limites estabelecidos pela Legislação para os parâmetros de DBO, pH e sólidos sedimentáveis. Além disso, as ETE apresentaram elevada eficiência da remoção de DBO (> 80%) e de DQO (> 77,7%).

De modo geral, este estudo destacou a importância do monitoramento dos corpos hídricos e para atendimento à meta estabelecida pelo ODS nº 6 da Agenda 2030 da ONU, se faz necessária a fiscalização contínua e o controle das fontes de contaminação para manutenção da qualidade das águas superficiais.

REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama das águas superficiais do Brasil: indicadores de qualidade, 2012.** Disp. em: <<https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/qualidade-de-da-agua/indicadores-de-qualidade>>. Acesso em: 28 jun. 2022.
- 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. Disp. em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/imagens/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2022.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº. 357. Disp. em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>>. Acesso em: 02 abr. 2022.
- BRK Ambiental. **Avanço no saneamento básico de Rio Claro contrasta com a realidade do país, de acordo com dados do IBGE, 2019.** Disp. em: <<https://www.brkambiental.com.br/rio-claro/avanco-no-saneamento-basico-de-rio-claro-contrasta-com-a-realidade-do-pais-de-acordo-com-dados-do-ibge#:~:text=T%C3%A9nci%20de%20todo%20o%20Brasil,do%20esgoto%20em%20Rio%20Claro>>. Acesso em: 31 mar. 2022.
- CARDOSO-LEITE, E.; COVRE, T.B.; OMETTO, R.G.; CAVALCANTI, D.C.; PAGANI, M.I. Fitossociologia e caracterização de mata ciliar, em Rio Claro, São Paulo, como subsídio à recuperação da área. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 31-41, 2004.
- CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Apêndice E: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.** São Paulo, 2016.
- CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decisão de Diretoria da CETESB nº. 112/2013/E. Dispõe sobre o estabelecimento dos valores limites do parâmetro *Escherichia coli* (*E. coli*), para avaliação da qualidade dos corpos de águas do território do Estado de São Paulo.** 2013.
- CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas interiores no estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, 2020. Disp. em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/programa-de-monitoramento/>>. Acesso em: 26 jun. 2022.
- CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Resultados do monitoramento - 2020. São Paulo: CETESB, 2020.** Disp. em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Apendice-L-Resultados-do-Monitoramento-2020.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2022.
- DAAE - Departamento Autônomo de Água e Esgoto. **O DAAE de Rio Claro garante serviço de água e esgoto para toda a cidade, 2019.** Disp. em: <<http://www.daaerioclaro.sp.gov.br/index.php>>. Acesso em: 26 jun. 2022.
- FAB-PCJ - FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Estudo do uso dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí. Relatório Final. Volume I. Tomo I.** Piracicaba, 2020. Disp. em: <<https://www.agencia.pcj.org.br/docs/gestao/contrato-48-2018-estudo-v1-t1.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- FALQUETO, M.A. **Avaliação do índice de qualidade da água (IQA) e dos elementos químicos nas águas e nos sedimentos do rio Corumbataí, SP.** Piracicaba, 2008. 117 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.
- FERREIRA, A.C.; ROCHA, L.C.; FIGUEIREDO, M.A. Análise Do Índice De Qualidade De Água Na Bacia Do Córrego Do Rio Acima, São João Del-Rei/Mg. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, n. 15, 2015.
- FERREIRA, R. **Conheça os diferentes tipos de água.** 2017. Disp. em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/2017/03/conheca-os-diferentes-tipos-de-agua/#:~:text=%C3%81guas%20superficiais%3A%20como%20o%20pr%C3%B3prio%20de%20abastecimento%20do%20planeta>>. Acesso em: 21 maio 2022.
- FRAGA, M.S.; ALMEIDA, L.T.; ABREU, M.C.; SILVA, F.B.; REIS, G.B.; FERREIRA, R G. Avaliação da qualidade das águas superficiais na circunscrição hidrográfica do rio Piranga utilizando análise estatística multivariada e não-paramétrica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 02, p. 694-710, 2021.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério de Planejamento. **Orçamento e Gestão.** Brasília, 2021. Disp. em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/rio-claro/panorama>>. Acesso em: 30 mar. 2022.
- MARIMONTEL, C.V.F. & RODRIGUES, V.A. Parâmetros Indicativos para Qualidade da Água em Nascentes com Diferentes Coberturas de Terra e Conservação da Vegetação Ciliar. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, 2015.
- MEDEIROS, C.B. **Avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do Aquífero Rio Claro Na Mineração Mandu, Distrito De Ajapi, Rio Claro - SP.** Rio Claro, p. 68, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) -Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- MORAES, R.X.L.; YABUKI, L.N.M.; QUELUZ, J.G.T.; GARCIA, M.L. Avaliação da qualidade das águas superficiais e do sistema de tratamento do esgoto sanitário do município de Rio Claro/SP. **Revista Holos Environment**, v. 21, n. 1, p. 83-104, 2021.
- MORAIS, E.B. **Indicadores microbiológicos, metais e índice de qualidade da água (IQA) associados ao uso e ocupação da terra para avaliação da qualidade ambiental da microbacia do rio cabeça, na bacia do rio Corumbataí, SP.** Rio Claro. 2010. 158 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências.
- ONU - Organização das Nações Unidas. **Agências da ONU lançam Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, 2021.** Disp. em: <<https://brasil.un.org/pt-br/123077-agencias-da-onu-lancam-relatorio-mundial-sobre-o-desenvolvimento-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: 26 jun. 2022.
- ONU - Organização das Nações Unidas. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Organização das Nações Unidas, 2022.** Disp. em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>>. Acesso em: 02 abr. 2022.
- PALMA-SILVA, G.M.D. **Relação dos indicadores microbiológicos com outros parâmetros limnológicos no rio Corumbataí, SP, no intuito de propor um modelo matemático para gestão ambiental.** Rio Claro, 175 p., 2006. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro.
- PMRC - Prefeitura Municipal de Rio Claro. **Diagnóstico ambiental e desenvolvimento de sistemas de implementações de projetos de recuperação da qualidade dos corpos d'água.** Rio Claro, São Paulo, Brasil, v.1, 2014. Disp. em: <<https://www.rioclaro.sp.gov.br/pd/arquivos/VolumeI Levantamento.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2022.
- REIS, L.F.R. Impactos ambientais sobre rios e reservatórios. In: CALIJURI, M.C; CUNHA, D.G.F. **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão.** 2 ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2019. p. 197-214.
- RICHTER, C.A & AZEVEDO NETTO, J.M.D. **Tratamento de água: tecnologia atualizada.** São Paulo: Edgard Blucher, 332 p. 1991.
- RODRIGUES, B.M.; OSCO, L.P.; ANTUNES, P.A.; RAMOS,

- A.P.M. Avaliação da influência do uso e cobertura da terra na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Pirapozinho (SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 738-753, 2019.
- SÃO PAULO. Decreto nº. 10.755, de 22 de novembro de 1977. **Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº. 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas**. Disp. em: <https://sigrh.sp.gov.br/arquivos/enquadramento/Dec_Est_10755.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2022.
- SÃO PAULO. Decreto nº. 8.468, de 8 de setembro de 1976. **Aprova o Regulamento da Lei nº. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente**. Disp. em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>>. Acesso em: 17 ago. 2022.
- SCARLATTI, V.M.; QUELUZ, J.G.T.; YABUKI, L.N.M.; GARCIA, M.L. Avaliação da qualidade das águas superficiais do município de Rio Claro/SP. **Revista Geociências UNESP**, v. 38, n. 3, p. 741-754, 2019.
- SILVA, R.C.A. & ARAUJO, T.M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciênc. Saúde Coletiva**. São Paulo, v. 8, n. 4, p.1019-1028, 2003.
- SILVA, R.S.B.D.; SOUSA, A.M.L.D.; SODRÉ, S.D.S.V.; VITORINO, M.I. Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA. **Revista Ambiente & Água**, 2018.
- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico temático. Serviços de água e esgoto, 2021**. Disp. em: <http://snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2022.
- VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 1 ed., v.7., Belo Horizonte, Editora UFMG, 2007.
- ZAMBETTA, P.M.A. Espécies químicas inorgânicas (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Sn) no sedimento e nos sólidos em suspensão do rio Corumbataí, SP. Piracicaba. 73 p. 2006. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas), Universidade de São Paulo.

*Submetido em 25 de maio de 2022
Aceito para publicação em 9 de março de 2023*