

IMPACTO DO LANÇAMENTO DE EFLUENTES NA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIOS: REVISÃO SOBRE AS ALTERAÇÕES NA MATÉRIA ORGÂNICA A JUSANTE DE ÁREAS URBANAS

Thiago Pastre Pereira*

Leonardo Santos Andrade**

Resumo: A qualidade da água de rios é fundamental para a manutenção dos ecossistemas aquáticos e para o atendimento aos usos humanos, como abastecimento, recreação e atividades produtivas. No entanto, o crescimento urbano e a intensificação das atividades antrópicas têm contribuído para o aumento do lançamento de efluentes nos corpos hídricos, ocasionando alterações relevantes em seus parâmetros físico-químicos. Nesse contexto, a matéria orgânica destaca-se como um dos principais indicadores da degradação ambiental associada ao lançamento de efluentes domésticos e industriais, especialmente em trechos localizados a jusante de áreas urbanas. Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre o impacto do lançamento de efluentes na qualidade da água de rios, com enfoque nas alterações da matéria orgânica, utilizando o Rio Tietê, no estado de São Paulo, como estudo de caso ilustrativo. A metodologia baseou-se em uma revisão de artigos científicos, dissertações e documentos técnicos que abordam a qualidade da água ao longo do Rio Tietê, considerando diferentes unidades de gerenciamento de recursos hídricos e os principais ensaios aplicados em análises químicas ambientais, como demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e oxigênio dissolvido. Os resultados indicam um padrão de degradação progressiva da qualidade da água no sentido montante–jusante, associado ao aumento da carga orgânica em áreas urbanizadas. Conclui-se que o lançamento de efluentes exerce papel central na deterioração da qualidade da água, reforçando a importância do monitoramento contínuo e da gestão integrada dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Análises químicas ambientais; Qualidade de água e efluentes; Efluentes urbanos; Matéria orgânica, Rio Tietê.

* Departamento de Engenharia Civil – IFMG: thiago.pereira@ifmg.edu.br

** Instituto de Química – UFCAT: ls_andrade@ufcat.edu.br

INTRODUÇÃO

A água doce é um recurso indispensável aos ecossistemas e às atividades humanas, sendo utilizada para abastecimento, produção de alimentos, processos industriais e recreação. Em função desse papel multifuncional, a qualidade da água constitui parâmetro fundamental para avaliação ambiental. Entretanto, o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico podem contribuir para o aumento do aporte de efluentes nos corpos hídricos, o que leva à necessidade de monitoramento contínuo por meio de análises químicas ambientais, capazes de indicar possíveis alterações em seu estado natural.

Historicamente, os assentamentos humanos se formaram, com frequência, às margens de rios e nascentes, devido à disponibilidade de água para consumo, produção agrícola e transporte. Esse processo de ocupação, quando não acompanhado de infraestrutura adequada de saneamento básico, pode ocasionar o lançamento direto ou parcialmente tratado de efluentes em cursos d'água. No Brasil, embora haja avanços nos últimos anos, ainda existe desigualdade significativa no acesso à coleta e ao tratamento de esgoto, o que representa um desafio para a preservação da qualidade dos recursos hídricos.

Os rios também servem de transporte aos resíduos gerados pelas ações humanas; que por sua vez, recebem o nome de efluentes¹. Os efluentes podem apresentar origens diversas: doméstica, industrial, agroindustrial, aquícola, entre outras. As características físico-químicas e microbiológicas destes lançamentos variam conforme a atividade que os gerou. Entre os efeitos potenciais sobre a água, destacam-se alterações em parâmetros indicativos da presença de matéria orgânica, nutrientes e sólidos, podendo comprometer alguns usos do corpo hídrico quando avaliado sob a ótica de normas ambientais vigentes.

Nesse contexto, torna-se relevante investigar como os cursos d'água respondem ao aporte de efluentes, especialmente em trechos que atravessam áreas urbanizadas, buscando identificar possíveis variações na qualidade da água a montante e a jusante desses locais. Para isso, a literatura técnica apresenta métodos consolidados de monitoramento, com destaque para ensaios que avaliam a

¹Neste trabalho, efluentes serão tratados como descargas líquidas resultantes do uso diverso da água em atividades humanas, que são lançadas no meio ambiente com algum rejeito relacionado à atividade. Apesar disso, efluentes também contemplam descargas gasosas.

carga orgânica e a capacidade de autodepuração do corpo hídrico.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a influência do lançamento de efluentes na qualidade da água de rios, com enfoque em parâmetros de matéria orgânica e sua evolução ao longo do curso d'água. Complementarmente, este estudo reúne informações disponíveis sobre o Rio Tietê, no estado de São Paulo, a fim de ilustrar, com dados experimentais publicados, os impactos associados às atividades humanas em diferentes regiões de seu percurso.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A avaliação da qualidade da água em ambientes impactados por atividades humanas depende de métodos analíticos consolidados e de um arcabouço normativo que define parâmetros a serem atendidos para garantir seus usos múltiplos. Esses conceitos se conectam à caracterização dos efluentes lançados nos corpos hídricos e às consequências ambientais relacionadas a diferentes níveis de ocupação e de saneamento.

Assim, esta seção integra os principais métodos de análise da água empregados em estudos ambientais, os padrões legais de qualidade e os efeitos associados aos distintos tipos de efluentes identificados na literatura consultada.

Análise da água e efluentes

A avaliação da qualidade da água depende da análise integrada de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, permitindo o diagnóstico de condições ambientais e potenciais riscos à saúde pública. Segundo Xavier *et al.* (2022), parâmetros físico-químicos como turbidez, cor, temperatura, condutividade elétrica, alcalinidade e pH são essenciais para caracterizar as propriedades naturais da água e alterações decorrentes de atividades antrópicas. Esses autores destacam ainda que valores fora dos limites estabelecidos em norma indicam possível presença de contaminantes e risco à potabilidade. A análise da turbidez, por exemplo, auxilia na identificação de partículas suspensas, enquanto o pH está associado ao equilíbrio químico da água e ao comportamento de outras substâncias

dissolvidas(XAVIER *et al.*, 2022).

Entre os indicadores de matéria orgânica, destacam-se a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO), amplamente utilizados no monitoramento ambiental por refletirem a carga orgânica biodegradável e total lançada nos corpos hídricos. Girardi, Pinheiro e Venzon (2019) mencionam que a DQO está entre os parâmetros mais solicitados em monitoramentos de efluentes industriais e municipais, reforçando sua importância para a fiscalização ambiental. A redução do Oxigênio Dissolvido (OD) ocorre quando há excesso de matéria orgânica, podendo limitar a sobrevivência de organismos aquáticos, o que justifica o monitoramento contínuo dessa variável em programas de controle de poluição.

Parâmetros microbiológicos, como coliformes totais e *Escherichia coli*, funcionam como indicadores de contaminação fecal e possibilidade de transmissão de doenças de veiculação hídrica. Xavier *et al.* (2022) destacam que estes são frequentemente responsáveis pela classificação da água como imprópria para consumo, mesmo quando os parâmetros físico-químicos estão em conformidade.

Assim, a análise integrada de DBO, DQO, OD e parâmetros microbiológicos permite compreender tanto a origem quanto os efeitos da poluição em um corpo hídrico.

Principais parâmetros de qualidade da água

Os principais parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da água estão diretamente relacionados à dinâmica do oxigênio no meio aquático. A presença de matéria orgânica intensifica a atividade de microrganismos aeróbios responsáveis pelos processos de decomposição, resultando em consumo de oxigênio dissolvido. Nesse contexto, a quantificação da matéria orgânica e o acompanhamento do comportamento do oxigênio constituem elementos centrais nas análises químicas ambientais, pois permitem avaliar os impactos do lançamento de efluentes e as condições ambientais dos corpos hídricos.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) representa a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação biológica da matéria orgânica biodegradável presente na água, realizada por microrganismos aeróbios em condições controladas

de temperatura e ausência de luz. O ensaio de DBO é tradicionalmente conduzido por meio da incubação da amostra, geralmente por um período de cinco dias a 20°C, durante o qual se avalia a diferença entre as concentrações iniciais e finais de oxigênio dissolvido. Esse procedimento torna o ensaio relativamente demorado, porém altamente representativo do comportamento biológico da matéria orgânica no ambiente aquático. Valores elevados de DBO indicam maior consumo de oxigênio pelos microrganismos durante o processo de decomposição, podendo resultar na redução do oxigênio disponível para a biota aquática, especialmente em corpos hídricos com baixa capacidade de reaeração (GIRARDI, 2019; XAVIER *et al.*, 2022).

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) quantifica o oxigênio equivalente necessário para a oxidação química da matéria orgânica total presente na amostra, incluindo frações biodegradáveis e não biodegradáveis. O ensaio de DQO baseia-se na oxidação da matéria orgânica por meio de agentes oxidantes fortes, como o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), em meio ácido e sob aquecimento, geralmente em sistema fechado. A partir da quantidade de oxidante consumida, estima-se a carga orgânica total da amostra. Em comparação com a DBO, o ensaio de DQO apresenta menor tempo de execução, podendo ser concluído em poucas horas, o que o torna especialmente útil em rotinas de controle e monitoramento de efluentes, principalmente de origem industrial (GIRARDI, 2019; NAGALLI & NEMES, 2009).

A comparação entre os ensaios de DBO e DQO evidencia que, embora ambos sejam utilizados para a avaliação da matéria orgânica, eles possuem finalidades complementares. Enquanto a DBO fornece uma estimativa mais próxima do impacto biológico da matéria orgânica biodegradável sobre o corpo hídrico, a DQO permite uma avaliação mais rápida e abrangente da carga orgânica total. Dessa forma, a DQO é frequentemente empregada para monitoramento operacional e fiscalização, enquanto a DBO é mais indicada para estudos ambientais e avaliação dos efeitos ecológicos do lançamento de efluentes. A utilização conjunta desses parâmetros possibilita uma interpretação mais consistente da qualidade da água e do potencial poluidor dos efluentes.

O oxigênio dissolvido (OD) é um dos parâmetros mais sensíveis na avaliação da qualidade da água, pois reflete diretamente o equilíbrio entre os processos de consumo e reposição de oxigênio no meio aquático. A determinação do OD pode ser realizada por métodos clássicos, como o método de *Winkler*, ou por sensores

eletroquímicos e ópticos, utilizados em medições de campo e laboratório (XAVIER *et al.*, 2022).

No método de *Winkler*, o oxigênio dissolvido presente na amostra reage inicialmente com íons manganosos em meio alcalino, formando um precipitado de hidróxido de manganês. Em seguida, na presença de iodeto e meio ácido, esse precipitado é oxidado, liberando iodo em quantidade estequiometricamente proporcional à concentração de oxigênio originalmente dissolvido na água. O iodo liberado é então quantificado por titulação com solução padronizada de tiosulfato de sódio, permitindo a determinação indireta e precisa do teor de oxigênio dissolvido na amostra (PEREIRA, 2016).

Os parâmetros DBO, DQO e OD, juntamente com outros indicadores utilizados nas análises químicas ambientais de águas e efluentes, constituem o embasamento técnico para a avaliação da qualidade dos corpos hídricos, sendo interpretados com relação aos seus limites estabelecidos pela legislação ambiental.

Legislação relacionada ao tema

No Brasil, a qualidade das águas superficiais é regulamentada pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que estabelece a classificação dos corpos d'água de acordo com seus usos preponderantes. Para as águas doces, a norma define cinco classes: Classe Especial, Classes 1, 2, 3 e 4. Essa classificação tem como objetivo estabelecer padrões de qualidade compatíveis com os diferentes usos da água, como abastecimento público, recreação, proteção da biota aquática e atividades produtivas, servindo também como referência para o controle do lançamento de efluentes nos corpos hídricos (BRASIL, 2005).

Conforme discutido por Girardi, Pinheiro e Venzon (2019), a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o enquadramento dos corpos d'água segundo seus usos preponderantes, definindo limites para parâmetros físico-químicos, microbiológicos e químicos a fim de garantir proteção à saúde humana e ao equilíbrio ambiental.

Para águas doces de Classe 2, destinadas ao abastecimento com tratamento convencional, recreação de contato primário e proteção da biota aquática, são exigidos valores de OD iguais ou superiores a 5 mg/L, pH entre 6 e 9 e limites

estabelecidos para organismos indicadores de contaminação fecal por 100 ml de amostra (BRASIL,2005).

Além da Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), existe a Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011), que também versa sobre controle da qualidade de água e efluentes. Esta Resolução complementa a anterior ao estabelecer padrões para lançamento de efluentes em corpos hídricos, restringindo que o despejo altere a classe do rio receptor. Ela obriga que o efluente apresente pH entre 5 e 9 e eficiência mínima de remoção de 60% da DBO, além de limites para substâncias como óleos, graxas e metais pesados. Girardi, Pinheiro e Venzon (2019) reforçam que o cumprimento dessa legislação é indispensável para reduzir impactos ambientais decorrentes de atividades industriais e urbanas, uma vez que esses poluentes são responsáveis por processos de eutrofização, redução de oxigênio dissolvido e toxicidade à biota.

Além das Resoluções 357/2005 e 430/2011, a Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021), mencionada por Xavier *et al.*(2022), define os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano, exigindo controle rigoroso de parâmetros físico-químicos e microbiológicos na distribuição pública. Dessa forma, a legislação brasileira estabelece instrumentos claros para proteção dos recursos hídricos, embora, como observam os autores, a efetividade dessas normas dependa diretamente do monitoramento frequente e do saneamento básico adequado em todos os municípios do país.

Dessa forma, o arcabouço legal que regulamenta a qualidade das águas e o lançamento de efluentes no Brasil estabelece limites e critérios diretamente relacionados aos principais parâmetros utilizados na avaliação ambiental dos corpos hídricos. Esses instrumentos normativos fornecem a base técnica para a análise dos impactos decorrentes das diferentes fontes de efluentes, uma vez que os padrões legais refletem os efeitos associados à carga orgânica, aos nutrientes e à contaminação microbiológica. A partir desse enquadramento, torna-se possível compreender como a origem e as características dos efluentes influenciam a qualidade da água.

Tipos de efluentes, causas, características e impactos na água

O impacto do lançamento de efluentes na qualidade da água está diretamente relacionado à origem dessas descargas, às características físico-químicas do resíduo e à capacidade de depuração do corpo hídrico.

No contexto dos efluentes de origem doméstica, o impacto sobre a qualidade da água está diretamente associado às condições de coleta e tratamento dos esgotos gerados nas áreas urbanas. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o esgotamento sanitário compreende o conjunto de atividades destinadas à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequada dos esgotos, com o objetivo de reduzir a carga poluidora antes do lançamento nos corpos hídricos. Quando o tratamento é inexistente ou insuficiente, os efluentes domésticos passam a representar uma das principais fontes de matéria orgânica biodegradável, nutrientes e microrganismos patogênicos nos rios, contribuindo para o aumento da Demanda Bioquímica de Oxigênio, a redução do oxigênio dissolvido e a degradação das condições ambientais do meio aquático. Dessa forma, mesmo em regiões com infraestrutura sanitária relativamente consolidada, o volume gerado de esgotos domésticos pode exercer pressão significativa sobre os corpos hídricos receptores, especialmente em trechos a jusante de áreas urbanizadas (BRASIL, 2023).

De forma geral, os estudos revisados apontam que áreas com maior densidade populacional e infraestrutura sanitária insuficiente apresentam maiores alterações nos parâmetros ambientais monitorados. Xavier *et al.* (2022) destacam que a falta de tratamento adequado do esgoto urbano pode resultar na introdução de matéria orgânica biodegradável, nutrientes e microrganismos patogênicos nos corpos hídricos, ocasionando riscos à saúde humana e prejuízos ecológicos. A contaminação microbológica e o aumento de fósforo total foram evidenciados na região turística do Rio Paraná, resultando em redução da balneabilidade e impactos sociais associados ao uso recreativo da água (RIBEIRO *et al.*, 2022).

No contexto industrial, destaca-se o aporte de matéria orgânica proveniente de laticínios, composto por proteínas, carboidratos e lipídeos de elevada biodegradabilidade. Estudos identificaram que esses efluentes promovem elevação da DBO e DQO no corpo receptor quando o tratamento é insuficiente, ocasionando

redução do oxigênio dissolvido e estresse à biota aquática (SILVA *et al.*, 2018).

De forma semelhante, efluentes gerados em matadouros contêm altos teores de compostos nitrogenados e resíduos proteicos, contribuindo para aumentos de amônia e nitrogênio total na água, com possibilidade de intensificar processos de eutrofização (THEBALDI *et al.*, 2011). Estes poluentes orgânicos tendem a elevar a demanda por oxigênio no corpo hídrico e, sem tratamento eficiente, resultam em deterioração ambiental significativa (GIRARDI, 2019)

Além da composição dos efluentes, a literatura destaca que a variabilidade temporal da carga orgânica constitui fator determinante para o impacto ambiental observado a jusante dos lançamentos. No caso de efluentes industriais agroalimentares, como os de laticínios, Silva *et al.* (2018) demonstram que a concentração de matéria orgânica varia significativamente ao longo do ciclo produtivo, estando diretamente associada ao tipo de produto fabricado e ao manejo do soro de leite. Essa variabilidade dificulta a operação estável das estações de tratamento de efluentes, contribuindo para a liberação intermitente de cargas orgânicas elevadas nos corpos hídricos receptores.

De forma semelhante, Thebaldiz *et al.* (2011) observaram que, mesmo com tratamento em lagoas de estabilização, o efluente de abate bovino promoveu elevações pontuais de DBO e DQO no corpo hídrico a jusante do ponto de lançamento. Esses resultados indicam que a eficiência do tratamento deve ser analisada em conjunto com a vazão e a capacidade de assimilação do rio, uma vez que cargas orgânicas variáveis podem ultrapassar a capacidade de autodepuração do sistema fluvial, sobretudo em cursos d'água de pequeno porte.

O monitoramento de corpos hídricos sujeitos a descargas de estações de tratamento de esgoto em áreas urbanizadas demonstrou maiores concentrações de nutrientes e matéria orgânica a jusante dos pontos de lançamento, quando comparadas a regiões rurais. Costa e Ribicki (2021) observaram elevação significativa de nitrogênio total e fósforo total em trechos influenciados por efluentes de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), associada à redução dos níveis de OD. Os autores destacam ainda a elevada variabilidade temporal dos parâmetros analisados, indicando instabilidade na carga poluidora ao longo do tempo. Esse comportamento reforça que os impactos sobre a qualidade da água não se restringem apenas à presença de lançamentos pontuais, mas dependem também da

dinâmica ambiental do sistema fluvial e das características do uso do solo no entorno do curso d'água. Assim, o cenário de lançamento contínuo de cargas poluidoras associado à baixa renovação da água tende a ampliar os impactos sobre o ecossistema.

Além dos efluentes domésticos e agroindustriais, a literatura destaca que determinados efluentes industriais urbanos apresentam elevada complexidade físico-química, potencializando os impactos sobre a qualidade da água a jusante dos pontos de lançamento. No setor têxtil, por exemplo, os efluentes são caracterizados por altas concentrações de matéria orgânica, demanda química de oxigênio, sólidos em suspensão e compostos orgânicos de difícil degradação, como corantes sintéticos e surfactantes (SANTOS *et al.* 2025).

Segundo a revisão conduzida por Santos *et al.* (2025), a elevada carga orgânica e a coloração intensa desses efluentes interferem diretamente na penetração da luz nos corpos hídricos, comprometendo os processos fotossintéticos e contribuindo para a redução do oxigênio dissolvido. Esses efeitos tendem a persistir mesmo após tratamentos convencionais, uma vez que a complexidade dos compostos presentes limita a eficiência dos processos físico-químicos e biológicos tradicionalmente empregados. Os autores destacam ainda que, mesmo quando os efluentes industriais atendem parcialmente aos padrões legais de lançamento, a carga residual pode ser suficiente para alterar as condições ambientais do corpo receptor, especialmente em trechos fluviais com baixa capacidade de diluição. Esse comportamento reforça a importância de se analisar os impactos não apenas no ponto de descarga, mas ao longo do gradiente longitudinal do rio, sobretudo em sistemas sujeitos a múltiplas fontes de poluição em áreas urbanizadas.

Com base nessas evidências, observa-se que os efeitos do lançamento de efluentes se traduzem em uma cadeia de alterações ambientais que incluem consumo de OD, elevação de nutrientes, modificação das características físico-químicas da água e riscos sanitários em função da presença de microrganismos patogênicos. Além disso, podem ocorrer prejuízos socioeconômicos diretos quando há restrição de usos associados ao lazer, turismo e pesca. A literatura reforça, portanto, a relevância de sistemas de tratamento eficientes, aliados ao monitoramento sistemático dos parâmetros de qualidade da água, a fim de prevenir impactos sobre os usos múltiplos e a integridade ecológica dos corpos hídricos.

ESTUDO DE CASO: RIO TIETÊ

A bacia hidrográfica do Rio Tietê constitui um dos sistemas fluviais mais relevantes do estado de São Paulo, tanto pela sua extensão quanto pela diversidade de usos e pressões antrópicas a que está submetida. Ao longo de seu percurso, o rio atravessa regiões com distintos níveis de urbanização, industrialização e uso do solo, o que resulta em elevada heterogeneidade espacial da qualidade da água, especialmente no que se refere à carga orgânica associada ao lançamento de efluentes (HERREIRA & PIZELLA, 2020).

A escolha do Rio Tietê como objeto de análise relaciona-se, ainda, ao fato de a bacia estar inserida em um estado que apresenta elevados índices de cobertura dos serviços de saneamento básico, conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2023). Conforme discutido por Herreira e Pizella (2020), a bacia do Rio Tietê dispõe de instrumentos de gestão consolidados, como Comitês de Bacia, Planos de Recursos Hídricos e mecanismos de cobrança pelo uso da água. Ainda assim, os autores evidenciam que persistem dificuldades significativas para o enquadramento dos corpos d'água segundo os padrões mais restritivos da Resolução CONAMA nº 357/2005, sobretudo em trechos a jusante de áreas urbanizadas, onde a carga orgânica proveniente de esgotos domésticos permanece elevada. Esse cenário reforça a adequação do Rio Tietê para a análise dos efeitos das ações humanas ao longo do curso d'água, uma vez que permite observar como a urbanização e o crescimento populacional impactam a qualidade da água mesmo em regiões com maior cobertura de saneamento e estrutura de gestão hídrica.

Do ponto de vista da gestão dos recursos hídricos, a bacia do Rio Tietê é subdividida em Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs), que refletem diferenças hidrológicas, socioeconômicas e ambientais ao longo do curso do rio. Essa compartimentação permite análises regionalizadas da qualidade da água e evidencia as dificuldades de enquadramento dos corpos hídricos, sobretudo em regiões mais urbanizadas, onde a carga orgânica lançada nos rios é mais significativa (HERREIRA & PIZELLA, 2020). Essas diferenças se refletem diretamente nos parâmetros de qualidade da água, em especial na DBO, amplamente utilizada como indicador da influência antrópica associada ao

lançamento de efluentes domésticos e industriais (HERREIRA & PIZELLA, 2020).

No trecho de cabeceira do Rio Tietê, inserido na UGRHI Alto Tietê, o reservatório de Biritiba Mirim destaca-se por sua importância estratégica para o abastecimento público. O estudo desenvolvido nessa região indicou, de forma geral, valores satisfatórios de OD e DBO, sugerindo menor influência direta de grandes centros urbanos sobre a qualidade da água nesse trecho a montante do rio (CRUZ, 2019). Esse comportamento reforça a importância da posição geográfica do reservatório, localizado a montante da Região Metropolitana de São Paulo, onde as pressões associadas ao lançamento de efluentes urbanos ainda não se manifestam de forma significativa.

Apesar das condições favoráveis observadas para a matéria orgânica biodegradável, foram identificadas concentrações de fósforo total superiores aos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente. Cruz (2019) associa esse resultado ao uso agrícola do solo no entorno do reservatório e à ausência ou degradação da vegetação ciliar em determinados trechos, fatores que favorecem o carreamento de nutrientes para o corpo hídrico. Esses achados evidenciam que, mesmo em áreas menos urbanizadas, a qualidade da água pode ser afetada por pressões antrópicas de origem difusa, relacionadas ao uso e ocupação do solo.

A presença de fósforo em concentrações elevadas no reservatório de Biritiba Mirim indica a existência de pressões ambientais que podem comprometer a qualidade da água ao longo do tempo, ainda que a carga orgânica medida por DBO não se apresente crítica nesse trecho. Esse contraste entre baixos valores de matéria orgânica e excedência de nutrientes reforça a necessidade de monitoramento contínuo a montante, uma vez que alterações iniciais associadas a fontes difusas podem influenciar a qualidade da água nos trechos subsequentes do Rio Tietê, especialmente quando somadas às pressões urbanas observadas a jusante (CRUZ, 2019).

Após atravessar a Região Metropolitana de São Paulo, o Rio Tietê passa a receber elevadas cargas de poluição associadas, principalmente, ao lançamento de esgotos domésticos gerados na área urbana. O trecho compreendido entre os municípios de Pirapora do Bom Jesus e Salto caracteriza-se, portanto, como um segmento a jusante da Região Metropolitana de São Paulo, que concentra os efeitos acumulados das pressões antrópicas exercidas a montante. Segundo Tercini e Mello

Júnior (2013), esse trecho é historicamente reconhecido pelos baixos valores de oxigênio dissolvido e pelas elevadas concentrações de DBO, refletindo o aporte da carga orgânica proveniente da metrópole.

Ao longo do percurso entre Pirapora do Bom Jesus e Salto, entretanto, os dados de monitoramento indicam uma tendência gradual de recuperação da qualidade da água. Observa-se redução progressiva da DBO e aumento dos valores de OD em determinados pontos, comportamento atribuído aos processos naturais de autodepuração do corpo hídrico. Esses processos envolvem mecanismos físicos, químicos e biológicos, como a diluição pela vazão do rio, a oxidação da matéria orgânica e a reaeração natural, configurando esse trecho como um exemplo clássico de autodepuração fluvial, conforme destacado por Tercini e Mello Júnior (2013).

Apesar dessa tendência geral de melhoria, a recuperação da qualidade da água não ocorre de forma contínua ao longo de todo o trecho. No reservatório de Porto Góes, localizado próximo à confluência com o rio Jundiaí, os autores observaram aumento significativo nos valores de DBO, indicando a introdução de nova carga orgânica no sistema. Esse comportamento evidencia a influência direta do aporte de efluentes urbanos provenientes da bacia do rio Jundiaí, interrompendo parcialmente o processo de autodepuração do Rio Tietê e reforçando o papel das contribuições antrópicas laterais na dinâmica da qualidade da água nesse segmento fluvial (TERCINI; JÚNIOR, 2013).

A compreensão desses padrões observados ao longo do Rio Tietê pode ser ampliada a partir de estudos desenvolvidos em outros sistemas fluviais brasileiros, que investigam de forma específica os limites da autodepuração frente ao lançamento de cargas orgânicas em diferentes condições hidrológicas. A capacidade de autodepuração dos corpos hídricos constitui um fator determinante na resposta ambiental ao lançamento de efluentes, sendo fortemente condicionada pelas características hidráulicas e hidrológicas do curso d'água. Em estudo realizado no Córrego Pernada, no estado do Tocantins, Almeida *et al.* (2021) avaliaram o comportamento da autodepuração em situação de vazão crítica, considerando o lançamento de efluente tratado proveniente de estação de tratamento de esgoto. Os resultados indicaram que, embora o curso d'água apresente mecanismos naturais de recuperação, a redução da vazão compromete significativamente a capacidade de assimilação da carga orgânica lançada. Durante o período de estiagem, os perfis

de OD e DBO demonstraram que a autodepuração foi insuficiente para garantir o atendimento aos padrões legais de qualidade da água, especialmente para o parâmetro DBO. Segundo os autores, esse comportamento evidencia que a eficiência do tratamento deve ser analisada conjuntamente com a vazão do corpo receptor, uma vez que, em condições hidrológicas desfavoráveis, mesmo efluentes tratados podem provocar impactos ambientais relevantes.

A relação inversa entre DBO e OD observada nesse trecho reforça o papel da matéria orgânica como fator limitante da qualidade da água. Em locais onde a carga orgânica é elevada, a redução do OD pode comprometer a manutenção de condições ambientais adequadas à biota aquática. (TERCINI& JÚNIOR, 2013). Cabe ressaltar que a redução de parâmetros como DBO e DQO ao longo do curso d'água não implica, necessariamente, eliminação dos impactos ambientais. Estudos demonstram que parte da carga orgânica pode ser apenas transferida para outras matrizes ambientais, como sedimentos e biota, indicando que a autodepuração, embora presente, nem sempre resulta em recuperação plena do sistema fluvial (NAGALLI; NEMES, 2009).

Silva *et al.* (2018) destacam que a elevada fração biodegradável da matéria orgânica intensifica o consumo de oxigênio dissolvido, agravando os impactos em trechos fluviais já submetidos a pressões urbanas. Esses mecanismos auxiliam na interpretação dos padrões de degradação observados ao longo do Rio Tietê, nos quais a progressão espacial da carga orgânica reflete o acúmulo de influências antrópicas ao longo do curso do rio.

Nesse contexto, observa-se que, embora o trecho entre Pirapora do Bom Jesus e Salto apresente evidências de autodepuração ao longo do percurso, com redução gradual da DBO e recuperação parcial do OD, essa capacidade natural do sistema torna-se progressivamente limitada a jusante. Ao adentrar a UGRHI Sorocaba e Médio Tietê, o Rio Tietê passa a atravessar uma região caracterizada por elevada ocupação urbana e pressões antrópicas contínuas, o que altera de forma significativa a dinâmica da qualidade da água.

Segundo Silva (2023), nesse segmento do rio as concentrações de DBO permanecem elevadas e associadas a valores reduzidos de OD em diversos trechos, indicando que o aporte contínuo de efluentes urbanos impede a recuperação efetiva do corpo hídrico. Diferentemente do comportamento observado

no trecho Pirapora–Salto, onde os processos naturais de autodepuração ainda se manifestam, no Médio Tietê a carga orgânica passa a exercer influência mais persistente sobre o sistema fluvial, dificultando a melhoria da qualidade da água ao longo do tempo.

Além da carga orgânica, Silva (2023) destaca a presença de concentrações significativas de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, provenientes tanto de efluentes urbanos quanto de atividades agropecuárias na bacia. Esses aportes favorecem a ocorrência de processos de eutrofização e contribuem para a classificação do trecho como “eutrófico” a “hipereutrófico”, agravando os impactos sobre o ecossistema aquático e dificultando o enquadramento dos corpos hídricos em classes legais de qualidade mais restritivas na UGRHI Sorocaba e Médio Tietê.

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Piracicaba, Capivari e Jundiá (UGRHI PCJ) corresponde a uma das regiões mais críticas da bacia do Rio Tietê em termos de qualidade da água, em função da elevada densidade urbana, da presença de atividades industriais e da insuficiência histórica do tratamento de esgotos em diversos municípios. Estudos desenvolvidos na região indicam concentrações recorrentes de DBO elevadas, associadas principalmente ao lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais insuficientemente tratados, bem como reduções nos valores de oxigênio dissolvido em trechos a jusante dos principais centros urbanos (OLIVEIRA *et al.*, 2014; POMPERMAYER *et al.*, 2007).

A elevação da DBO na bacia PCJ refletiu-se em reduções expressivas do OD, sobretudo em períodos de estiagem, quando a capacidade de diluição e assimilação do corpo hídrico é naturalmente reduzida. Esse comportamento evidencia a limitação dos processos naturais de autodepuração frente a uma carga orgânica contínua, indicando que, nessas condições hidrológicas, o sistema fluvial opera próximo ou além de sua capacidade de suporte.

Nesse contexto, o segundo estudo desenvolvido na UGRHI PCJ reforçou esse diagnóstico ao demonstrar variações espaciais acentuadas da DBO ao longo do percurso dos rios, com valores sistematicamente mais elevados a jusante de centros urbanos. Esses resultados indicam um efeito cumulativo das atividades humanas sobre a qualidade da água, no qual as contribuições pontuais e difusas se somam ao longo do eixo fluvial, dificultando a recuperação dos parâmetros

ambientais mesmo em trechos mais afastados das áreas de lançamento direto.

Além da carga orgânica, a presença de nutrientes como nitrogênio e fósforo, associada tanto a fontes pontuais quanto difusas, foi apontada como fator adicional de degradação ambiental, ampliando o risco de processos de eutrofização e comprometendo os usos múltiplos da água na região.

Em trechos mais a jusante do Rio Tietê, como na UGRHI Tietê-Batalha, os valores de DBO tendem a ser inferiores aos observados nas regiões mais intensamente urbanizadas da bacia, refletindo a menor concentração de fontes pontuais de efluentes domésticos e industriais. Nessas condições, a menor carga orgânica favorece a atuação dos processos naturais de diluição e autodepuração do sistema fluvial, ainda que não elimine a ocorrência de impactos ambientais. Estudos desenvolvidos nessa unidade indicam que, embora a qualidade da água seja, em termos gerais, compatível com classes menos restritivas, ocorrem elevações pontuais da DBO associadas ao uso agrícola do solo e à contribuição de pequenos núcleos urbanos e comunidades rurais, evidenciando a influência de fontes difusas de poluição (FIGUEIREDO NETO, 2018).

Na UGRHI Tietê-Jacaré, os estudos analisados indicaram variações espaciais da DBO ao longo do curso dos rios, com concentrações mais elevadas em trechos a jusante de áreas urbanas, confirmando a influência do lançamento de efluentes domésticos sobre a carga orgânica do sistema. Esse comportamento revela um padrão intermediário de degradação, no qual a qualidade da água resulta da interação entre os processos naturais de diluição e autodepuração e a pressão exercida por usos urbanos localizados, que tendem a limitar a eficiência desses mecanismos naturais.

De forma integrada, os estudos analisados ao longo do Rio Tietê demonstram que o lançamento de efluentes constitui o principal fator responsável pelo aumento da carga orgânica nos corpos hídricos, especialmente a jusante de áreas urbanas. A progressão espacial da DBO ao longo do curso do rio evidencia o efeito cumulativo das atividades humanas sobre a qualidade da água, permitindo verificar a influência das ações antrópicas nos sistemas fluviais. Nesse contexto, a limitação progressiva da capacidade natural de autodepuração do rio surge como uma consequência da intensificação das cargas orgânicas, reforçando a relação entre uso do solo, lançamento de efluentes e degradação da qualidade da água

(HERREIRA&PIZELLA, 2020).

CONCLUSÃO

A análise sequencial dos estudos realizados ao longo do Rio Tietê evidencia um padrão claro de degradação progressiva da qualidade da água no sentido montante para jusante, fortemente associado ao crescimento urbano, à intensificação das atividades industriais e ao uso inadequado do solo. Os resultados discutidos demonstram que, enquanto trechos a montante apresentam impactos mais pontuais, as regiões mais urbanizadas e industrializadas acumulam cargas significativas de matéria orgânica, nutrientes e contaminantes emergentes, dificultando os processos naturais de autodepuração e comprometendo os usos múltiplos da água.

Em áreas com maior densidade populacional e presença de atividades industriais, como no Alto Tietê, Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), a carga orgânica associada aos efluentes domésticos e industriais foi o principal fator observado, contribuindo para a elevação da DBO e a redução do OD, parâmetros essenciais para a manutenção da vida aquática. A presença de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, também foi um aspecto crítico em diversos trechos, ampliando o risco de processos de eutrofização, com consequências para a qualidade da água e os usos futuros dos rios.

A UGRHI Tietê Jacaré e o trecho de Tietê Batalha ilustraram uma complexa combinação de pressões urbanas e agropecuárias, com a poluição difusa contribuindo para o aumento da turbidez e da carga de nutrientes nos corpos hídricos. Mesmo em regiões menos urbanizadas, como essas, a presença de fontes difusas de poluição foi responsável por elevações na DBO, mostrando que as atividades agrícolas também têm impacto significativo na qualidade da água, alterando a composição dos parâmetros físico-químicos.

Apesar da variabilidade observada nos resultados entre os diferentes trechos, é possível afirmar que o Rio Tietê não passou por grandes desastres ambientais recentes, como acidentes que possam ter alterado drasticamente sua qualidade. Nesse sentido, pode-se justificar que, embora os dados discutidos ao longo deste trabalho não tenham sido captados no mesmo período, há uma continuidade no

comportamento geral da qualidade da água ao longo do tempo, o que sugere uma “constância” relativa nos parâmetros ambientais, sem variações abruptas.

Isso nos permite concluir que, embora os dados analisados ao longo do estudo não correspondam a um único período temporal específico, a qualidade da água do Rio Tietê, em termos gerais, não sofreu grandes alterações de ordem pontual, mesmo considerando as variações nas características do rio de acordo com os diferentes trechos e a presença de atividades antrópicas. Com isso, ainda é possível traçar uma linha de raciocínio que reflete, em grande medida, a "evolução" da qualidade da água, antes e depois do impacto de grandes centros urbanos.

Além disso, os resultados obtidos indicam que a capacidade de autodepuração do Rio Tietê é eficaz em trechos menos impactados, mas se vê comprometida em áreas com maior carga poluidora, como nos trechos urbanos e industriais. A gestão adequada dos efluentes lançados no rio, por meio de tecnologias de tratamento e controle de fontes de poluição, é imprescindível para garantir a qualidade da água e permitir o restabelecimento dos parâmetros adequados para o uso da água, como para abastecimento público, lazer e recreação, o que se relaciona diretamente à balneabilidade.

Em termos de implicações ambientais, o estudo reforça a importância de políticas públicas que integrem o controle dos efluentes e a preservação das bacias hidrográficas. A promoção de práticas sustentáveis de manejo do solo, saneamento básico e tratamento de esgoto pode minimizar os impactos da urbanização na qualidade da água, melhorando a resiliência ecológica do Rio Tietê e garantindo a proteção dos recursos hídricos para as gerações futuras.

Portanto, os resultados desta revisão bibliográfica evidenciam a relevância de monitoramentos contínuos, principalmente focados na DBO, DQO e nutrientes para o planejamento de ações ambientais eficazes. A qualidade da água do Rio Tietê é, em grande medida, reflexo das atividades humanas nas áreas urbanas, e garantir a sustentabilidade dessa água depende da contínua integração de práticas de gestão ambiental e controle de fontes poluidoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. F. B.; ALMEIDA, Í. W.; MACIEL, G. F. Capacidade de autodepuração

- de corpos d'água urbanos em situações de vazões críticas: o caso do Córrego Pernada, Paraíso do Tocantins - TO. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 218–238, 2021.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **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. Disponível em: <<https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>> Acesso em: 14 dez. 2025.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 maio 2011. Disponível em: <<https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>> Acesso em: 14 dez. 2025.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnóstico Temático: Serviços de Água e Esgoto – Visão Geral**. Ano de referência 2022. Brasília: Ministério das Cidades, 2023. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>> Acesso em: 14 dez. 2025.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, alterando o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017. **Diário Oficial da União**, Brasília, 07 mai. 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>> Acesso em: 14 dez. 2025.
- COSTA, W.; RIBICKI, A. C. Uma análise das alterações de determinados parâmetros em cursos d'água que sofrem influências de ordem variada. **Tecno-Lógica**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 20–33, 2021.
- CRUZ, P. N. Qualidade da água do reservatório Biritiba Mirim/SP, sistema alto Tietê. **Revista Saúde-UNG-Ser-ISSN 1982-3282**, [s. l.], v. 13, n. 2 ESP, p. 51, 2019.
- FIGUEIREDO NETO, E. Verificação da qualidade da água do rio Dourado pertencente à bacia Tietê-Batalha. [s. l.], 2018.
- GIRARDI, R. Parâmetros de qualidade de água de rios e efluentes presentes em monitoramentos não sistemáticos. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, [s. l.], v. 16, n. 2019, 2019.
- HERREIRA, B. N.; PIZELLA, D. G. Gestão da qualidade hídrica na bacia hidrográfica do rio Tietê (SP): dificuldades para o enquadramento das águas doces

- superficiais. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 332–355, 2020.
- NAGALLI, A.; NEMES, P. D. Estudo da qualidade de água de corpo receptor de efluentes líquidos industriais e domésticos. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 131–144, 2009.
- OLIVEIRA, H. de; MORTATTI, J.; MORAES, G. M. de; VENDRAMINI, D.; DE GENOVA CAMPOS, K. B. Caracterização físico-química da carga dissolvida dos rios Jundiá e Capivari, São Paulo. **Geochimica Brasiliensis**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 23, 2014.
- PEREIRA, M. R. Uso da luminescência como ferramenta de detecção de oxigênio dissolvido para verificação da qualidade de água bruta superficial. Trabalho de conclusão de curso, UFRS, 2016. disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/153237>
- POMPERMAYER, R. de S.; DE PAULA JÚNIOR, D. R.; NETTO, O. de M. C. Análise Multicritério como Instrumento de Gestão de Recursos Hídricos: O Caso das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. [s. l.],
- RIBEIRO, N. U. F.; BEGA, J. M. M.; ZAMBRANO, K. T.; AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; CARVALHO, S. L. de. Qualidade da água do rio Paraná em região de balneabilidade: discussão sobre os impactos potenciais do lançamento de efluentes provenientes de tratamento secundário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v. 27, p. 445–455, 2022.
- SANTOS, M. C. da R. dos; SILVA, W. do N; SILVA, M. H. A. da; SILVA, G. L. da; VIEIRA, M. I. M. da C. Avaliação dos Impactos Ambientais nos Solos e Cursos D'água Resultantes do Descarte Inadequado de Resíduos Têxteis: uma Revisão de Literatura. **Revista Semiárido De Visu**, [s. l.], p. 679–701, 2025.
- SILVA, G. M. Efeito da poluição de uma megalópole sobre o zooplâncton e a contaminação por microplásticos no médio rio Tietê (SP). [s. l.], 2023.
- SILVA, R. R. da; SIQUEIRA, E. Q. de; NOGUEIRA, I. de S. Impactos ambientais de efluentes de laticínios em curso d'água na Bacia do Rio Pomba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v. 23, p. 217–228, 2018.
- TERCINI, J. R. B.; JÚNIOR, A. V. M. Caracterização da qualidade da água do rio Tietê entre Pirapora do Bom Jesus e Salto. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, [s. l.], v. 20, 2013.
- THEBALDI, M. S.; SANDRI, D.; FELISBERTO, A. B.; ROCHA, M. S. da; A NETO, S. Qualidade da água de um córrego sob influência de efluente tratado de abate bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 15, p. 302–309, 2011.
- XAVIER, M. das V. S.; QUADROS, H. C.; DA SILVA, M. S. S. Parâmetros de potabilidade da água para o consumo humano: uma revisão integrativa. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. e42511125118–e42511125118, 2022.