

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA QUALIDADE DE ÁGUA DE CÓRREGO URBANIZADO ÁGUA COMPRIDA/BAURU/SP

Enzo Guzzo Duz¹; Graziele Ruas²

Abstract: This research focused on evaluating the water quality of the Água Comprida stream, which flows through an urbanized area of the municipality of Bauru, State of São Paulo, Brazil, using data provided by the city's Department of Water and Sanitation, collected between 2019 and 2023 at two sampling points: downstream and upstream. The analysis included physico-chemical parameters such as turbidity, temperature, pH, Chemical Demand of Oxygen (CDO), Biological Demand of Oxygen (BDO), Total Dissolved Solids (TDS), Dissolved Oxygen (DO), conductivity, phosphate, and various nitrogen species. The statistical analysis was conducted using the Shapiro-Wik test, followed by the non-parametric Wilcoxon test and Spearman correlation analysis. Additionally, the partial Water Quality Index (WQI) was calculated based on the methodology proposed by the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB), and the classification of the stream was carried out in accordance with Resolution n°357/2005, from the Brazilian Environment National Council (CONAMA). The analyses indicated a significant deterioration of the water quality at the downstream point, with significant changes in the parameters DO, CDO, TDS, conductivity, phosphate and ammonia, highlighting the influence of untreated effluents discharge along the course of the stream. The results reinforce the need for public policies aimed at controlling pollution in water bodies, as well as improving the efficiency and expanding the capacity of wastewater treatment systems.

Resumo: Este estudo teve como objetivo comparar a qualidade da água do córrego Água Comprida, que percorre uma área urbanizada do município de Bauru, estado de São Paulo, utilizando dados fornecidos pelo Departamento de Água e Esgoto do município, coletados entre 2019 e 2023, em dois pontos: a montante e a jusante. Foram analisados parâmetros físico-químicos como turbidez, temperatura, pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Oxigênio Dissolvido (OD), condutividade, além de concentrações de fosfato e espécies nitrogenadas. A análise estatística foi conduzida através dos testes de Shapiro-Wilk, seguido pelo teste não-paramétrico de Wilcoxon e análise de correlação de Spearman. Adicionalmente, foi calculado o Índice de Qualidade de Água parcial, com base na metodologia proposta pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), e foi realizada a análise da classificação do córrego com base na Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). As análises indicaram piora significativa na qualidade da água a jusante, com destaque para os parâmetros OD, DQO, STD, condutividade, fosfato e amônia, evidenciando a influência do lançamento de efluentes não tratados ao longo do curso do rio. Os resultados reforçam a necessidade de políticas públicas voltadas ao controle de poluição em corpos hídricos e à melhoria da eficiência e ampliação dos sistemas de tratamento de efluentes.

¹1) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia (UNESP), Av. Eng. Luís Edmundo Carrijo Coube, 14-01 - Vargem Limpa, Bauru - SP, enzo.duz@unesp.br

²2) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia (UNESP), Av. Eng. Luís Edmundo Carrijo Coube, 14-01 - Vargem Limpa, Bauru - SP, graziele.ruas@unesp.br

Palavras-Chave – Qualidade da Água, Rios Urbanos.

INTRODUÇÃO

O acesso à água de qualidade é um fator primordial para o bem-estar e aumento da qualidade de vida de uma população. Adicionalmente, a importância desse tema é destacada pelos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), mais especificamente pelo ODS 6 (Água Potável e Saneamento), publicado pela Organização das Nações Unidas (ONU Brasil, s.d.). Em áreas urbanas, o acesso à água potável é limitado, devido à disponibilidade reduzida de águas superficiais de boa qualidade. Dessa forma, a maioria das regiões urbanas são dependentes de áreas rurais para complementação de seu sistema de abastecimento, gerando impactos significativos na segurança hídrica da população (McDonald *et al.* (2014)).

Em uma sociedade cada vez mais urbanizada, essa problemática se torna cada vez mais relevante. Segundo dados da ONU, até 2050, 68% da população mundial será urbana (ONU Brasil (2022)). Considerando países em desenvolvimento, este crescimento pode acarretar em impactos ainda mais significativos e proporcionar aumento no estresse hídrico das cidades, visto que o crescimento urbano nem sempre é acompanhado pela melhoria de sistemas de coleta e tratamento de esfluentes, e tomadores de decisão nestes países carecem de dados de monitoramento da qualidade da água (Capps *et al.* (2016)).

Nesse sentido, a avaliação da qualidade da água em rios e córregos urbanos é essencial para compreender o impacto do lançamento de esfluentes ao longo do curso da água e, ao avaliar indicadores de poluição em diferentes anos, é possível identificar se a melhoria da qualidade da água está sendo tratada como prioridade nos contextos sociais e políticos. Esta análise tem como foco o córrego Água Comprida, que percorre uma área urbanizada do município de Bauru, Estado de São Paulo, oferecendo uma perspectiva local de uma problemática global.

OBJETIVO

Comparar e correlacionar os parâmetros de qualidade da água do córrego Água Comprida, em Bauru (SP) entre os anos de 2019 e 2023, utilizando dois pontos de amostragem (foz e nascente, chamadas de jusante e montante neste estudo, respectivamente).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo está na bacia hidrográfica do córrego Água Comprida, localizada no município de Bauru, na região centro-oeste do estado de São Paulo, Brasil. O Córrego Água Comprida tem aproximadamente 4,92 km de extensão e é um afluente do Rio Bauru. A sub-bacia do córrego tem uma área de 9,35 km² e uma variação de altitude de cerca de 134 metros, com altitudes que variam de 623 m a montante da bacia a 489 m na saída. Conforme a Lei n° 5.631, de 22 de Agosto de 2008 (Bauru (2008)), que Institui o Plano Diretor Participativo do Município de Bauru a Bacia Hidrográfica do Córrego Água Comprida é um Setores de Planejamento Urbano - SPU, (SPU-11), sendo os SPUs áreas destinadas à ocupação urbana e a unidade física para aplicação de políticas públicas, através de Planos Urbanísticos Setoriais, e realização do Orçamento Participativo atendendo os desafios e demandas da região.

Dados de Monitoramento

As amostras da água do córrego foram coletadas e analisadas pelo Departamento de Água e Esgoto do município de Bauru (SP) (DAE) e fornecidas para a Faculdade de Engenharia de Bauru (FEB), Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, de acordo com instrumento de Convênio número 2100.0632, publicado no Diário Oficial do Estado de São Paulo no dia 18 de maio de 2023. As coletas realizadas pelo DAE ocorreram mensalmente durante os anos de 2019 e 2023 em pontos a montante e a jusante do córrego Água Comprida, que percorre uma área urbanizada na cidade de Bauru/SP.

Os parâmetros monitorados foram: pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fosfato, turbidez, sólidos totais dissolvidos (STD), e uma série de espécies de nitrogênio, como amônia não ionizada (NH_3), amônia expressa como nitrogênio ($\text{NH}_3\text{-N}$), nitrato expresso como nitrogênio ($\text{NO}_3\text{-N}$), nitrato (NO_3), nitrito expresso como nitrogênio ($\text{NO}_2\text{-N}$) e nitrito (NO_2).

Índice de Qualidade da Água Modificado

Para determinação do índice de qualidade da água (IQA) foi utilizada a metodologia proposta pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) CETESB (2017). Porém, devido a ausência de alguns indicadores, a equação (1) foi modificada para incluir os dados presentes (Oxigênio Dissolvido (OD), pH, Demanda biológica de Oxigênio (DBO), temperatura, Nitrogênio Total, Fosfato (PO_4), Turbidez e Sólidos Totais Dissolvidos (STD)), com a devida redistribuição dos pesos, proporcionalmente, resultando na equação, que calcula o Índice de Qualidade de Água parcial (IQAm) (2).

$$\text{IQA} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

Em que: q_i é o valor do i -ésimo indicador, w_i é o peso correspondente ao i -ésimo indicador (valor entre 0 e 1)

$$IQAm = q_{OD}^{0,200} \cdot q_{pH}^{0,141} \cdot q_{DBO}^{0,118} \cdot q_{Temp.}^{0,118} \cdot q_N^{0,118} \cdot q_{PO_4}^{0,118} \cdot q_{Turb.}^{0,094} \cdot q_{STD}^{0,094} \quad (2)$$

Por fim, foi utilizada a Resolução CONAMA 357/2005 (Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA (2005)), a fim de enquadrar o córrego Água Comprida em uma das classes determinadas para águas doces.

Análise Estatística

A análise estatística foi realizada utilizando o software R Studio (versão 7.6 (R Core Team, (2023)). Os dados primeiramente foram organizados em planilhas no software Excel (Microsoft Excel (2023)), contendo os valores dos parâmetros considerados ao longo dos anos, nos dois pontos. E depois os dados foram analisados utilizando o software R Studio (versão 7.6 (R Core Team, (2023)).

Foi utilizado o pacote *Esquisse* para produção de gráficos ilustrando a variação temporal dos parâmetros, a montante e a jusante, nas diferentes estações do ano. Foi aplicado o teste de *Shapiro-Wilk* para avaliar a normalidade ou não dos dados e, posteriormente, foi realizada uma análise de correlação entre os diferentes indicadores físico-químicos e foi aplicado o Teste não paramétrico de *Wilcoxon*, a fim de comparar os dados obtidos a montante e a jusante, com o

objetivo de verificar diferenças estatísticas entre as distribuições das amostras. Por fim, foi utilizado o pacote *Metan* para a geração de uma matriz de correlação (Correlação de Spearman, devido a não-normalidade dos indicadores), que permite analisar relações lineares entre as variáveis. Adicionalmente, o pacote *Gtsummary* foi aplicado para geração de uma tabela contendo a média dos valores dos indicadores nos dois pontos, ao longo do ano, com seus respectivos valores de correspondência estatística.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados fornecidos pelo DAE abrangem 157 coletas mensais realizadas entre 2019 e 2023. Alguns parâmetros como: Oxigênio Dissolvido (OD), Fosfato (PO_4)e Demanda Biológica de Oxigênio, apresentaram falhas nas medições, não sendo apresentados. Impossibilitando o cálculo do IQAm para todos os pontos monitorados.

De acordo com as Figuras 1, 2 e 3, verifica-se que os valores dos parâmetros Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), fosfato, amônia, turbidez e Oxigênio Dissolvido (OD) tiveram uma ligeira piora a jusante, devido ao lançamento de efluentes sem tratamento adequado ao longo do curso do rio. Além disso, é possível notar uma piora nos valores de turbidez tanto a montante quanto a jusante no verão, possivelmente devido à ocorrência de precipitação (mais comuns nesta estação do ano), que propicia o aumento da turbidez devido ao escoamento superficial, que carrega materiais particulados até o corpo hídrico. Adicionalmente, os valores de temperatura e pH não sofreram grandes variações entre os pontos analisados.

As concentrações de NH_3 e PO_4 apresentaram concentrações médias jusantes maiores durante o Outono, período mais seco, sem chuvas, o que evidencia o lançamento contínuo de efluentes domésticos ao longo da bacia urbana.

Figura 1 – Variação dos parâmetros Demanda Biológica de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido em mg/L durante as estações do ano.

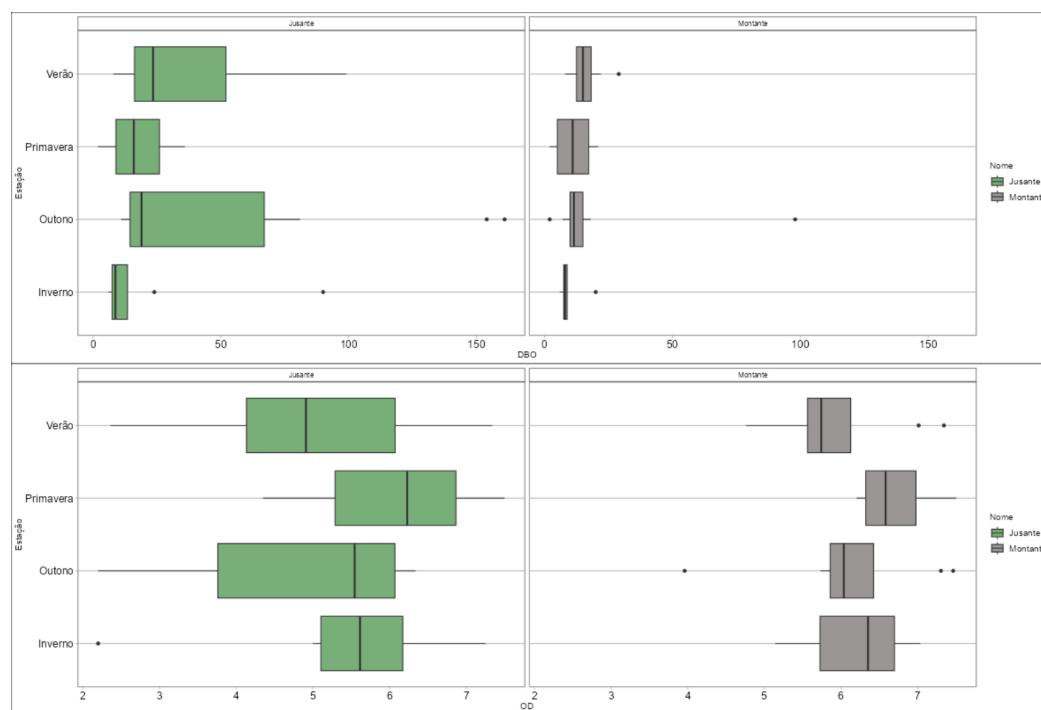


Figura 2 – Variação dos parâmetros pH e turbidez durante as estações do ano.

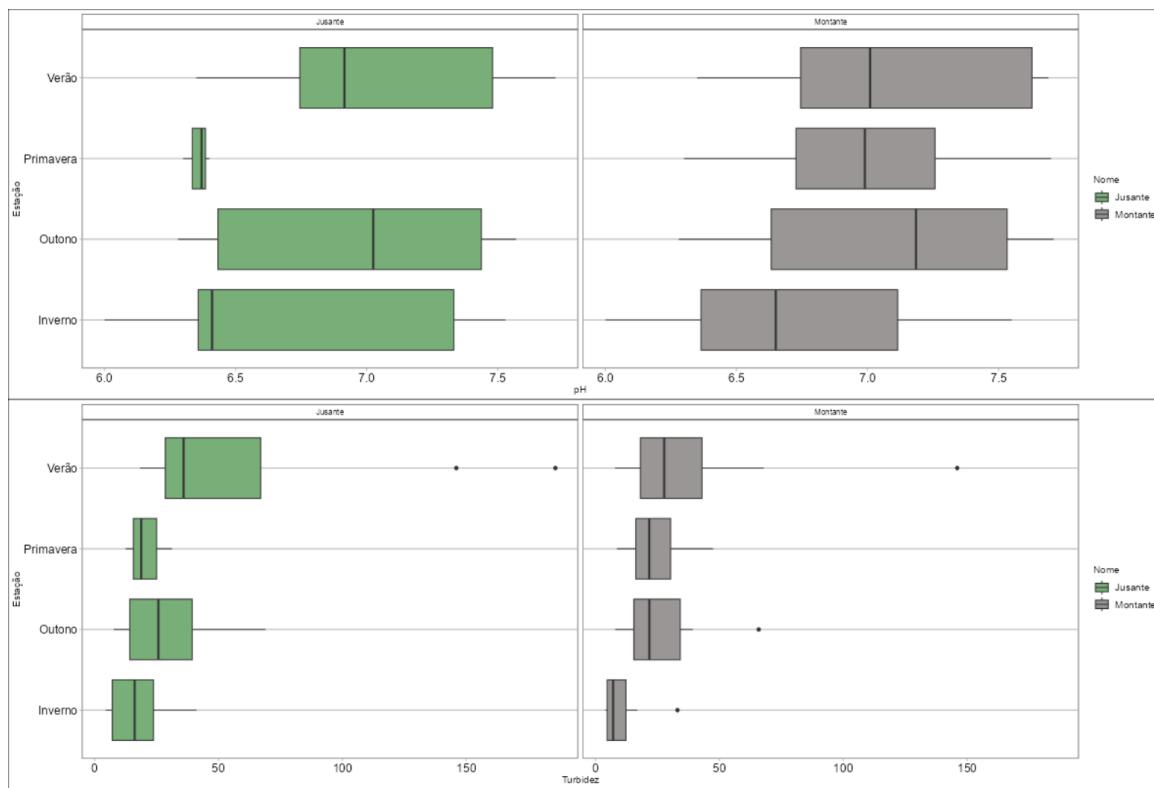


Figura 3 – Variação dos parâmetros Fosfato (PO4) e Amônia (NH3) durante as estações do ano.

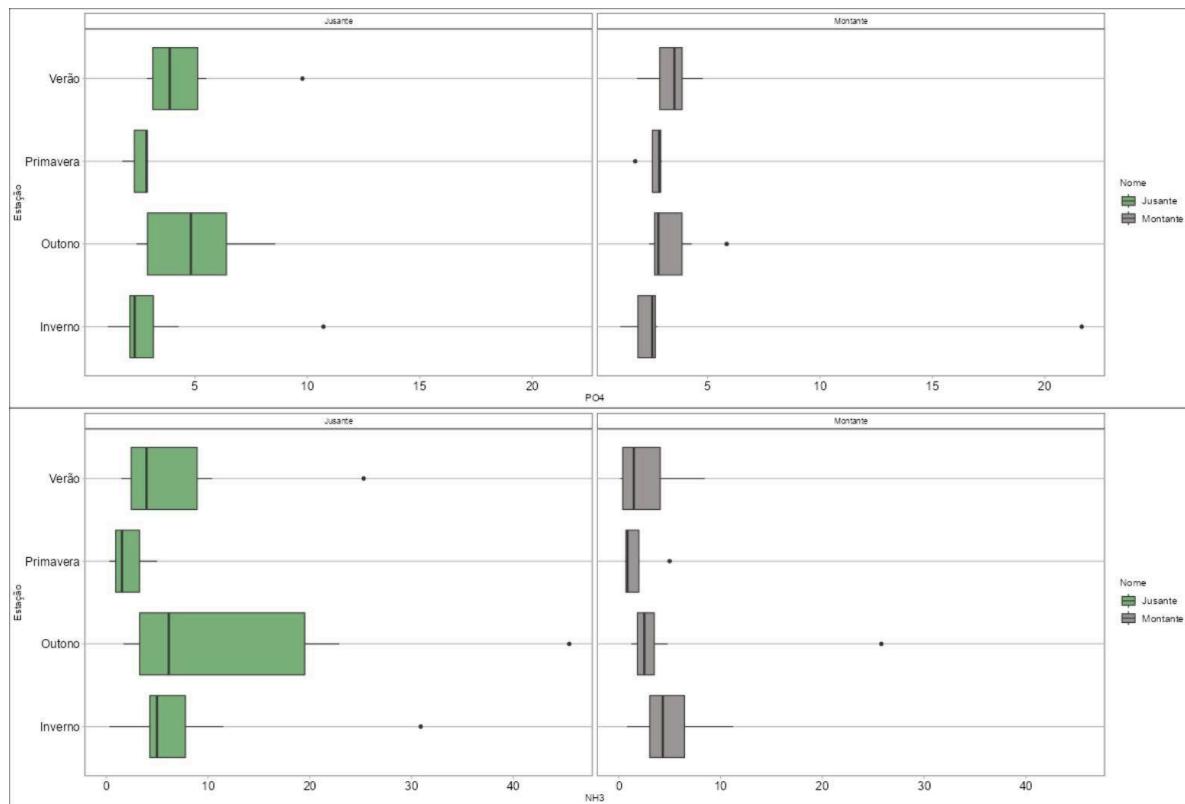


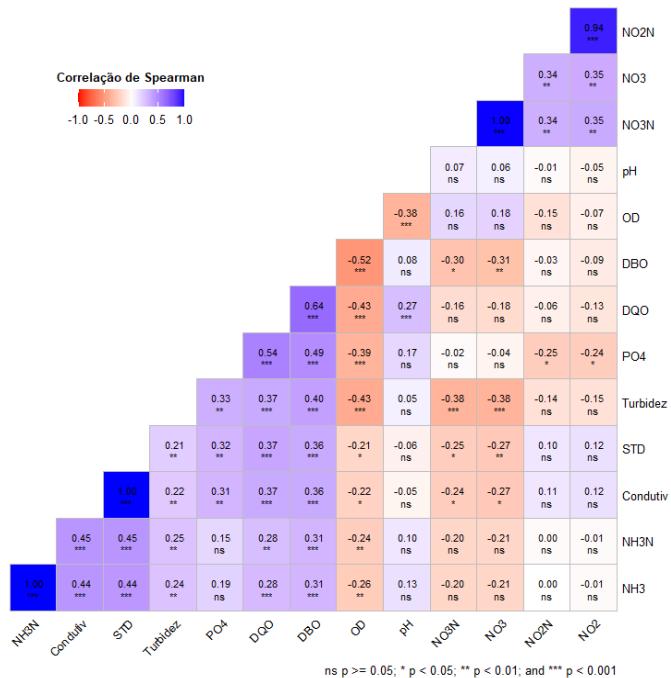
Tabela 1 – Média dos Valores dos indicadores a jusante e montante

Indicador	Jusante	Montante	valor de p ¹
Temperatura (°C)	21,63 ± 2,95	21,82 ± 2,85	0,630
OD (mg/L)	5,63 ± 1,97	6,46 ± 1,39	0,016*
pH	6,83 ± 0,56	6,96 ± 0,52	0,100
DQO (mg/L)	50,81 ± 61,27	29,63 ± 37,94	0,049
DBO (mg/L)	25,43 ± 34,73	16,11 ± 20,99	0,160
Turbidez (NTU)	32,13 ± 46,11	29,53 ± 52,19	0,520
Condutividade (us/cm)	332,33 ± 118,60	220,31 ± 74,01	<0,001*
STD (mg/L)	164,57 ± 60,07	109,44 ± 36,44	<0,001*
PO ₄ (mg/L)	4,67 ± 3,06	3,45 ± 3,09	0,014*
NH ₃ (mg/L)	7,64 ± 11,04	4,19 ± 6,33	0,018*
NH ₃ -N (mg/L)	6,19 ± 9,04	3,40 ± 5,19	0,022*
NO ₃ -N (mg/L)	1,90 ± 0,61	2,12 ± 0,62	0,045*
NO ₃ (mg/L)	8,37 ± 2,71	9,38 ± 2,71	0,031*
NO ₂ -N (mg/L)	0,11 ± 0,08	0,09 ± 0,06	0,180
NO ₂ (mg/L)	0,38 ± 0,28	0,29 ± 0,20	0,069

¹Teste não paramétrico de Wilcoxon. Valores de *p* assinalados em **negrito** e * são estatisticamente diferentes entre montante e jusante.

A Tabela 1 apresenta os valores médios dos parâmetros nos dois pontos, considerando todas as coletas realizadas. Os valores de *p*, obtidos pelo teste não paramétrico de Wilcoxon indicam que há diferença significativa entre os valores dos parâmetros de Oxigênio Dissolvido, Demanda Química de Oxigênio, Condutividade, Sólidos Totais Dissolvidos, Fosfato, Nitratos, Amônio e Amônia, indicando aumento da carga de poluentes a jusante, associado ao lançamento de efluentes sem tratamento ou com tratamentos inadequados ao longo do trecho urbanizado do córrego. Por outro lado, os parâmetros temperatura, pH, Demanda Biológica de Oxigênio, turbidez e nitritos não apresentaram diferenças estatísticas significativas.

Figura 4 – Correlação de Spearman entre os parâmetros.



Através da Figura 4, que apresenta a matriz de correlação de *Spearman*, observa-se uma forte correlação positiva (com valores próximos a 1) entre os parâmetros de Condutividade e Sólidos Totais Dissolvidos, Demanda Química de Oxigênio e Fosfato (PO_4), Demanda Química de Oxigênio e Demanda Biológica de Oxigênio. Adicionalmente, a análise indica correlações negativas entre os parâmetros de pH e Oxigênio Dissolvido e entre Oxigênio Dissolvido e Demanda Biológica de Oxigênio.

Dentre o universo de dados disponíveis foi possível apenas calcular o Índice de Qualidade da Água parcial de 74 amostras, pois haviam valores de parâmetros faltantes. Os principais dados faltantes foram: PO_4 (61), DBO (24) e OD (18). O valor médio considerando as 74 amostras foi de 11,42, evidenciando a degradação da qualidade da água.

Considerando os parâmetros para classificação dos corpos hídricos determinados pela Resolução nº357/2005 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), o córrego Água Comprida, durante o período analisado, se enquadra na Classe 4, apresentando valores médios de Demanda Biológica de Oxigênio superiores ao limite máximo permitido para a classe 3, de 10 mg/L. A classe 4 permite usos restritos do corpo hídrico, limitando-se à harmonia paisagística e à navegação.

Gestão de Recursos Hídricos e Saneamento

A degradação da qualidade da água do Córrego Água Comprida é um reflexo de toda qualidade da água na Bacia do Rio Bauru. Na cidade de Bauru apenas 5% do esgoto é tratado (Brasil (2021)), o que sobrecarrega as águas superficiais do município para diluir e depurar grande quantidade de esgoto bruto lançado, diminuindo drasticamente a qualidade das águas e seus diferentes usos. O Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Bauru, publicado em 2016 (Prefeitura Municipal de Bauru (2016)) apresenta dados de tratamento no Município dos anos de 2011 a 2016, 1,86% e 4,36%, respectivamente, apontando ainda que a Estação de Tratamento de

Esgotos estava em fase de construção, mas ainda não foi finalizada. A fiscalização e acompanhamento do Ministério Público do Estado de São Paulo emitiu Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) em 2001, e desde então vem acompanhando e cobrando o avanço das melhorias do serviço de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

O Plano Diretor Participativo do Município de Bauru (Bauru (2008)) possui objetivos claros para a área de esgotamento sanitário, sendo os principais: *i.* assegurar a toda a população cobertura de 100% dos serviços de coleta de tratamento de esgotos; e *ii.* promover a proteção e despoluição dos rios urbanos. Infelizmente até o ano de 2025 a situação de gestão e gerenciamento de águas superficiais no município e garantia da universalização do saneamento básico, especialmente da coleta e tratamento de efluentes domésticos, não avançou, diminuindo a segurança hídrica urbana do Município (Barbosa e Ruas (2023)) e expondo a população e o meio ambiente a degradação e impactos ambientais adversos.

CONCLUSÃO

Este estudo analisou os dados coletados entre 2019 e 2023 referentes à qualidade da água do córrego Água Comprida, que percorre uma área urbanizada do município de Bauru, estado de São Paulo. Ao longo dos anos analisados, os parâmetros demonstraram piora na qualidade da água à jusante em comparação aos valores obtidos a montante, com diferenças estatísticas significativas nos indicadores de Oxigênio Dissolvido, Demanda Química de Oxigênio, Condutividade, Sólidos Totais Dissolvidos, Fosfato, Nitratos, Amônio e Amônia. Entretanto, os valores de pH e Temperatura se mantiveram relativamente estáveis ao longo dos anos nos dois pontos de coleta de amostra. O cálculo do Índice de Qualidade de Água parcial (IQAm) demonstrou o alto nível de poluição do corpo hídrico, assim como o enquadramento na classe 4, segundo a resolução nº357/2005 do CONAMA, prejudicando o uso da água do córrego Água Comprida para abastecimento ou lazer, por exemplo. Estes resultados evidenciam o impacto negativo da urbanização aliada à falta de um sistema de tratamento de efluentes eficiente e adequado para a qualidade das águas superficiais. Em sociedades cada vez mais urbanizadas e sujeitas a episódios de escassez hídrica, faz-se necessário aprimorar e desenvolver novas técnicas de controle de poluição de corpos hídricos, a fim de assegurar a segurança hídrica das populações e mitigar os impactos da ocupação humana nos ecossistemas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio técnico fornecido pelo Departamento de Água e Esgoto de Bauru (Convênio número: 2100.0632) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela Bolsa de Mestrado concedida a Enzo Guzzo Duz (Código de Financiamento 001, Processo 88887.178170/2025-00).

REFERÊNCIAS

BARBOSA, L. L; RUAS, G. Segurança Hídrica Urbana: Avaliação do Componente "Abastecimento e Bem-Estar Humano" na cidade de Bauru/SP. Anais XXV SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2023, Local: Centro de Convenções AM Malls - Sergipe, ISSN: 2318-0358. Disponível em: <http://www.abrhidro.org.br/xxvsbrh>.

BAURU. LEI N º 5.631, DE 22 DE AGOSTO DE 2008. Institui o Plano Diretor Participativo do município de Bauru. Data de Promulgação: 22/08/2008. Data de Publicação: 26/08/2008. DOU.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília – DF, 6 p. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 7 jun. 2025.

BRASIL. (2021) Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto - 2020. Brasília: SNIS, 2021.

CAPPS, K.A.; BENTSEN, C.N.; RAMÍREZ, A. (2016). “Poverty, Urbanization, and Environmental Degradation: Urban Streams in the Developing World”. *Freshwater Science*, 35, pp. 429–435.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2017). Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas. In: Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo – 2017. São Paulo – SP, CETESB. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2025.

McDONALD, R.I.; WEBER, K.; PADOWSKI, J.; FLÖRKE, M.; SCHNEIDER, C.; GREEN, P.A.; GLEESON, T.; ECKMAN, S.; LEHNER, B.; BALK, D.; BOUCHER, T.; GRILL, G.; MONTGOMERY, M. (2014). “Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure”. *Global Environmental Change*, 27, pp. 96–105.

MICROSOFT EXCEL. Versão 365. Redmond, WA: Microsoft Corporation, 2023. Disponível em: <https://www.microsoft.com/excel>. Acesso em: 4 jun. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU-Habitat: população mundial será 68% urbana até 2050. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050>. Acesso em: 4 jun. 2025.

ONU Brasil. Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6: Água potável e saneamento. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acesso em: 4 jun. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BAURU. Plano Municipal Saneamento Básico, Produto 3, Diagnóstico Técnico-Participativo Dos Serviços De, Saneamento Básico, Tomo III – Sistema De Esgotamento Sanitário. Disponível em: https://www.daebauru.sp.gov.br/empresa/produto_03/SISTEMA_DE_ESGOTAMENTO_SANITARIO.pdf. Acesso em: 7 jun. 2025.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 4 jun. 2025.