



Avaliação da Qualidade da Água em Córrego Urbano de Ribeirão Preto (SP): uma Aplicação do IQA com Metodologia Adaptada

¹Maria Eduarda de Moraes Pimenta, ²Matheus Vinícius de Oliveira, ³Nicolas Gabriel Aziani da Silva, ⁴Marcia Vilma Gonçalves de Moraes, ⁵Marilia Vasconcellos Agnesini, ⁶Cristina Filomena Pereira Rosa Paschoalato

¹Universidade de Ribeirão Preto, e-mail: maria.pimenta@sou.unaerp.edu.br;

²Universidade de Ribeirão Preto, e-mail: matheus.voliveira@sou.unaerp.edu.br;

³Universidade de Ribeirão Preto, e-mail: nicolas.gsilva@sou.unaerp.edu.br;

⁴Universidade de Ribeirão Preto, e-mail: marcia.moraes@sou.unaerp.edu.br;

⁵Universidade de Ribeirão Preto, e-mail: magnesini@unaerp.br;

⁶Universidade de Ribeirão Preto, e-mail: cpaschoalato@unaerp.br

Grupo 4: Gestão Ambiental e Políticas Ambientais
Eixo Gestão integrada na legislação de recursos naturais.

Resumo

A poluição de córregos urbanos por esgotos domésticos constitui ameaça relevante à qualidade hídrica, mesmo em municípios com ampla cobertura de saneamento, onde persistem contribuições difusas e ligações clandestinas. Este estudo determinou o Índice de Qualidade da Água (IQA) nos córregos Retiro Saudoso e Ribeirão Preto (Ribeirão Preto, SP), com base em dados secundários de três pontos amostrais. Diante da indisponibilidade de turbidez e temperatura, adotou-se uma adaptação metodológica do IQA, fundamentada na ANA e CETESB, com substituição da DBO pelo COT e redistribuição proporcional dos pesos. Os resultados indicaram IQA de 76,46, 63,47 e 67,50, classificando a água como “boa” em todos os pontos. Conclui-se que a abordagem é aplicável ao conjunto de dados, refletindo avanços no saneamento, embora apresente limitações quanto à ausência de parâmetros toxicológicos e organolépticos.

Palavras-chave: Monitoramento Hídrico; Qualidade da Água Superficial; Saneamento Básico; Bacia do Rio Pardo; Gestão de Recursos Hídricos.

Introdução

A poluição de corpos hídricos por esgotos domésticos é uma das principais ameaças aos recursos hídricos no Brasil, com reflexos sobre saúde pública e abastecimento urbano (CBH-Pardo, 2025). O déficit nacional em saneamento é expressivo, apenas 39% da carga orgânica é tratada e 62,3% da população tem rede coletora (SINISA, 2025), mas Ribeirão Preto (SP) destoa, com 98,97% de atendimento e classificação “bom” pelo ICTEM (CETESB, 2026). Ainda assim, córregos urbanos permanecem sujeitos a contribuições difusas e ligações clandestinas não captadas pela coleta formal, o que justifica o monitoramento qualitativo direto.



O IQA, desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (1970) e adotado pela CETESB desde 1975, integra parâmetros físicos, químicos e microbiológicos em um indicador ponderado, pressupondo nove parâmetros fixos, incluindo medições *in loco* e a DBO. Em estudos com dados secundários, como este, baseado em Moraes *et al.* (2024), sem nova amostragem, essa exigência frequentemente não se verifica, exigindo adaptações: substituição da DBO pelo carbono orgânico total (COT) e redistribuição proporcional dos pesos da ANA.

Essa substituição envolve implicações conceituais, pois o COT não distingue biodisponibilidade metabólica como a DBO. A correlação entre ambos (Dubber; Gray, 2010; Tian *et al.*, 2019; Arnesen *et al.*, 2019) carrega incertezas propagadas ao IQA final, tornando o índice adaptado não comparável ao oficial, válido apenas para comparação relativa interna. Objetiva-se, assim, determinar o IQA adaptado dos córregos Retiro Saudoso e Ribeirão Preto, avaliando essa metodologia em cenários de disponibilidade analítica reduzida.

Metodologia

O estudo baseou-se em dados secundários de três pontos amostrais nos córregos Retiro Saudoso e Ribeirão Preto: a nascente do Retiro Saudoso (Amostra 1, 17/05/2024), a rotatória Amin Antônio Calil, a jusante da confluência (Amostra 2, 19/05/2024), e o trecho final da Avenida Governador Mário Covas, antes da Rodovia Alexandre Balbo (Amostra 3, 19/05/2024). As análises seguiram o protocolo de Moraes *et al.* (2024), do qual este trabalho constitui reanálise sob metodologia adaptada de cálculo do IQA.

O IQA foi calculado com base na estrutura ponderada da ANA/CETESB para os nove parâmetros originais. Em razão da indisponibilidade de turbidez, seu peso foi redistribuído proporcionalmente entre os oito parâmetros remanescentes, preservando a importância relativa de cada variável. Os resultados foram interpretados como um IQA modificado, aplicável apenas à comparação entre os pontos avaliados.

Na ausência de dados de DBO, utilizou-se o carbono orgânico total (COT) como indicador da carga orgânica, conforme correlações descritas por Dubber e Gray (2010), Tian *et al.* (2019) e Arnesen *et al.* (2019). A temperatura da água foi estimada pelo afastamento da temperatura de equilíbrio (ΔT), segundo Çengel e Cimbala (2015) e Vianna (2006), sendo empregada também no cálculo da concentração de saturação de oxigênio dissolvido. Os subíndices (q_i) foram obtidos por regressões lineares ajustadas às curvas de qualidade da ANA/CETESB (Tabela 1).



Tabela 1 – Equações ajustadas por regressão linear e parâmetros associados

Parâmetro	Equação utilizada para cálculo do q_i
Coliformes Fecais	$q_i = (98,24034 - (34,7145 * (\text{LOG}(\text{CF}))) + (2,614267 * (\text{LOG}(\text{CF}))^2) + (0,107821 * (\text{LOG}(\text{CF}))^3))$
Temperatura	
Afastamento da temperatura de equilíbrio	$q_i = 8,6 * \Delta T + 93,167$
pH	$q_i = (-0,2089 * (\text{pH}^5)) + (4,2896 * (\text{pH}^4)) - (32,618 * (\text{pH}^3)) + (116,84 * (\text{pH}^2)) - (194,28 * (\text{pH})) + 122,22$
COT	$q_i = (98,396 * (2,7182828^{(-0,102 * \text{COT})))$
Turbidez	-
Nitrogênio total	$q_i = (0,00001 * (\text{NT}^4)) - (0,0024 * (\text{NT}^3)) + (0,1732 * (\text{NT}^2)) - (5,9078 * \text{NT}) + 97,233$
Fósforo Total	$q_i = (-0,4476 * (\text{FT}^5)) + (6,7668 * (\text{FT}^4)) - (38,331 * (\text{FT}^3)) + (101,67 * (\text{FT}^2)) - (134,09 * (\text{FT})) + 99,405$
Resíduos totais	$\text{RT} < 50 \Rightarrow q_i = (0,16 * \text{RT}) + 80$ $\text{ST} > 50 \Rightarrow q_i = (-0,00005 * (\text{RT}^2)) - (0,0987 * \text{RT}) + 94,65$
Concentração Oxigênio medido na amostra	-
Altitude do local	-
Concentração de saturação de oxigênio (C_s')	$C_s' = ((14,652 - (0,41022 * T) + (0,00799 * T^2)) - 0,000077774 * T^3) * \left(\left(1 - \frac{A}{9450} \right) \right)$
% de saturação do OD	$C_s = \left(\frac{\text{ODmedido}}{C_s'} \right) * 100$

O valor consolidado do IQA para cada ponto foi calculado pela Equação 1:

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

Em que, q_i representa o subíndice de qualidade do parâmetro i (0–100) e w_i o peso relativo atribuído a esse parâmetro, cuja soma é igual a 1. Os valores de IQA obtidos foram classificados de acordo com as faixas de qualidade estabelecidas pela CETESB, apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Classes de qualidade da água por faixas de IQA

Valor do IQA	Classes	Significado
$90 < IQA \leq 100$	Ótima	Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público
$70 < IQA \leq 90$	Boa	
$50 < IQA \leq 70$	Regular	
$25 < IQA \leq 50$	Ruim	Águas impróprias para tratamento convencional visando o abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados
$IQA \leq 25$	Péssima	

Resultados e Discussão

A Tabela 3 apresenta os subíndices de qualidade (q_i), suas contribuições ponderadas e



os valores consolidados do IQA para os três pontos de amostragem. A Figura 1 ilustra a variação do IQA ao longo do gradiente longitudinal dos córregos avaliados, permitindo a comparação da qualidade da água entre os locais monitorados.

Tabela 3 – Valores dos subíndices e do Índice de Qualidade das Águas (IQA) por ponto de amostragem

Parâmetro	peso (wi)	PONTO 1		PONTO 2		PONTO 3	
		qi	qi wi	qi	qi wi	qi	qi wi
Coliformes Fecais	0,1630	82,33	2,05	22,22	1,66	28,86	1,73
Temperatura	-	-	-	-	-	-	-
Afastamento da temperatura de equilíbrio	0,1087	93,17	1,64	93,17	1,64	93,17	1,64
pH	0,1304	34,57	1,59	92,11	1,80	89,36	1,80
COT	0,1087	90,81	1,63	75,42	1,60	67,49	1,58
Turbidez	-	-	-	-	-	-	-
Nitrogênio total	0,1087	97,00	1,64	73,49	1,60	85,05	1,62
Fósforo Total	0,1087	99,00	1,65	97,81	1,65	96,37	1,64
Resíduos total	0,0870	86,40	1,47	83,63	1,47	77,81	1,46
Concentração Oxigênio medido	-	-	-	-	-	-	-
Altitude do local	-	-	-	-	-	-	-
Conc. de saturação do Oxigênio (Cs')	-	-	-	-	-	-	-
% de saturação do OD	0,1848	71,18	2,20	55,48	2,10	64,18	2,16
IQA		76,46		63,47		67,50	

Os valores de IQA foram 76,46 (Ponto 1), 63,47 (Ponto 2) e 67,50 (Ponto 3), classificando todos os pontos na categoria boa segundo a CETESB, embora o Ponto 2 tenha apresentado o menor índice. Os subíndices indicaram aumento da contaminação ao longo do curso d'água, evidenciado pela redução dos valores de coliformes fecais e pelo aumento do pH nos pontos a jusante. Em razão de seu maior peso relativo (0,1630), os coliformes fecais exerceram maior influência na redução do IQA, sugerindo contribuições de esgotos ao longo do trecho avaliado.

Os resultados devem ser interpretados de forma relativa, pois o IQA foi calculado por metodologia adaptada. A exclusão da turbidez implicou redistribuição dos pesos entre os parâmetros, enquanto a substituição da DBO pelo COT e a estimativa da temperatura introduziram incertezas adicionais no cálculo dos subíndices. Assim, os valores obtidos não são diretamente comparáveis ao IQA convencional da CETESB. Apesar dessas limitações, a metodologia apresentou coerência para a avaliação comparativa dos pontos monitorados a partir de dados secundários incompletos, configurando uma alternativa preliminar para estudos exploratórios em áreas urbanas. Ressalta-se, entretanto, que o IQA não contempla contaminantes específicos, como substâncias tóxicas e patógenos, devendo ser utilizado de forma complementar.



Figura 1 – Classificação da qualidade da água segundo o IQA Adaptado nos pontos de amostragem ao longo dos córregos Retiro Saudoso e Ribeirão Preto (RP-SP)



Conclusão

O estudo evidenciou a aplicabilidade da metodologia adaptada do IQA para avaliação da qualidade da água a partir de dados secundários incompletos, classificando os três pontos monitorados na categoria "boa". Embora a adaptação não permita comparação direta com o IQA convencional e apresente limitações inerentes à ausência de alguns parâmetros, os resultados demonstram seu potencial como ferramenta preliminar de avaliação e apoio ao monitoramento da qualidade da água. Recomenda-se a aplicação da metodologia em diferentes cenários e sua validação em relação ao método convencional.

Agradecimentos

Ao CNPQ Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ e ao Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)



Referências

ARNESSEN, A. S.; LIMA, F. A. S.; LOTITO, D. M. R.; SILVA, P. L.; ROVERI, F. **Avaliação da adoção do parâmetro carbono orgânico total em substituição à demanda bioquímica de oxigênio para monitoramento da qualidade de corpos d'água superficiais.** Portal Tratamento de Água, [S. l.], 27 fev. 2019. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/carbono-organico-total-monitoramento-qualidade-corpos-dagua/>. Acesso em: 17 jun. 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos do Brasil 2025: relatório síntese.** Brasília: ANA, 2026.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab: relatório de avaliação anual 2021.** Brasília: Ministério das Cidades, 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. **SINISA painel de indicadores – 2025: módulo esgoto.** Brasília: Ministério das Cidades, 2025. Disponível em: <https://indicadores-sinisa-2025.cidades.gov.br/dashboard?modulo=esgoto>. Acesso em: 17 jun. 2026.

CENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações.** Porto Alegre: AMGH, 2015.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARDO. Grupo de Trabalho Permanente do Relatório Anual de Situação dos Recursos Hídricos e Plano de Bacia. **Relatório de situação dos recursos hídricos da bacia hidrográfica 2025 (ano-base 2024): UGRHI-4 Pardo.** Ribeirão Preto: CBH Pardo, 2025. 76 p. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhparado/documentos>. Acesso em: 23 jun. 2026.

DUBBER, D.; GRAY, N. F. **Replacement of chemical oxygen demand (COD) with total organic carbon (TOC) for monitoring wastewater treatment performance to minimize disposal of toxic analytical waste.** Journal of Envir. Science and Health, Part A, Philadelphia, v. 45, n. 12, p. 1595-1600, 2010. DOI: 10.1080/10934529.2010.506116.

MORAES, M. V. G.; PASCHOALATO, C. F. P. R.; AFONSO, M. M. F.; PIMENTA, M. E. M.; PEREIRA, L. D. **Influência da atividade urbana na qualidade da água do córrego no município de Ribeirão Preto-SP.** 21º Congresso Nac. de Meio Amb. de Poços de Caldas, 2024. Anais. v. 7, n. 1. Poços de Caldas MG, 2024. ISSN 2317-9686.

SÃO PAULO (Estado). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Esgotamento sanitário no Estado de São Paulo: relatório de esgotamento sanitário 2024.** Secret. de Meio Amb., Infraest. e Log. do Est. de SP/CETESB, 2026.

TIAN, X.; ZHAO, C.; JI, X.; FENG, T.; LIU, Y.; BIAN, D. **The correlation analysis of TOC and CODCr in urban sewage treatment.** In: Internat. Confer. on Biotechnology and Envir. engineering (ICBTE), 2019. Proceedings [...]. [S. l.]: E3S Web of Conferences, 2019. v. 136, art. 06010. DOI: 10.1051/e3sconf/201913606010.

VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água.** 5. ed. Belo Horizonte MG: Imprimatur Artes, 2006.