



VARIABILIDADE DO IQACETESB AO LONGO DO DIA EM UM CANAL DE DRENAGEM URBANO

João Miguel Mercês Bega ¹ ; José Antônio Zanetoni Filho ² & Jefferson Nascimento de Oliveira ³

RESUMO – Inúmeros cursos de água impactados por área urbana em nível mundial têm apresentado péssima qualidade de suas águas. Uma forma de monitorar tais ambientes trata-se do uso de Índices de Qualidade das Águas (IQA). No entanto, atualmente, existe a escassez de informações sobre o comportamento desses indicadores ao longo do dia, uma vez que as amostragens são frequentemente realizadas no período da manhã. O presente trabalho consistiu em avaliar as oscilações nos valores do IQACETESB entre os períodos da manhã, tarde e noite (i.e., 8h00, 14h00 e 19h00, respectivamente), para um córrego impactado por área urbana. Foi obtido que houve variação estatística significativa da média do índice apenas entre manhã ($15,50 \pm 1,97$) e tarde ($20,83 \pm 5,42$), na estação de estiagem. Entretanto, foi comum valores distintos ao longo do dia em todos os meses avaliados, apresentando, inclusive, diferença igual a 30 entre manhã (49) e noite (19). Desta forma, a avaliação do IQACETESB conduzida em apenas um horário pode deixar passar informações essenciais para os gestores ambientais, resultando em uma visão errônea do problema, o que reflete a importância da amostragem em distintos horários do dia.

ABSTRACT– Many watercourses impacted by urban areas at a global level have shown poor water quality. One way of monitoring such environments is the use of Water Quality Indexes (WQI). However, currently, there is a scarcity of information on the behavior of these indicators throughout the day, since sampling is often carried out in the morning. The present research consisted of evaluating the fluctuations in the WQICETESB values between the morning, afternoon and night periods (i.e., 8:00 am, 2:00 pm and 7:00 pm, respectively), for a stream impacted by an urban area. It was found that there was a statistically significant variation in the mean of the index only between morning ($15,50 \pm 1,97$) and afternoon ($20,83 \pm 5,42$), in the dry season. However, different values were common throughout the day in all months, including a difference equal to 30 between morning (49) and night (19). In this way, the WQICETESB assessment conducted at only one time of the day can pass on essential information to environmental managers, resulting in an erroneous view of the problem, which reflects the importance of sampling throughout the day.

Palavras-Chave – Poluição urbana. CONAMA nº 357/05. Monitoramento ambiental.

INTRODUÇÃO

Por séculos, as fontes de água superficial têm sido consideradas a base do desenvolvimento das áreas urbanas, agrícolas e industriais ao redor do mundo. Suas diferentes formas (e.g., rios, córregos, lagos, estuários e reservatórios) são fundamentais para recreação, atividades de pesca, navegação, abastecimento, entre outros diversos usos (NOORI *et al.*, 2019). Nas últimas décadas, as atividades antrópicas desenvolvidas nas bacias hidrográficas, acompanhadas de processos naturais (e.g., erosão, efeitos sazonais e precipitação), levaram os cursos de água a se sobrecarregarem com elevadas cargas

1) Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), joaobega@usp.br

2) EESC/USP, j.zanetoni@yahoo.com.br

3) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), jefferson.nascimento@unesp.br



de poluentes presentes na superfície terrestre (KAZI *et al.*, 2009; TIAN *et al.*, 2019). Nesse sentido, informações sobre a qualidade da água bruta são primordiais para a escolha de técnicas a serem empregadas no seu tratamento e posterior distribuição aos consumidores.

Nos dias atuais, é prática comum a utilização de índices numéricos para avaliar a qualidade da água em pontos específicos de cursos de água (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Os métodos mais tradicionais envolviam apenas a aferição de parâmetros e a comparação dos valores obtidos com os limites normativos (NOORI *et al.*, 2019). Embora de simples aplicação, eles não proporcionavam uma visão ampla do estado de qualidade da água. Além disso, inúmeras variáveis eram requeridas, o que gerava restrições temporal e financeira para suas quantificações (AKOTEYON *et al.*, 2011; CHEN *et al.*, 2012). A fim de resolver tais problemas, os Índices de Qualidade das Águas (IQA) foram criados, de forma a traduzir as informações contidas em vários parâmetros em apenas um valor, com pesos atribuídos conforme a sua influência no ambiente avaliado (RNJBAR *et al.*, 2016).

Em âmbito nacional, no ano de 1975, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) adaptou a versão do índice proposta pela *National Sanitation Foundation* (NSF) em 1970 (BROWN *et al.*, 1970), recebendo o nome de IQA_{CETESB}, utilizado até hoje no estado de São Paulo (CETESB, 2017). Alguns parâmetros foram substituídos em relação ao IQA_{NSF}: fosfato total por fósforo total (PT) e nitrato por nitrogênio total (NT) (ANA, 2012). Desta forma, nove parâmetros foram priorizados, decorrentes de sua representatividade quanto à poluição da água por lançamento de efluentes domésticos, a saber: temperatura, turbidez, sólidos totais (ST), potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), PT, NT e coliformes termotolerantes (CT). Com o passar das décadas, outros estados brasileiros aderiram ao IQA_{CETESB}.

De acordo com Oliveira *et al.* (2019), assim como outros índices, o IQA_{CETESB} tem suas limitações. Além de englobar um número muito limitado de parâmetros biológicos (1), físicos (3) e químicos (5), verifica-se a sobreposição de alguns deles (i.e., fornecimento de informações similares): ST e turbidez, OD e DBO e, até mesmo, CT e DBO. Os pesquisadores inferiram, inclusive, que o IQA_{CETESB} não consegue avaliar a tratabilidade da água superficial, devido à inexistência de parâmetros como alga, cianobactéria, carbono orgânico total, magnésio e ferro. Ademais, atualmente, a maioria dos monitoramentos ambientais são sazonais, realizados mensalmente, buscando contemplar os períodos chuvoso e de estiagem (MENEZES *et al.*, 2016; ZAMBRANO *et al.*, 2017; EJOH *et al.*, 2018; SOUZA *et al.*, 2020). No entanto, existe a escassez de informações sobre a variação da qualidade da água entre os períodos do dia, em especial sobre os próprios IQA.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o comportamento do IQA_{CETESB} ao longo do dia (i.e., 8h00, 14h00 e 19h00) em um córrego impactado por área urbana, a



fim de fornecer subsídios para indagações a respeito da utilização do índice, o qual vem sendo empregado por pesquisadores em uma única avaliação diária.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado no município de Ilha Solteira (SP) (20°38'44"S e 51°06'35"W), tendo uma população de 25.144 habitantes, residente, em sua maioria, no perímetro urbano (23.506), e área territorial correspondente a 659,0 km², dos quais 4,3 km² pertencem à área urbana (IBGE, 2012). De acordo com a classificação de Köppen, o clima local caracteriza-se como semiúmido (Aw), marcado por estiagem no inverno e chuvas intensas no verão (ALVARES *et al.*, 2013). O índice pluviométrico da cidade é da ordem de 1.300 mm por ano, majoritariamente concentrado no período de novembro a março (80%). A região de Ilha Solteira faz parte da Província Geomorfológica do Planalto Ocidental, apresentando relevo colinoso, representado pelas rochas sedimentares do Grupo Bauru, com as seguintes características dos solos predominantes: Latossolo Vermelho (rico em sesquióxido), Argiloso Vermelho Eutrífico, Argissolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico (LIMA *et al.*, 2004).

A avaliação da qualidade da água foi efetuada em um córrego urbano de primeira ordem (Sem Nome) inserido na sub-bacia do Córrego Sem Nome (3,47 km²). No que lhe concerne, o córrego não se encontra enquadrado no licenciamento ambiental dos corpos de água superficiais (BRASIL, 2005). Portanto, adotou-se a classe em função dos usos preponderantes mais exigentes a Classe 2, até que a autoridade outorgante tenha informações necessárias à sua definição. A Figura 1 apresenta a área de estudo e os pontos de amostragem (P1: 20°25'50"S e 51°20'08"W; P2: 20°25'60"S e 51°20'06"W), os quais foram escolhidos por apresentarem algumas características que indicaram estágio avançado de degradação do córrego (e.g., mau cheiro e falta de vegetação ripária), aferidas por meio de uma visita *in situ* antes do início da pesquisa.

Coleta das amostras e análise dos parâmetros avaliados

As coletas foram realizadas durante o período de um ano (março de 2019 – fevereiro de 2020), uma vez ao mês, sempre às 8h00, 14h00 e 19h00, a fim de encontrar fontes específicas de poluição, muitas vezes não perceptíveis em apenas uma amostragem diária, e verificar os efeitos da sazonalidade no decorrer dos meses. A metodologia adotada na coleta, transporte e armazenamento das amostras seguiu o que está descrito no “Guia nacional de coleta e preservação das amostras – água, sedimentos, comunidades aquáticas e efluentes líquidos” (CETESB, 2011). Por sua vez, utilizou-se nas análises a metodologia do *Standard Methods for Examination of Water and*



Wastewater (APHA, 2017). Os parâmetros avaliados foram: temperatura (°C), turbidez (NTU), ST (mg.L⁻¹), pH, DBO (mg.L⁻¹), OD (mg.L⁻¹), NT (mg.L⁻¹), PT (mg.L⁻¹) e CT (NMP/100 mL).

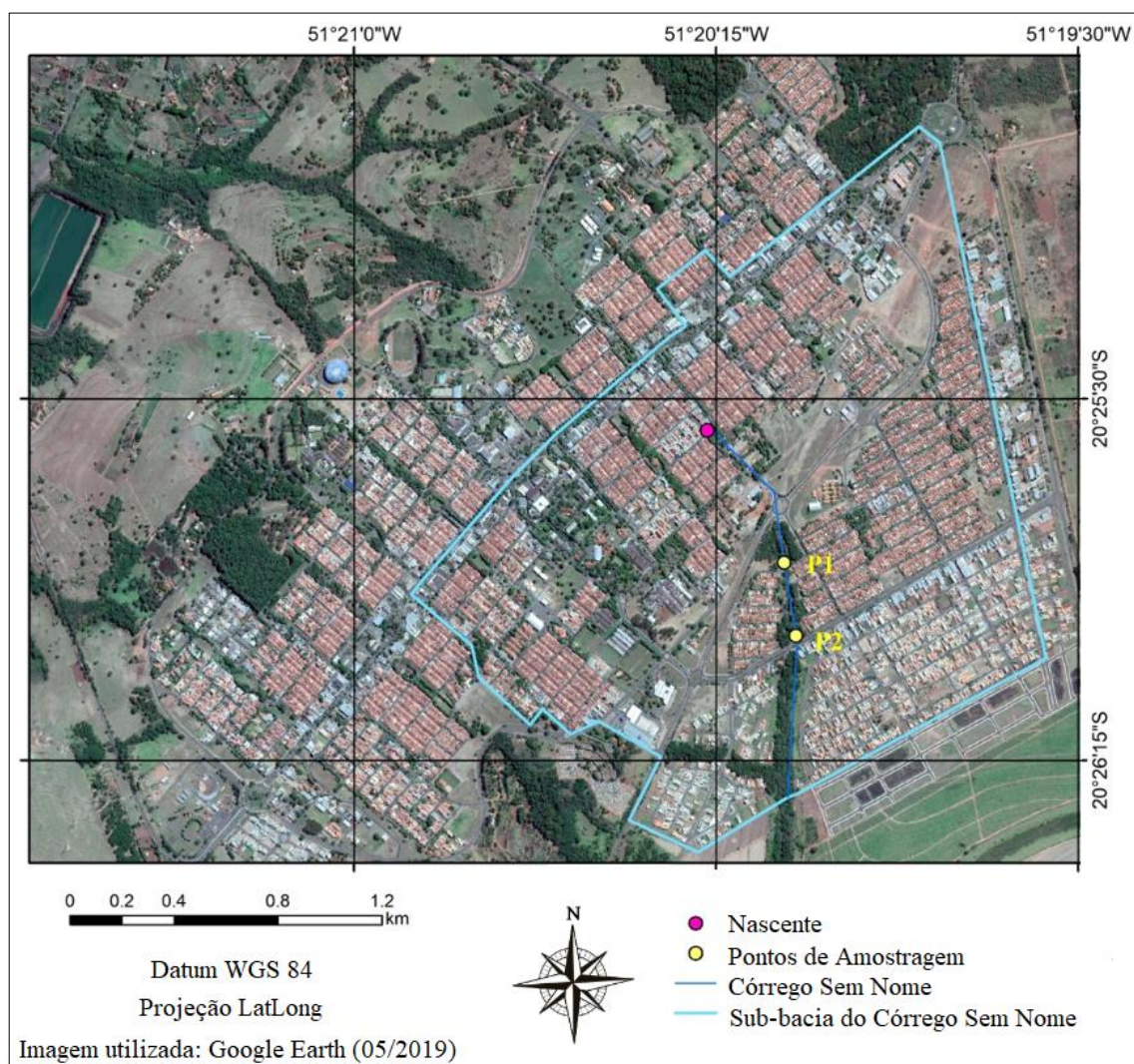


Figura 1 – Sub-bacia do Córrego Sem Nome e localização dos pontos de amostragem

Cálculo do IQA_{CETESB}

No cálculo do IQA_{CETESB} cada parâmetro tem um peso atribuído (w), fixado em função da sua importância para a conformação da qualidade da água (OD: 0,17; CT: 0,15; pH: 0,12; DBO, temperatura, NT e PT: 0,10; turbidez e ST: 0,08) (CETESB, 2015). Além do w, um valor de qualidade (q) é conferido a cada parâmetro, obtido do gráfico de qualidade em função de sua concentração ou medida. Tendo-se os valores de w e q, executa-se o cálculo do IQA_{CETESB}, aplicando o produtório, de acordo com a Equação 1.

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



na qual:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, que varia de 0 a 100;

q_i : qualidade do i-ésimo parâmetro, entre 0 e 100, que varia de acordo com o gráfico de qualidade;

w_i : peso correspondente ao i-ésimo parâmetro de tal forma que a somatória dos pesos seja 1.

Por fim, obtém-se a qualidade da água do ambiente analisado pelo uso da classificação por intervalos de valores de IQA_{CETESB} na faixa de 0 a 100 (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação das faixas de IQA_{CETESB} (CETESB, 2015)

Intervalo de valores	Qualidade da Água
80 – 100	Ótima
52 – 79	Boa
37 – 51	Regular
20 – 36	Ruim
0 – 19	Péssima

Na presente pesquisa, o cálculo do IQA_{CETESB} foi realizado pela utilização da Planilha Eletrônica Excel disponibilizada por Von Sperling (2014).

Forma de análise dos resultados

Os dados obtidos foram analisados de maneira descritiva pelo cálculo das médias, mínimos, máximos e desvio padrão. Foram elaborados gráficos e tabelas que facilitaram a visualização e interpretação dos resultados. Além disso, foi realizada uma análise de conformidade dos parâmetros com a Resolução CONAMA n° 357/05 (BRASIL, 2005). O teste de hipótese ANOVA *One-Way* foi empregado para validar ou rejeitar a significância da variabilidade do índice estudado ao longo do dia. Para tanto, o teste complementar de Tukey foi utilizado. As análises estatísticas foram efetuadas no *software OriginPro2015*.

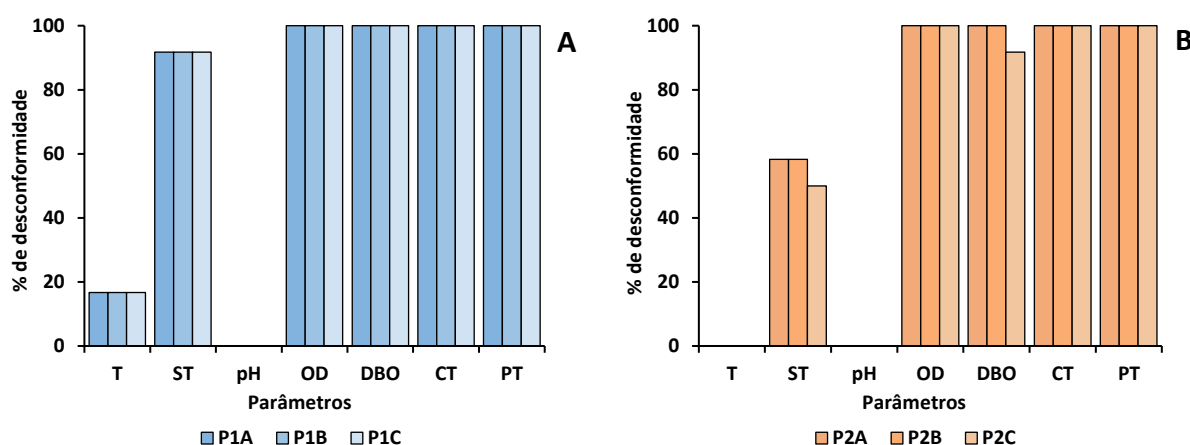
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da avaliação de conformidade dos parâmetros envolvidos no cálculo do IQA_{CETESB} com a Resolução CONAMA n° 357/05 (BRASIL, 2005), foi elaborada a Figura 2. Para a melhor organização e compreensão dos resultados, foi adotado que A, B e C se referem aos períodos da



manhã, tarde e noite, respectivamente. Desta forma, por exemplo, P1A diz respeito ao ponto P1 no período da manhã.

Os parâmetros que apresentaram a maior porcentagem de desconformidade com a legislação foram OD, DBO, CT e PT, o que refletiu práticas de uso e ocupação do solo inadequadas e possível lançamento de esgoto doméstico *in natura* no córrego Sem Nome, uma vez que são variáveis indicativas de tal fonte de poluição. Exceto na única amostra que exibiu teor de DBO dentro do limite ($< 5 \text{ mg. L}^{-1}$), esses parâmetros estiveram 100% fora do estabelecido para um curso de água Classe 2. O pH (0%) e a turbidez (P1: 16,7%; P2: 0%) foram as variáveis que apresentaram os percentuais mais baixos de desconformidade. Na sequência, tem-se os ST, com elevada porcentagem de desconformidade no ponto P1 (91,7%) e média no ponto P2 (55,3%).



T: temperatura; ST: sólidos totais; pH: potencial hidrogeniônico; OD: oxigênio dissolvido; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; CT: coliformes termotolerantes (*E. coli*); PT: fósforo total.

Figura 2 – Conformidade dos parâmetros com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) nos pontos de amostragem (A) P1 e (B) P2

Após a análise de conformidade, foi realizada uma avaliação sobre os resultados obtidos para o IQA_{CETESB} em todas as amostras (Figura 3). Os valores do índice variaram de 12-23 (média: 16), 15-30 (22) e 17-24 (21), no ponto P1, e de 14-49 (24), 15-38 (22) e 14-29 (19), no ponto P2, nos períodos da manhã, tarde e noite, respectivamente. No ponto P1 foram encontrados os valores mais baixos durante o monitoramento no córrego Sem Nome. Além disso, na maioria dos meses, a qualidade da água foi pior no período de estiagem (i.e., de abril a setembro) (CLIMA FEIS, 2020). No geral, a qualidade oscilou de péssima (47%) a ruim (53%), no ponto P1, e esteve entre péssima (53%), ruim (42%) e regular (5%), no ponto P2. Desta forma, predominantemente, a água apresentou qualidade de péssima a ruim, salvo em duas amostras do ponto P2. Especificamente no ponto P1, o período da manhã foi o mais crítico, apresentando, além de baixos valores do índice, as maiores concentrações de DBO e nutrientes (PT e NT) e a maior quantidade de *E. coli*. A montante do ponto



P1 existe uma galeria de drenagem pluvial. Por conseguinte, supõe-se que ocorre o despejo de esgotos domésticos no córrego provenientes de ligações clandestinas em residências da sub-bacia. Infere-se, ainda, que os efluentes são gerados em maior quantidade no período da manhã.

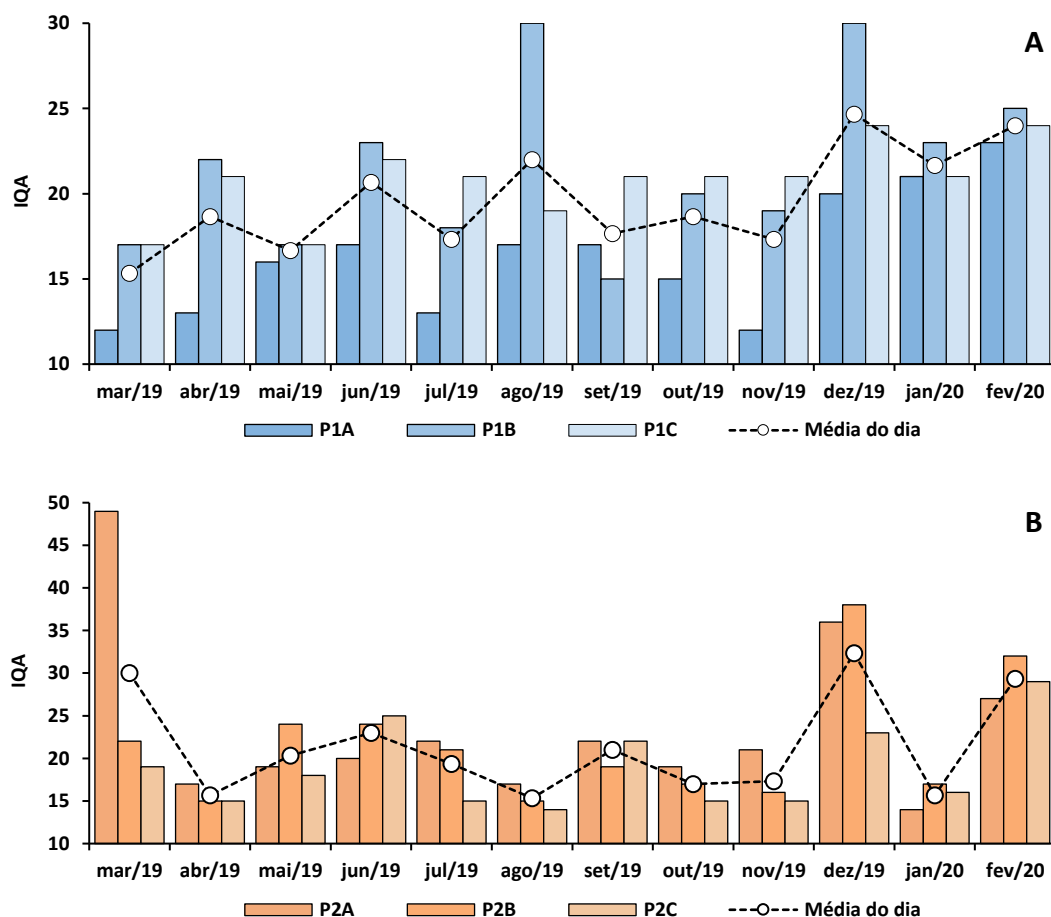


Figura 3 – Variação dos valores do IQA_{CETESB} no córrego Sem Nome ao longo do dia nos pontos de amostragem (A) P1 e (B) P2

A Tabela 2 mostra a comparação entre os valores do IQA_{CETESB} obtidos nos pontos P1 e P2, para os períodos da manhã, tarde e noite. Os dados foram divididos por estação (i.e., chuvosa e de estiagem), a fim de elucidar as diferenças entre os horários do dia nesses dois cenários, uma vez que a precipitação melhorou a qualidade da água do córrego. Pela tabela, observou-se que, mesmo havendo grande variação dos dados, não se pode afirmar que a diferença ao longo do dia foi estatisticamente significativa em todos os pontos avaliados, para as duas estações. A única diferença significativa foi encontrada entre os períodos da manhã e tarde no ponto P1, na estação de estiagem.

Por outro lado, no mês de março foram obtidos, no ponto P2, por exemplo, valores do IQA_{CETESB} iguais a 19 (noite) e 49 (manhã). Assim, ao longo do mesmo dia, as amostras coletadas apresentaram qualidade da água péssima (noite) e regular (manhã). Ainda, pela análise da Figura 3, por mais que não se tenha obtido diferença estatística significativa entre todos os períodos (Tabela



2), pôde-se observar uma variação expressiva entre os valores do índice aferidos nos três horários do dia em praticamente todas as amostragens. Portanto, um curso de água pode exibir resultados satisfatórios em termos de qualidade (i.e., de boa a ótima em relação à finalidade específica), mas, ao mesmo tempo, não refletir a sua situação de degradação, pois, dependendo do horário da amostragem, os fenômenos preponderantes que levam à perda de qualidade da água podem não estar atuando ou não terem atingido sua magnitude. Isto posto, a gestão do curso de água pode se tornar, muitas vezes, ineficiente (i.e., pela falta de abordagem efetiva).

Tabela 2 – Variação diária do IQA_{CETESB} nos pontos de amostragem P1 e P2, para as estações chuvosa e de estiagem

Estiagem		
Período	P1	P2
Manhã	15,50 ± 1,97a	19,50 ± 2,26a
Tarde	20,83 ± 5,42b	19,67 ± 4,08a
Noite	20,17 ± 1,83ab	18,17 ± 4,44a
Chuvosa		
Manhã	17,17 ± 4,79a	27,67 ± 12,89a
Tarde	22,33 ± 4,72a	23,67 ± 9,22a
Noite	21,33 ± 2,58a	19,50 ± 5,58a

*Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significantes entre os períodos do dia (ANOVA One-Way; Teste de Tukey, $p < 0,05$)

CONCLUSÕES

A precipitação melhorou a qualidade da água do córrego Sem Nome, o que infere a maior influência de fontes pontuais (e.g., despejo de esgoto doméstico *in natura*) na degradação do curso de água. Obteve-se variação estatística significativa da média do IQA_{CETESB} apenas entre os períodos da manhã e tarde, na estação de estiagem. Todavia, foram encontradas grandes variações em todos os meses monitorados, refletindo a importância da amostragem nos distintos períodos do dia. Espera-se que os resultados apresentados no presente trabalho possam fornecer subsídios para uma melhor aplicação do IQA_{CETESB}, além de ajudar outros trabalhos relacionados à poluição das águas urbanas.

AGRADECIMENTOS - Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado do autor João Miguel Mercês Bega.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas - ANA (Brasil). (2012). *Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil 2012*. Brasília, DF: ANA.



- AKOTHEYON, I. S. *et al.* (2011). “*Determination of water quality index and suitability of urban river for municipal water supply in Lagos-Nigeria*”. European Journal of Scientific Research 54(2), pp. 263 - 271.
- ALVARES, C. A. *et al.* (2013). “*Köppen's climate classification map for Brazil*”. Meteorologische Zeitschrift 22(6), pp. 711 - 728.
- American Public Health Association - APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23th ed. Washington, DC.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (2005) *Resolução nº 357/05*. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Brasília, SEMA.
- BROWN, R. M. *et al.* (1970). “*A water quality index do we dare?*”. Water and Sewage Works, pp. 339 - 343.
- CHEN, Y. C. *et al.* (2012). “*Estimation of river pollution index in a tidal stream using kriging analysis*”. International Journal of Research and Public Health 9(9), pp. 3085 - 3100.
- CLIMA FEIS. (2020). *Canal CLIMA da UNESP Ilha Solteira – Área de Hidráulica e Irrigação*. Disponível em: clima.feis.unesp.br. Acesso em: 35 de março de 2020.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. (2011). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. Organizadores: Carlos Jesus Brandão *et al.* São Paulo: CETESB; Brasília, DF: ANA, 326 p.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. (2015). *Índices de qualidade das águas*. São Paulo: CETESB. 31 p. (Série de relatórios, Apêndice C).
- EJOH, A. S. *et al.* (2018). “*Dataset on the assessment of water quality and water quality index of Ubogo and Egini rivers, Udu LGA, Delta State Nigeria*”. Data in Brief 19, pp. 1716 - 1726.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2012). *Censo demográfico 2010: Resultados gerais da amostra*. Rio de Janeiro - RJ.
- KAZI, T. G. *et al.* (2009). “*Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: a case study*”. Ecotoxicology and Environmental Safety 92, pp. 301 - 309.
- LIMA, E. A. C. F. *et al.* (2004). “*Uso atual da terra no município de Ilha Solteira, SP, Brasil: riscos ambientais associados*”. Holos Environment 4, pp. 81 - 96.
- MENEZES, J. P. C. *et al.* (2016). “*Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana*”. Engenharia Sanitária e Ambiental 2(3), pp. 519 – 534.
- NOORI, R. *et al.* (2019). “*A critical review on the application on the National Sanitation Foundation Water Quality Index*”. Environmental Pollution 244, pp. 575 - 587.
- OLIVEIRA, M. D. *et al.* (2019). “*Evaluating the surface water quality index fuzzy and its influence on water treatment*”. Journal of Water Process Engineering 32.



RNJBAR, A. J. *et al.* (2016). “*Integrated river quality management by CCME WQI as an effective tool to characterize surface water source pollution (Case study: Karun River, Iran)*”. *Pollution* 2(3), pp. 313 - 330.

SOUZA, A. T. *et al.* (2020). “*Assessment of water quality using principal component analysis: a case study of Marrecas stream basin in Brazil*”. *Environmental Technology* 1, pp. 1 - 10.

TIAN, Y. *et al.* (2019). “*Using water quality index to assess the water quality of the upper and middle streams of the Luanhe River, northern China*”. *Science of the Total Environment* 667, pp. 142 - 151.

VON SPERLING, M. (2014). *Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Exemplos de aplicação com planilhas*. Belo Horizonte: UFMG.

ZAMBRANO, K. T. *et al.* (2017). “*A comparative analysis on water quality in an urban watershed*”. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 28, pp. 566 - 578.