

FERRAMENTA DE ADERÊNCIA ENTRE DBO E COT EM EFLUENTES E AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA SUBSTITUIÇÃO NO IQA

Celina Rubiano da Silva¹, Jefferson Nascimento de Oliveira²

RESUMO

Em que pese o uso histórico da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO para avaliação da carga orgânica em corpos hídricos e efluentes, atualmente é possível a substituição por outras metodologias de análise mais limpas e eficientes, dentre as quais se destaca o Carbono Orgânico Total – COT, com resultados mais rápidos e precisos, proporcionando melhoria na tomada de decisão e gestão de Recursos Hídricos. Ainda que na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB já seja utilizada correlação para estimar a DBO a partir de COT para água bruta, não há relação estabelecida para efluentes brutos e tratados. Este trabalho busca estabelecer esta relação com base em série de dados fornecidos pela CETESB, de modo a possibilitar a substituição tecnológica das metodologias analíticas. Também se busca avaliar se e como a DBO estimada a partir de COT altera os valores de Índice de Qualidade de Água – IQA calculados pela CETESB, de modo a subsidiar a substituição tecnológica no restante do país. Este projeto está associado aos seguintes Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS 3 (saúde e bem-estar), 6 (água potável e saneamento), 11 (cidades de comunidades sustentáveis), 14 (vida na água) e 17 (parcerias e meios de implementação).

PALAVRAS-CHAVE: Carbono Orgânico Total – COT. Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO. Índice de Qualidade de Água - IQA.

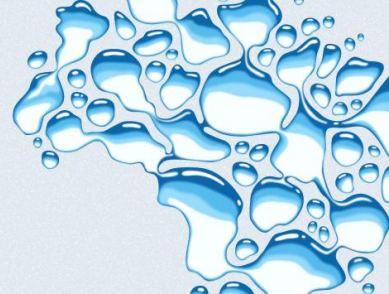
ABSTRACT

Despite the historical use of Biochemical Oxygen Demand – BOD to estimate organic matter in water and wastewater, there are several technologies more efficient and cleaner, as Total Organic Carbon – TOC, more precise and faster than BOD analysis, potentially supporting decision-making and Water Resources management. The Environmental Agency of São Paulo State – CETESB already uses values of TOC to estimate BOD in water, but there isn't a correlation to estimate BOD and TOC in wastewater. This study evaluated this correlation based on data series from CETESB, aiming for the replacement of BOD with TOC. Also examined how BOD estimated from TOC in water affects the results of Water Quality Index – WQI used in Brazil. This project is associated with Sustainable Development Goals 3, 6, 11, 14 and 17.

KEYWORDS: Total Organic Carbon – TOC. Biochemical Oxygen Demand – BOD. Water Quality Index – WQI.

¹ Aluna do Campus de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Unesp. Ferramentas Aplicadas aos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos. Campinas, São Paulo, Brasil. E-mail: celina.silva@unesp.br.

² Docente no Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua de Docente no Departamento de Engenharia Civil do Campus de Ilha Solteira da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Unesp. Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. E-mail: jefferson.nascimento@unesp.br.



INTRODUÇÃO

Ainda hoje a carga orgânica oriunda de efluentes de características domésticas é considerado o principal indicador de alteração de qualidade de corpos hídricos urbanos. Historicamente a avaliação da carga orgânica é feita a partir da estimativa de DBO, metodologia analítica que verifica a quantidade de oxigênio dissolvido em água necessária para degradação biológica da carga orgânica ali presente. Deste modo, quanto mais oxigênio é demandado para esta degradação, maior a concentração de poluentes orgânicos biodegradáveis na massa líquida, de modo que valores maiores de DBO indicam maiores cargas orgânicas. Há legislações nacional e infranacional que determinam valores máximos de DBO em água bruta, a depender da classe de qualidade do corpo hídrico em análise. Os valores de DBO também são utilizados para composição do IQA no Brasil, juntamente com outros parâmetros de qualidade.

Os principais métodos analíticos para estimar a DBO são Winkler e respirométrico, ambos com incerteza associada de 15%. Em estudo sobre as fragilidades deste tipo de medição, foi verificada diferença percentual de 25% (média) entre amostras equivalentes que foram analisadas pelos dois métodos citados (ALMEIDA et al., 2017). Ainda que as diferenças sejam esperadas, não há ajuste entre os dois métodos de estimativa de DBO, prejudicando a comparação de resultados. Existem outros inconvenientes associados à análise da DBO, tais como o tempo demorado para obtenção de resultados, a curta validade das amostras e a geração de resíduos tóxicos associados à análise (Cr^{6+} , Ag^+ , Hg). Ainda assim, por ser metodologia de análise relativamente simples e barata, a DBO é amplamente utilizada no mundo para compor indicadores de qualidade de água.

Atualmente existem outras formas de verificação da carga orgânica na massa líquida que apresentam custos reduzidos e que podem ser substitutas da análise da DBO, dentre os quais destacamos a avaliação de COT. Esta metodologia permite análise em poucos minutos, o que eleva a capacidade de processamento de amostras do laboratório, reduz a geração de resíduos durante o processo de análise e possui menor nível de incerteza.

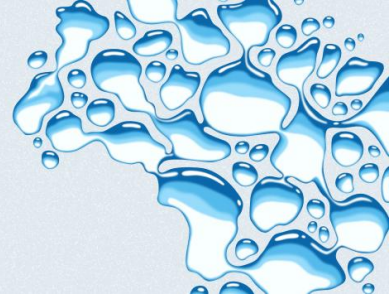
Ainda que exista correlação clara entre COT e DBO, a mera substituição de um parâmetro por outro pode gerar confusão, tendo em vista que conceitualmente as análises avaliam aspectos distintos dos indicadores orgânicos na amostra (Aziz; Tebbutt, 1980).

Destaque-se que não se pretende, através deste trabalho, a substituição da DBO como parâmetro de qualidade, uma vez que já está consolidada enquanto conceito, e existem séries históricas de décadas utilizando dados de DBO, que compõe inclusive diversos indicadores de qualidade de água, como o IQA adaptado pela CETESB, amplamente utilizado no Brasil e que permite a comparação relativamente equitativa da qualidade da água no território nacional (Menezes et al., 2010). Entretanto, a estimativa dos valores de DBO a partir de metodologias mais precisas e eficientes possibilita maior processamento de amostras e melhor tempo de resposta para os tomadores de decisão, em especial em episódios críticos de poluição.

Finalmente, a própria legislação não possui valores estabelecidos para carga orgânica a partir da COT, e sim a partir da DBO, sendo necessária uma etapa de ajuste e adaptação entre as duas tecnologias para que seja possível avaliar alteração nos parâmetros legais estabelecidos. Países como a Ucrânia, Japão, Canadá e Estados Unidos já possuem regramento legal para limites de COT na água bruta e potável (Klymenko; Samsoni-Todorova; Savchyna, 2025).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB realiza o monitoramento das águas superficiais em 601 pontos de água doce superficial no Estado de São Paulo e desde 2020 vem utilizando os resultados de COT para estimar a DBO em águas brutas monitoradas.

A continuidade natural para substituição das metodologias analíticas passa pela verificação da aderência entre DBO e COT também para avaliação da matéria orgânica em efluentes, o que é objeto deste trabalho.



Uma vez que a DBO é utilizada para calcular um importante indicador de qualidade de água no país, o IQA, também se pretende avaliar de que forma a utilização da DBO estimada a partir dos valores de COT altera o valor final do IQA para os corpos hídricos monitorados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram integralmente obtidos pela CETESB em seus laboratórios credenciados, e gentilmente cedidos para as análises aqui realizadas.

Para estabelecimento da correlação entre COT e DBO foram utilizados dados de amostras duplicadas, ou seja, para amostras do mesmo local, dia e horário foram verificados os valores de COT e DBO. Após remoção dos dados isolados da massa de dados original, foram mantidos dados casados (DBO e COT) para 1.147 amostras, coletadas entre 2018 e 2024.

Foi realizada análise exploratória dos dados através da ferramenta estatística R studio (Equipe Posit, 2025), com mesmo critério de aceitação dos dados utilizado no estudo estatístico que embasou a correlação atualmente utilizada pela CETESB, ou seja, foram mantidos os dados em que a relação $DBO/COT > 3$ (Bruni; Menegon Junior; Rugue Junior, 2019). Após seleção dos dados, restaram 1.112 dados de amostras casadas, 96,94% do total. Os dados foram separados para verificação de diferenças estatísticas na correlação das variáveis no período chuvoso e estiagem, bem como na situação de efluentes industriais ou domésticos.

A partir da verificação da melhor correlação entre as variáveis, foram testadas diversas equações para identificação do melhor ajuste entre elas, possibilitando o estabelecimento de uma função para determinar a DBO a partir dos valores de COT para efluentes.

Com relação à avaliação do impacto da DBO estimada a partir de COT nos valores de IQA, foram fornecidos pela CETESB dados dos parâmetros avaliados na determinação do IQA, dentre os quais foram selecionados aqueles que possuem duplicatas de DBO e COT. A partir disso, será calculado o IQA para cada ponto, considerando o valor de DBO observado e o valor de DBO estimado a partir do COT, para averiguação de eventual diferença entre os valores finais de IQA obtidos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise exploratória dos dados efetuada até o momento indica resultados promissores para a correlação pretendida. Foi avaliada a tipologia de distribuição dos dados e identificados outliers que deverão ser discutidos quanto à pertinência de sua manutenção na massa de dados.

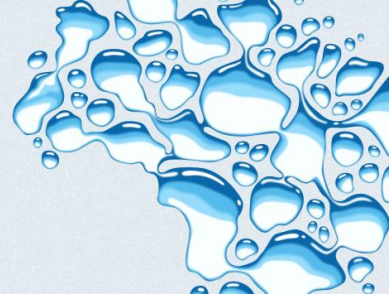
Considerando a matriz de dados sem a remoção destes outliers, foi obtida correlação de Spearman de 0,856, o que evidencia alta aderência entre as variáveis, ou seja, a variação no COT é capaz de explicar as variações percebidas na DBO.

A função que mais se adequou à massa de dados é a polinomial, com $R^2 = 0,8606$ e notação indicada pela Eq. (1).

$$DBO = 2,35 \times COT - (6,38108 \times COT^2) \quad (1)$$

Não foram identificadas diferenças estatísticas quando os dados são separados por tipologia de efluente (sanitário ou industrial) ou por período do ano (chuvoso ou estiagem). Ainda, deverá ser discutida a aderência do modelo a dados obtidos fora do período de modelagem.

Com relação a eventuais alterações no estabelecimento do IQA, ainda que não seja esperado, caso exista diferença estatística, pretendemos identificar um novo intervalo limite que seja aplicado à COT para que os resultados sejam ajustados e não alterem a série histórica.



CONCLUSÃO

O que se pretende com este projeto é o estabelecimento de correlação para estimar a DBO a partir dos valores de COT para efluentes, possibilitando a difusão desta correlação para as outras unidades da Federação através da rede de conhecimento do ProfÁgua.

Através dos resultados relativos a eventuais alterações no IQA decorrentes da DBO estimada a partir do COT, se pretende oferecer ferramenta que permita segurança para alteração gradativa da tecnologia analítica para estabelecimento da carga orgânica em água bruta e efluentes.

A consolidação das propostas aqui apresentadas possibilitará segurança para a substituição tecnológica, visando à atualização, se necessária, dos parâmetros de qualidade de água nas legislações estaduais e federal.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, ELLEN et al. Reflexões e fragilidades sobre a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em rios. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 14, n. 1, p. 9–9, 24 nov. 2017.

AZIZ, J. A.; TEBBUTT, T. H. Y. SIGNIFICANCE OF COD, BOD AND TOC CORRELATIONS IN KINETIC MODELS OF BIOLOGICAL OXIDATION. **Water Research**, v. 14, p. 319–324, 1980.

BRUNI, A. C.; MENEGON JUNIOR, N.; RUGUE JUNIOR, A. C. Estudo estatístico da relação funcional entre os parâmetros DBO5 e COT em corpos d'água do Estado de São Paulo. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Estudo-estatistico-da-relacao-funcional-entre-os-parametros-DBO-e-COT-em-corpos-d%C2%B4agua-do-Estado-de-Sao-Paulo.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2024.

EQUIPE POSIT. RStudio: Ambiente de Desenvolvimento Integrado para R. Boston, MA Posit Software, PBC, , 2025.

KLYMENKO, N. A.; SAMSONI-TODOROVA, O. O.; SAVCHYNA, L. A. Reasonability of Using the Total Organic Carbon Content in Water Supply Sources and Potable Water as a Water Quality Indicator. **Journal of Water Chemistry and Technology**, v. 47, n. 1, p. 81–90, fev. 2025.

MENEZES, Juliana Magalhães et al. Índices de Qualidade de Água: métodos e aplicabilidade. In: PRADO, Rachel Bardy; TURETTA, Ana Paula Dias; ANDRADE, Aluísio Granato de (org). **Manejo e Conservação do SOLO e da ÁGUA no Contexto das Mudanças Ambientais**. In: Rio de Janeiro: 2010.