

## II-587 – OTIMIZAÇÃO ANALÍTICA DA DBO POR ANÁLISE DE CORRELAÇÃO COM DQO E COT EM SOLUÇÕES PADRONIZADAS DE DBO

**João Lucas Melo de Oliveira<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental e Sanitarista (SENAC, 2022).

**Alexandre Saron<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Químico (Faculdade Oswaldo Cruz, 1994), Mestre em Engenharia Civil (UNICAMP, 2000), Especialista em Docência do Ensino Superior (2000), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (2006) e Doutor em Ensino de Ciências e Matemática (Universidade Cruzeiro do Sul, 2016). Professor e pesquisador do Centro Universitário Senac Santo Amaro.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Engenheiro Eusébio Stevaux, 823, Centro Universitário Senac Santo Amaro, São Paulo/SP, Brasil. E-mail: joao\_lucasm@hotmail.com

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica, confiabilidade e aplicabilidade em escala de laboratório, do estabelecimento e uso de correlações entre Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Total (COT) para estimativa de DBO em diferentes matrizes aquosas. Através de experimentos laboratoriais para determinação de DQO e COT em soluções padronizadas de DBO, tratamento estatístico dos dados e análises de relações estabelecidas por outros autores foi analisada e discutida a aplicabilidade dos modelos matemáticos desenvolvidos. Os resultados obtidos e discutidos neste trabalho evidenciaram as fortes correlações entre DBO, DQO e COT para soluções padronizadas de DBO, caracterização da qualidade da água de corpos hídricos e esgotos domésticos. Portanto, para estas matrizes, seria possível a utilização dos modelos matemáticos desenvolvidos neste trabalho para se estimar a DBO em função da DQO e do COT, economizando tempo de análise, economia de reagentes e menor geração de resíduos de laboratório.

**PALAVRAS-CHAVE:** Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Carbono Orgânico Total, Correlação.

### INTRODUÇÃO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um dos mais importantes e mais utilizados parâmetros para caracterização e determinação da qualidade de águas naturais (rios, lagos, represas e outros), efluentes sanitários e industriais, água industrial e água para reúso. Também é amplamente utilizado para projeto e controle operacional de estações de tratamento de efluentes (ETE). É uma medida indireta do carbono orgânico biodegradável contido em uma matriz aquosa. Em sua determinação, verifica-se o consumo de oxigênio dissolvido em um ambiente preservado à 20 °C por 5 dias (VON SPERLING, 2014).

Já a Demanda Química de Oxigênio (DQO), também utilizada para caracterização de águas e efluentes, representa a quantidade de oxigênio consumida para estabilização química da matéria orgânica carbonácea. A principal vantagem da DQO é que seu resultado é obtido em até 3 horas, mas este representará tanto a fração biodegradável quanto a fração inerte da matéria orgânica (VON SPERLING, 2014).

Tradicionalmente, não é feita a quantificação de COT para as aplicações supracitadas, apenas utiliza-se a DBO justamente por essa ser mais fácil de ser analisada (VON SPERLING, 2014). Entretanto, com o advento de novas tecnologias na área da Química Analítica, surgiram aparelhos automatizados capazes de quantificar o COT de uma amostra em períodos de até 20 minutos, contra os 5 dias da DBO. Sendo assim, seria preferível prosseguir com a análise de COT. Mas, para fins de atendimento às legislações e outros requisitos, há necessidade de se quantificar a DBO de uma amostra. Von Sperling (2014) e Metcalf & Eddy (2016) comentam que é possível estabelecer correlações entre COT e DBO, bem como entre DQO e DBO.

Correlações entre parâmetros analíticos também são possíveis de serem estabelecidas para uma determinada matriz ambiental e possuem suas aplicações, como projeto e controle operacional de estações de tratamento de água e esgoto, caracterização de efluentes industriais, investigação de contaminações em solo e água subterrânea, determinação da qualidade de corpos hídricos superficiais, entre outras (VAN STEENDEREN, 1981; BHAT; HIREMATH; KULKARNI, 2003; FADINI; JARDIM; GUIMARÃES, 2004; JERÔNIMO, et al., 2012; KNAPIK; FERNANDES; AZEVEDO, 2014; ASSMANN; SCOTT; BILLER, 2017; KODA; MISZKOWSKA; SIECZKA, 2017; ARNESEN, et al., 2018; BRUNI, 2019).

## OBJETIVO

Nesse contexto, esta pesquisa teve como objetivo analisar e discutir a viabilidade técnica, confiabilidade e aplicabilidade em escala de laboratório, do estabelecimento e uso de correlações entre DBO, DQO e COT utilizando soluções padronizadas de DBO.

A justificativa e importância desta pesquisa residem na contribuição para diversas áreas da Química e Engenharia ao evidenciar a possibilidade de otimizar o tempo e recursos em análises ambientais de águas, e atingir objetivos da Química Verde com menor geração de resíduos e economia de reagentes analíticos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada solução padronizada de DBO a 2,0 g/L da marca QMC. Segundo o fabricante, esta solução é composta de ácido glutâmico e glicose. A partir da solução padrão de DBO foram realizadas diluições conforme apresentado na Tabela 1. A partir dessas diluições, foram realizadas análises de DQO e COT.

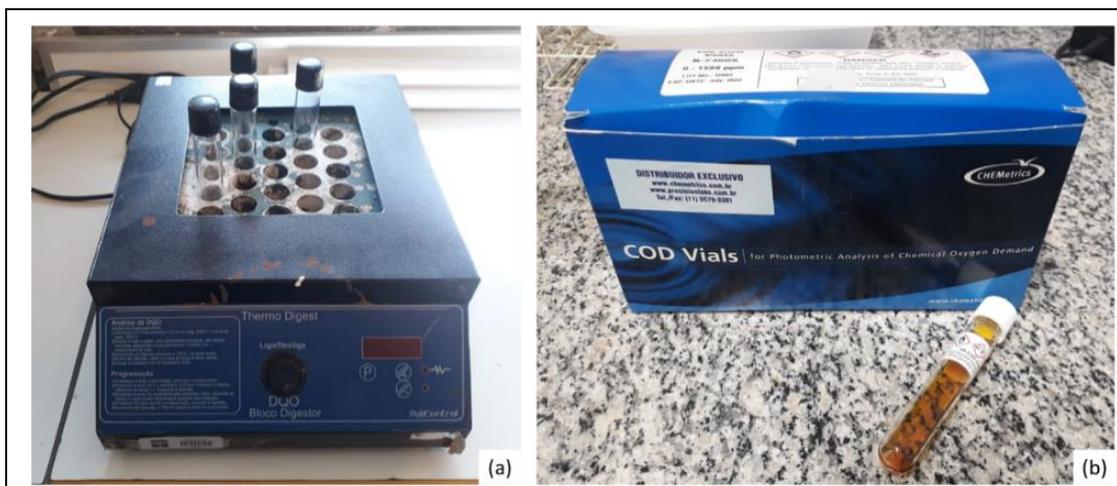
**Tabela 1: Diluições da solução padrão de DBO.**

Fonte: autoria própria.

Diluição	Alíquota da solução padrão de DBO diluída em balão de 100 mL (mL)	Concentração de DBO resultante (mg/L)
1	5,0	100,0
2	10,0	200,0
3	15,0	300,0
4	20,0	400,0
5	25,0	500,0
6	30,0	600,0

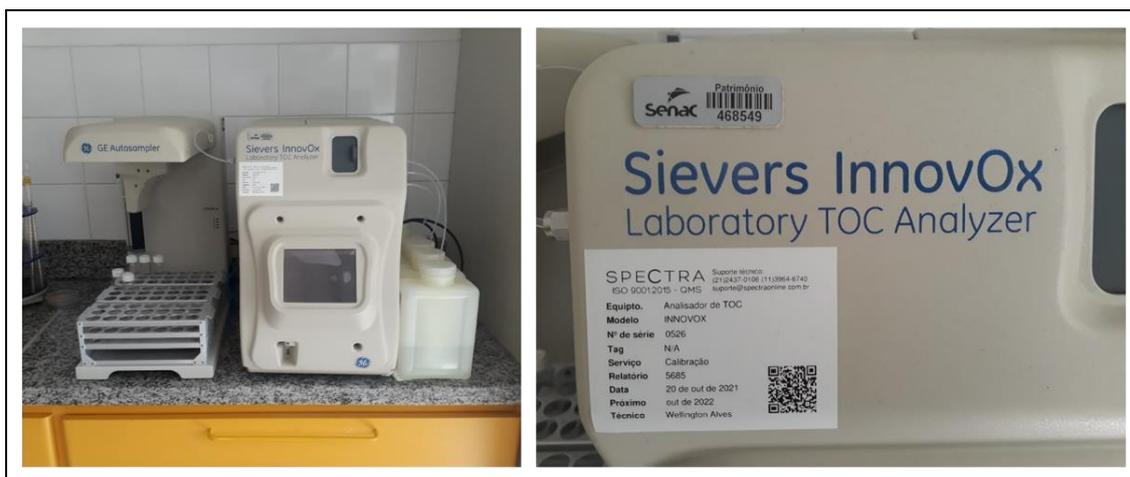
Foram escolhidas essas concentrações de DBO, pois representam uma faixa de valores típicos para esgotos sanitários, desde menos concentrado até mais concentrado (VON SPERLING, 2014; METCALF & EDDY, 2016).

As análises de DQO foram realizadas em duplicata pelo método internacional 5220 D da 23ª edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (refluxo fechado e colorimetria) utilizando kit com intervalo de 0 a 1500 mg/L (Figura 1).



**Figura 1: Equipamento utilizado para o procedimento de refluxo fechado (a) e reagentes para análise colorimétrica de DQO (b).**  
**Fonte: autoria própria.**

As análises de COT foram realizadas em triplicata em analisador de COT modelo *Sievers InnovOx* apresentado na Figura 2, cujo princípio de geração de CO<sub>2</sub> ocorre por oxidação química em alta pressão e quantificação em detector de infravermelho.



**Figura 2: Analisador de COT modelo InnovOx utilizado nas análises de COT.**  
**Fonte: autoria própria.**

Os dados obtidos das análises em laboratório foram tabulados em planilha eletrônica do MS Excel para realização dos cálculos de média e desvio-padrão. Foram utilizadas também as ferramentas de regressão do MS Excel para correlacionar os valores de DBO, DQO e COT entre si. A análise das regressões tomou como base o coeficiente de correlação R<sup>2</sup>. Também foi realizada uma regressão linear múltipla dos resultados de DQO e COT com o objetivo de se estabelecer um modelo matemático e confrontá-lo com valores típicos de DBO, DQO e COT em esgotos e corpos hídricos segundo a literatura.

## RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises de DQO e COT para cada diluição da solução padrão de DBO.

**Tabela 2: Resultados das análises de DQO e COT.**  
Fonte: autoria própria.

Diluição	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)				COT (mg/L)				
		1	2	Média	Desvio-padrão	1	2	3	Média	Desvio-padrão
1	100,0	145,0	155,0	150,0	5,0	58,9	56,8	55,8	57,2	1,3
2	200,0	275,0	376,0	325,5	50,5	106,1	100,7	103,8	103,5	2,2
3	300,0	552,0	562,0	557,0	5,0	146,9	148,5	145,6	147,0	1,2
4	400,0	599,0	587,0	593,0	6,0	179,4	198,0	191,6	189,7	7,7
5	500,0	797,0	843,0	820,0	23,0	224,7	229,9	236,0	230,2	4,6
6	600,0	909,0	845,0	877,0	32,0	267,4	271,1	272,7	270,4	2,2

Nota-se que as análises de DQO possuem valores de desvio-padrão mais significativos do que as análises de COT. Entretanto, é possível observar uma tendência de crescimento linear coerente com o aumento da concentração de DBO para ambos os parâmetros.

#### MODELAGEM MATEMÁTICA E DISCUSSÃO COM DADOS DA LITERATURA

Na Tabela 3 são apresentadas as proporções dadas pelas razões entre os parâmetros DBO, DQO e COT.

**Tabela 3: Proporções entre os parâmetros DBO, DQO e COT analisados.**  
Fonte: autoria própria.

Diluição	DBO/COT		DBO/DQO		DQO/COT	
	DBO/COT	Média	DBO/DQO	Média	DQO/COT	Média
1	1,7	2,0 ± 0,2	0,7	0,6 ± 0,1	2,6	3,2 ± 0,4
2	1,9		0,6		3,1	
3	2,0		0,5		3,8	
4	2,1		0,7		3,1	
5	2,2		0,6		3,6	
6	2,2		0,7		3,2	

Na Tabela 4 são comparadas as proporções obtidas para os parâmetros DBO, DQO e COT com as proporções apresentadas em Metcalf & Eddy (2016).

**Tabela 4: Comparação entre as proporções de DBO, DQO e COT obtidas e as proporções apresentadas em Metcalf & Eddy (2016) para esgoto sem tratamento.**

Fonte: autoria própria.

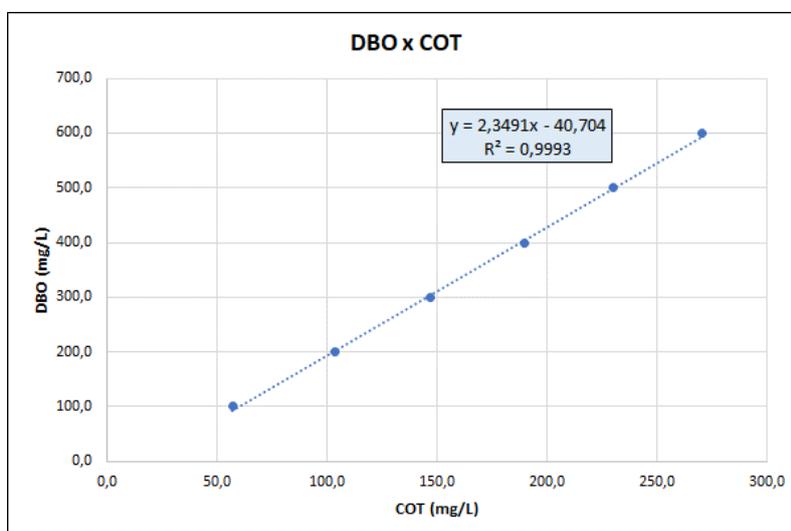
Fonte	DBO/COT	DBO/DQO	DQO/COT
Autores	1,8 – 2,2	0,5 – 0,7	2,8 – 3,6
Metcalf & Eddy (2016)*	1,2 – 2,0	0,3 – 0,8	2,5 – 4,0**

\*Valores para esgoto sem tratamento; \*\*Valor calculado com base nas relações DBO/COT e DBO/DQO.

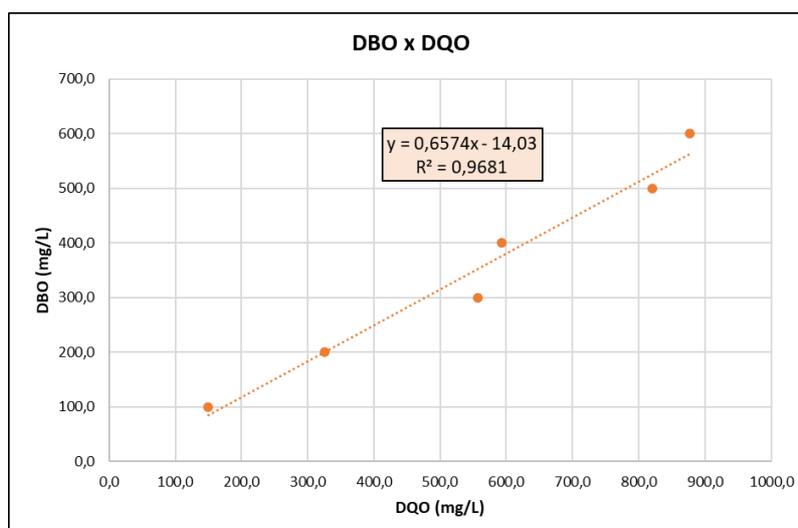
Com base na comparação apresentada na Tabela 4 pode-se afirmar que as proporções entre DBO, DQO e COT obtidas são coerentes com proporções encontradas em esgoto bruto sem tratamento, indicando que pode haver a possibilidade de se aplicar as proporções e correlações obtidas neste trabalho para caracterização de efluentes brutos.

Essa possibilidade se justifica pelo fato de que o esgoto bruto é composto principalmente de proteínas, carboidratos, gorduras e compostos nitrogenados, representados por uma mistura de carbono (C), oxigênio (O), nitrogênio (N), hidrogênio (H) e enxofre (S) em diferentes proporções. A solução padrão de DBO utilizada neste trabalho é composta de ácido glutâmico (aminoácido que compõe algumas proteínas e fonte de C, H, O e N) e glicose (um carboidrato e fonte de C, H e O), se aproximando, até certo nível, da composição química principal do esgoto bruto (VON SPERLING, 2014; METCALF & EDDY, 2016).

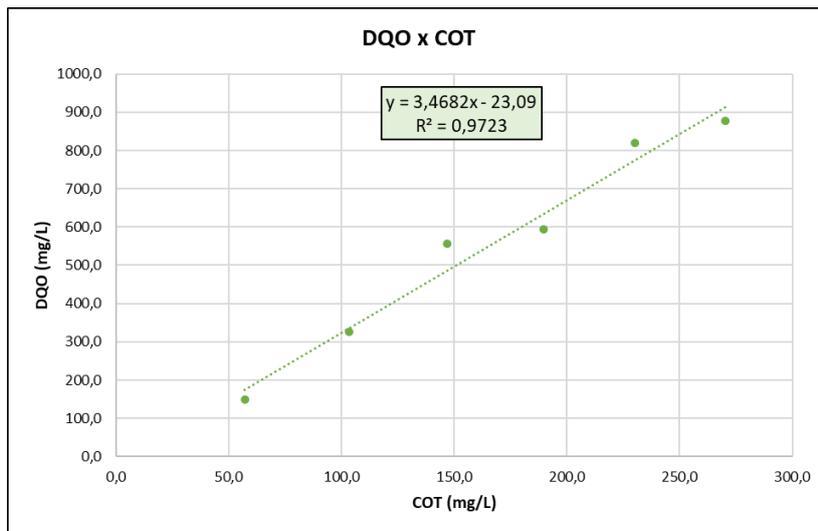
Nas Figuras 3, 4 e 5 são apresentados os gráficos correlacionando os parâmetros DBO, DQO e COT juntamente com as equações de regressão linear, as linhas de tendência resultantes e o coeficiente de correlação  $R^2$  da equação.



**Figura 3: Gráfico da correlação entre DBO e COT para soluções padronizadas de DBO.**  
Fonte: autoria própria.

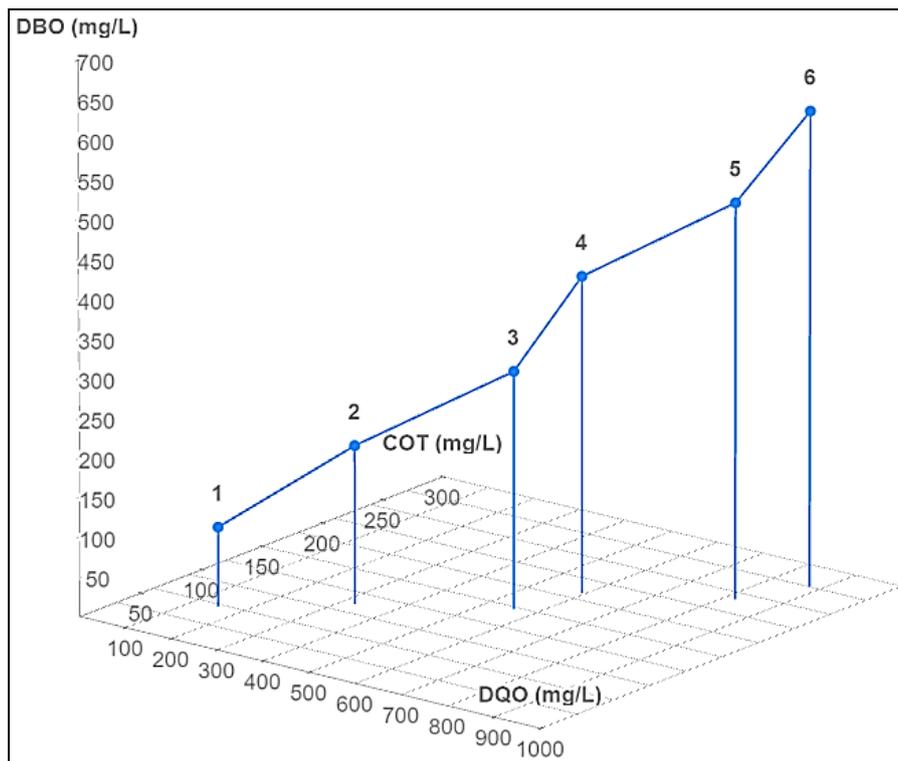


**Figura 4: Gráfico da correlação entre DBO e DQO para soluções padronizadas de DBO.**  
Fonte: autoria própria.



**Figura 5: Gráfico da correlação entre DQO e COT para soluções padronizadas de DBO.**  
**Fonte: autoria própria.**

A Figura 6 apresenta uma visualização tridimensional da relação entre os dados de DBO, DQO e COT obtidos nas análises.



**Figura 6: Visualização tridimensional da relação entre os valores de DBO, DQO e COT obtidos.**  
**Fonte: autoria própria.**

Na Tabela 5 são apresentados os modelos matemáticos desenvolvidos neste trabalho para estimativa de DBO em função da DQO e do COT.

**Tabela 5: Modelos matemáticos para estimativa de DBO em função da DQO e do COT (valores de DBO, DQO e COT em mg/L).**

Fonte: autoria própria.

Modelo	Equação	Coefficiente de correlação R <sup>2</sup>
1	$DBO = 2,3491 COT - 40,704$	0,9993
2	$DBO = 0,6574 DQO - 14,03$	0,9681
3	$DQO = 3,4682 COT - 23,09$	0,9723
4	$DBO = - 41,696 + (- 0,043 DQO) + (2,498 COT)$	0,9994

Utilizando o modelo 4, um valor de DQO de 600 mg/L e COT de 150 mg/L resultam em um valor de DBO de 307,2 mg/L. Diante deste resultado é possível afirmar que este modelo matemático pode ser utilizado para estimativa de DBO em esgotos predominantemente domésticos. De acordo com Von Sperling (2014), o valor típico de DBO em esgoto doméstico é de 300 mg/L e de DQO é de 600 mg/L.

Já para o COT, Metcalf & Eddy (2016) relatam valores de COT entre 109 e 328 mg/L para esgotos com DBO de 133 a 400 mg/L. Al-Salem (1987 *apud* MATOUQ, 2008) relata concentração de COT de 220 mg/L para um esgoto doméstico com 770 mg/L de DBO e 1830 mg/L de DQO em Amã, Jordânia. Yang, Shin e Hur (2014) relataram concentrações de COT que variaram de 19 a 142 mg/L em 22 estações de tratamento de esgoto na Coreia do Sul. Esses valores mostram que a concentração de COT no esgoto doméstico não possui valores típicos, como a DBO e a DQO, e que varia muito em função da localidade e da concentração do esgoto. Sendo assim, justifica-se a adoção de um valor médio de 150 mg/L para embasar a utilização do modelo apresentado para estimar a DBO em esgotos domésticos em função da DQO e do COT.

Na Tabela 6 é apresentada uma comparação entre o modelo de correlação entre DBO e COT desenvolvido neste trabalho e o modelo desenvolvido por Bruni (2019) para estimativa da DBO em função do COT. O modelo deste autor é baseado em dados de DBO e COT da rede de monitoramento da qualidade das águas da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) obtidos no período de 2014 a 2019 em todas as UGRHIs (Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos) do estado de São Paulo.

**Tabela 6: Comparação entre modelos de correlação para estimativa da DBO em função do COT.**

Fonte: autoria própria.

COT (mg/L)	DBO (mg/L)		
	Modelo dos autores (R <sup>2</sup> = 0,9993)	Modelo de Bruni (2019) (R <sup>2</sup> = 0,8895)	Valor médio ± desvio padrão
25,0	18,0	31,3	24,6 ± 6,6
50,0	76,8	75,8	76,3 ± 0,5
75,0	135,5	127,4	131,4 ± 4,1
100,0	194,2	184,0	189,1 ± 5,1
125,0	252,9	244,7	248,8 ± 4,1
150,0	311,7	308,9	310,3 ± 1,4

Pode-se observar que os resultados dos modelos são muito próximos, possuindo baixos valores de desvio padrão. O maior valor de desvio padrão foi de 6,6 mg/L para a concentração de COT de 25,0 mg/L. Sendo assim, é possível afirmar que ambos modelos podem ser utilizados para se estimar a DBO em corpos hídricos em função do COT, permitindo a utilização de método analítico mais ágil para a caracterização da qualidade corpos hídricos.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos e discutidos neste trabalho evidenciaram as fortes correlações entre DBO, DQO e COT para soluções padronizadas de DBO, caracterização da qualidade da água de corpos hídricos e esgotos domésticos. Portanto, para estas matrizes, seria possível a utilização dos modelos matemáticos desenvolvidos neste trabalho para se estimar a DBO em função da DQO e do COT, economizando tempo de análise, economia de reagentes e menor geração de resíduos de laboratório. Para outras matrizes, como esgotos industriais, os resultados obtidos e as literaturas citadas mostram que é possível a utilização das correlações entre DBO, DQO e COT, porém para cada uma delas há necessidade de se determinar estas correlações em laboratório. A utilização dessas correlações em, por exemplo, controle operacional de estações de tratamento de esgotos possui diversos benefícios como maior agilidade na obtenção dos resultados, redução de custos operacionais e possibilidade de aumento da eficiência do processo.

Vale ressaltar que, além de possuir uma composição química diversificada, esgotos brutos, tanto domésticos quanto industriais, possuem não apenas a DBO em sua forma solúvel, como nas soluções padronizadas de DBO, mas também contribuição de DBO particulada, oriunda de sólidos em suspensão. Portanto, as correlações desenvolvidas neste trabalho podem possuir aplicações limitadas para essas matrizes dependendo de suas composições químicas. Pode-se dizer que os valores e modelos matemáticos desenvolvidos neste trabalho e presentes na literatura podem ser aplicados a esgotos brutos, se tecnicamente justificado, para fins de estimativa.

Para a continuidade da pesquisa, recomenda-se confrontar os modelos matemáticos desenvolvidos neste trabalho com resultados analíticos de soluções sintéticas e amostras reais não homogêneas de esgotos industriais e corpos hídricos para refinar e avaliar a precisão de tais modelos, possibilitando aplicação prática em projetos, monitoramentos e controles operacionais nas diversas áreas da Engenharia.

## REFERÊNCIAS

1. ARNESEN, A. S., et al. Avaliação da adoção do parâmetro carbono orgânico total em substituição à demanda bioquímica de oxigênio para monitoramento da qualidade de corpos d'água superficiais. 29º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente – Encontro Técnico AESABESP, São Paulo, 2018.
2. ASSMANN, C.; SCOTT, A.; BILLER, D. *Online total organic carbon (TOC) monitoring for water and wastewater treatment plants processes and operations optimization. Drinking Water Engineering and Science*, 10, 61-68, 2017.
3. BHAT, M. R.; HIREMATH, R. S.; KULKARNI, V. R. *Correlation between BOD, COD and TOC. Journal of Industrial Pollution Control*, 19, p. 187-191, 2003.
4. BRUNI, A. C. Estudo estatístico da relação funcional entre os parâmetros DBO5 e COT em corpos d'água do Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2019.
5. FADINI, P. S.; JARDIM, W. F.; GUIMARÃES, J. R. *Evaluation of Organic Load Measurement Techniques in a Sewage and Waste Stabilization Pond. J. Braz. Chem. Soc.*, v. 15, n. 1, p. 131-135, 2004.
6. JERÔNIMO, C. E. M., et al. Estudo comparativo entre técnicas de determinação da matéria orgânica em efluentes industriais de composição carbonácea. *HOLOS*, v. 2, p. 34-44, 2012.
7. KNAPIK, H. G.; FERNANDES, C. V. S.; AZEVEDO, J. C. R. Aplicabilidade de técnicas de espectroscopia e da concentração de carbono orgânico dissolvido na caracterização da matéria orgânica em rios urbanos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 4, p. 214-225, 2014.
8. KODA, E.; MISZKOWSKA, A.; SIECZKA, A. *Levels of organic pollution indicators in groundwater at the old landfill and waste management site. Applied Sciences*, 7, 638, 2017.
9. MATOUQ, M. *The potential for reusing treated municipal wastewater for irrigation in the Hashemite Kingdom of Jordan. International Journal of Water*, v. 4, n. 1/2, maio, 2008.
10. METCALF & EDDY. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.
11. VAN STEENDEREN, R. A. *The measurement of total organic carbon and total organohalogens as parameters for water quality evaluation. Water SA*, v. 7, n. 1, 1981.



12. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.
13. YANG, L.; SHIN, H. S.; HUR, J. *Estimating the concentration and biodegradability of organic matter in 22 wastewater treatment plants using fluorescence excitation emission matrices and parallel factor analysis. Sensors*, 14, 1771-1786, 2014.