

# Modelagem Matemática do Lançamento de Esgoto em um Rio para Avaliação do Impacto Ambiental



Rodrigo G. da Silva<sup>1</sup>; Suelen R. Chagas<sup>1</sup>; Marcelo F. Oliveira<sup>1</sup>; Alexandre B. Lopes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná – Centro de Estudos do Mar, Pontal do Paraná

## RESUMO

*O processo de urbanização afeta consideravelmente os corpos d'água. Com a degradação da qualidade da água, a gestão das águas possui um papel de extrema importância na conservação dos recursos hídricos, este processo vem se tornando cada vez mais complexo, envolvendo questões ambientais, sociais e sanitárias. Assim o presente artigo tem como objetivo aplicação de um modelo numérico para análise dos impactos na qualidade de água em um canal em Pontal do Paraná - PR, devido ao lançamento de esgoto tratado. O controle da poluição hídrica é um desafio para a sustentabilidade do ser humano. Assim, uma ferramenta importante que tem sido empregada para este fim é a modelagem matemática. Os modelos de qualidade de água são ferramentas capazes auxiliar na avaliação dos impactos gerados pelo lançamento de carga poluidora em corpos d'água. De acordo com os resultados, é possível observar que no cenário atual, é necessário um acompanhamento da qualidade dessa água para evitar possíveis danos sociais e ambientais.*

*Palavras chave: Modelagem, Impacto Ambiental, Qualidade d'água.*

## ABSTRACT

*The urbanization process considerably affects water bodies. With the degradation of water quality, the water management has extreme importance in the conservation of water resources, this process has become complex, involving environmental, social and sanitary issues. Therefore, this paper has the main goal the application of a numerical model for analysis of water quality impacts in a channel in Pontal do Paraná city, due the discharge of treated sewage. The hydric pollution control is a challenge to sustainability of human being. Thus, an important tool, which has been employed, is the mathematical modeling. The water quality models are tools capable to assist the evaluation of impacts caused because polluting loads in water bodies. According with these results, it is possible to observe that in the current scenario, a water quality monitoring is necessary in order to avoid possible social and environmental damages.*

*Key Words: Modeling, Environmental Impact, Water Quality*

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade da água dos corpos hídricos tem sido constantemente deteriorada pela ação antrópica, em grande parte devido à expansão urbana desordenada. O controle da poluição hídrica é um desafio à sociedade e fundamental para a sustentabilidade do ser

humano. Assim, uma ferramenta importante que tem sido empregada para este fim é a modelagem matemática.

Uma prática ilegal, porém corriqueira no Brasil, é o lançamento de poluentes nos corpos hídricos, tais como resíduos sólidos urbanos e esgoto sanitário. O esgoto sanitário é comumente lançado nos corpos hídricos pela falta de infraestrutura sanitária ou devido ao tratamento ineficiente dos esgotos coletados. O resultado disso incorre na deterioração da qualidade da água, principalmente nas proximidades dos aglomerados urbanos, com consequências sociais e econômicas (MORAIS, et al., 2013; TERNUS, SOUZA-FRANCO, & ANSELMINI, 2011). O Rio Paraná, por exemplo, que cobre quase todo o estado do Paraná, está entre os rios brasileiros com os piores indicadores de poluição hídrica (ANA, 2012).

É comum o Instituto Ambiental do Paraná restringir o uso das águas do Rio Paraná em regiões ao longo de sua extensão ou em seus afluentes, tal como a recreação em contato primário, por ter sido diagnosticada a presença de patógenos associados a doenças de veiculação hídrica (IAP, 2017).

Nas últimas décadas o Brasil passou por um intenso processo de urbanização. De acordo com o Censo Demográfico brasileiro de 1960, a população rural naquela época era superior à população urbana, mas atualmente a população rural corresponde a apenas 20% de toda a população brasileira. Os serviços de coleta e tratamento de esgotos doméstico não acompanharam o aumento dos processos de urbanização, acarretando num aumento significativo de carga poluidora lançada nos rios (ANA, 2012). Em 2008, o percentual de domicílios com acesso à rede de esgoto no País era de 45,7%, mas o percentual de esgoto tratado em relação ao esgoto gerado era de apenas 30,5% (IBGE, 2008).

O litoral Paranaense é um caso particular, pois seu desenvolvimento não acompanhou o de outras regiões costeiras do Brasil, apresentando baixa ocupação humana e desenvolvimento econômico. É uma das regiões que detêm uma das maiores áreas preservadas de Floresta Tropical Atlântica e manguezais, o que levou a UNESCO a declarar o litoral do Paraná como Reserva da Biosfera em 1991 e Patrimônio da Humanidade em 1999 (MELLO, POSSATTO, & FREDO, 2011).

No entanto, esse cenário vem se modificando com a presença de empresas de grande porte, (como o Porto de Cargas de Pontal do Sul), as empresas associadas à exploração do petróleo da camada do pré-sal e o turismo. O processo de expansão do uso e ocupação do solo do litoral Paranaense deve ser acompanhado tanto do desenvolvimento social e econômico quanto de um criterioso gerenciamento ambiental, de

forma a evitar a propagação de problemas de saúde pública e a inviabilidade de uso dos corpos aquáticos (MAROTTA, SANTOS, & ENRICH-PRAST, 2008).

Neste contexto, a modelagem matemática pode ser uma importante ferramenta de apoio aos gestores públicos no processo de gerenciamento dos recursos hídricos.

Os modelos de qualidade da água são comumente utilizados para prognosticar os níveis de poluição hídrica, a dispersão dos poluentes e os riscos de poluentes químicos em um determinado corpo de água (GASTALDINI, SEFFIN, & PAZ, 2002; FAN, BRAVO, & COLLISCHONN, 2016). No trabalho de Filho & Neto, (2016) foi utilizada a modelagem matemática para simular a qualidade da água do Rio Poti de Teresina - PI em diferentes condições de vazão, em consonância com as características dos rios do semiárido brasileiro. A simulação de diferentes cenários de poluição permite o planejamento prévio das agências de gerenciamento ambiental em tomarem decisões corretas na prevenção e remediação de desastres ambientais.

Exposto isso, este trabalho apresenta a modelagem de qualidade da água do canal do Departamento Nacional de Obras de Saneamento - DNOS em Pontal do Paraná, na região próxima da sua foz no balneário Pontal do Sul, através da avaliação do lançamento pontual e contínuo dos efluentes de uma estação de tratamento de esgoto sanitário.

## **2. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO**

O canal do DNOS (Departamento Nacional de Obras de Saneamento), está localizado dentro do município Pontal do Paraná. O recorte espacial da área de estudo está localizado na Cidade Balneária Pontal do Sul. Este canal foi escavado no ano de 1954 com o objetivo de drenagem para reduzir os efeitos das inundações pós chuvas intensas, e para fins de navegação, causando alterações significativas nos cursos dos rios Perequê, Peri e Pai Antônio (IAP, 2017; RIBEIRO, SILVEIRA, & NUCCI, 2013).

Do ponto de vista econômico, o canal do DNOS constitui-se em um dos principais acessos à região por via marítima, além de abrigar o terminal de embarque para Ilha do Mel, que conta com 53 embarcações e serviço de táxi náutico para outras ilhas do norte paranaense e litoral sul do Estado de São Paulo (ABALINE, 2018). Ademais, as margens do canal dão lugar às diversas marinas que ali se instalaram para explorar o potencial turístico da região. Completam a infraestrutura turística a presença de algumas pousadas, comércios e quiosques de artesanato local (COLIT, 2008).



FIGURA 1: CANAL COM 2,0 KM DE COMPRIMENTO E 22 M DE LARGURA MÉDIA.  
FONTE: GOOGLE MAPS, 2018.

A vocação turística da região, principal fonte de renda para seus habitantes, depende do índice de qualidade da água para assegurar a balneabilidade e práticas como a pesca, além é claro, de garantir a saúde da população. O canal do DNOS sofre tanto com a situação dos resíduos advindos das atividades náuticas, quanto com esgotos lançados diretamente no canal (COLIT, 2008). Esse aumento da matéria orgânica consome o OD (oxigênio dissolvido) durante o seu processo de decomposição. Introduzido através do ar atmosférico, fotossíntese e ação de aeradores ou insufladores de ar, o oxigênio dissolvido na água (OD) torna-se elementar para a preservação da vida aquática, pois dele dependem todos os organismos aeróbios existentes neste meio (DERISIO, 2012). Águas limpas apresentam concentrações de OD geralmente superiores a 5mg/L e sua saturação sobrevém em águas ricas em nutrientes (eutrofizadas), onde há excessivo crescimento de algas que elevam os níveis de oxigênio durante o dia devido ao processo de fotossíntese, e ocorre em torno de 8mg/L (VALENTE, PADILHA, & SILVA, 1997). Outros fatores importantes a serem considerados para o aumento do valor de OD são as características do corpo d'água como a velocidade da água. Diante deste contexto o OD torna-se o parâmetro de maior peso para a análise da qualidade da água. Outro parâmetro de grande importância é o  $DBO_{5,20}$  (demanda bioquímica de oxigênio). Este parâmetro "representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia". Um valor alto para  $DBO_{5,20}$  representa uma

grande concentração de carga orgânica possivelmente advinda de descarga de esgoto doméstico, comprometendo a vida aquática, pois causa uma diminuição no oxigênio dissolvido na água necessário aos organismos (ANA, 2012).

Faz-se mister ressaltar que toda carga poluidora lançada em um corpo d'água pode comprometer não só o ponto de lançamento em questão, mas outros pontos muito além deste, incluindo a zona estuarina onde deságua. Durante o seu curso, o corpo d'água pode passar por um processo de recuperação para restabelecer seu equilíbrio chamado de autodepuração. Este processo depende de variáveis como a quantidade de efluentes poluidores e suas concentrações (CUNHA & FERREIRA, 2006). Diante deste contexto, estudos são direcionados para se conhecer as consequências de efluentes poluidores em determinado corpo d'água e sua capacidade de autodepuração no sentido de auxiliar a gestão deste recurso natural, com vistas ao desenvolvimento sustentável. Dessa maneira, modelos de qualidade de água podem estimar concentrações de parâmetros ao longo do corpo d'água e têm se apresentado como uma ferramenta eficiente para monitoramento e controle de poluição da água.

### **3. URBANIZAÇÃO DAS MARGENS DO CANAL**

O trecho a ser estudado possui uma alta densidade de marinas e fluxo de embarcações, além de suas margens serem alvos de ocupações desordenadas e irregulares. Em uma região de 3km<sup>2</sup>, com densidade demográfica aproximada de 2.200 hab/km<sup>2</sup>, o rio é utilizado como via de acesso e embarque para pontos turísticos do litoral, e em alguns pontos também é utilizado por pescadores e banhistas que residem na região.

De acordo com estudo realizado por iniciativa do Ministério do Meio Ambiente para o Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima em Pontal do Paraná em 2008, as ocupações desordenadas e irregulares do trecho do canal do DNOS em Pontal do Sul deram origem a atividades geradoras de conflitos ambientais, como comércios, atividades náuticas e pesqueiras, e descumprimento da legislação ambiental devido a não regularização das atividades e ocupações ali instaladas, resultando, entre outros impactos, na contaminação das águas do canal. De acordo com o mesmo estudo, a balneabilidade fica comprometida em alguns trechos da orla durante os picos de veraneio devido ao aumento significativo da carga poluidora descarregada no canal.

### **4. DEFINIÇÃO DAS CARGAS POLUIDORAS**

Considerando um trecho do rio onde ocorrem lançamentos de efluentes de esgoto doméstico e de utilização d'água para abastecimento humano (turismo e pesca), de acordo

com (CUNHA & FERREIRA, 2006) "o planejamento e a gestão deste recurso passa, obrigatoriamente, pela correta caracterização e definição de alguns parâmetros relacionados ao nível de exigência correspondente, gerando condições técnicas que possam apoiar decisões relacionadas à gestão deste recurso".

Além da ocupação que ocorreu nas margens do rio, devido ao potencial turístico, gerando assim lançamentos de esgoto domésticos de forma irregular, uma estação de tratamento de esgoto situada a montante da região turística do rio lança um efluente de forma contínua. Esse trabalho tratará especificamente da análise do impacto gerado pelo lançamento da carga poluidora nesse ponto da estação.

## 5. MODELO NUMÉRICO

O modelo utilizado nesse trabalho trata das reações cinéticas que ocorrem no corpo d'água quando uma carga de matéria orgânica é lançada (CUNHA & FERREIRA, 2006). As equações envolvendo os termos de reações pertencem a um modelo já calibrado e validado na literatura conforme (CUNHA & FERREIRA, 2006; CUNHA, ROSMAN, PACHECO & MONTEIRO, 2006; ROSMAN, 2019).

Nesse trabalho serão analisadas as concentrações de OD e DBO, sendo assim  $C_5 = DBO$  e  $C_6 = OD$ . Como o objetivo desse trabalho é aplicação do modelo para avaliação do impacto ambiental causado pela carga de matéria orgânica lançada no canal, os termos e parâmetros das equações do modelo não serão detalhados aqui. Mas para completa compreensão do leitor, as referências serão mencionadas.

$$\frac{dC_5}{dt} = -a_2 \left( \frac{C_6}{k_{DBO} + C_6} \right) C_5 - a_1 C_5 + R_5 \quad (5.1)$$

$$\frac{dC_6}{dt} = -a_2 \left( \frac{C_6}{k_{DBO} + C_6} \right) C_5 - k_a C_6 + R_6 \quad (5.2)$$

onde  $a_1$  e  $a_2$  são coeficientes relacionados aos processos de transformação que são explorados matematicamente por Oliveira, Mercuri, & Cunha, (2013). O detalhamento físico-químico de todos os parâmetros e valores de referências, são detalhados por Rosman, (2019).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A carga lançada pela estação de tratamento foi obtida através de dados fornecidos pela diretoria da estação através de um termo de cooperação técnica. De acordo com informações fornecidas pela SANEPAR, no ano de 2018 a média anual de DBO próximo ao ponto de lançamento do efluente foi de 23,5 mg/L e de OD 6,0 mg/L, sendo esse o limite mínimo definido pela resolução nº 20 do CONAMA.

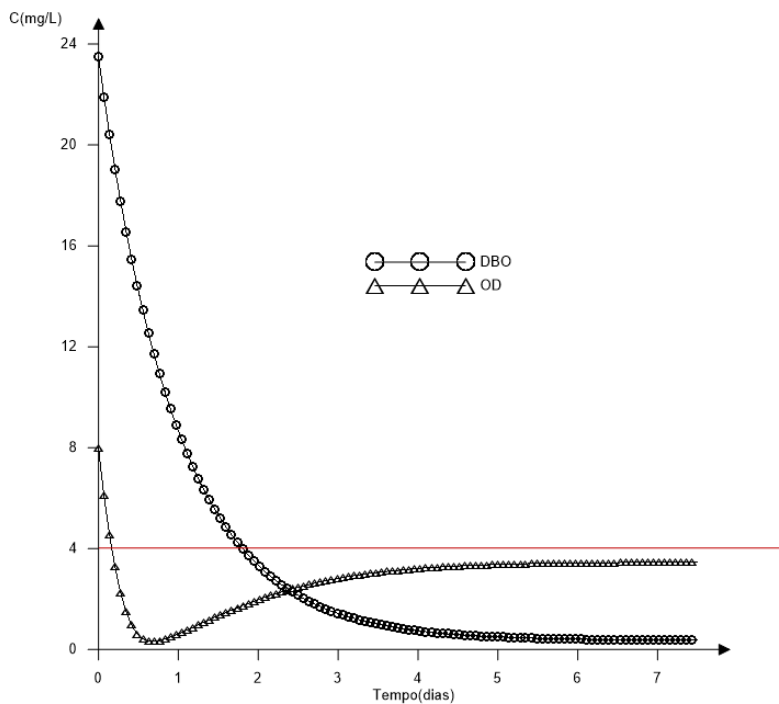


FIGURA 2: CONCENTRAÇÃO DE OD E DBO NO PONTO DE LANÇAMENTO DA CARGA.  
FONTE: O AUTOR, 2019.

Conforme é possível observar no gráfico da figura 2, a quantidade de DBO lançada tende a um decaimento natural. Mas para a decomposição da DBO é consumido oxigênio (OD), levando para níveis próximos de zero. É importante notar também que mesmo após sete dias do lançamento da carga a quantidade de OD não ultrapassa 4 mg/L, sendo que o mínimo estabelecido pelo CONAMA é de 6 mg/L para que a água seja considerada própria para utilização humana.

Neste sentido, a utilização de modelos OD-DBO para o monitoramento ambiental de corpos d'água é relevante e apropriada, considerando que a matéria orgânica lançada por esgotos domésticos provoca um desequilíbrio no balanço de oxigênio. O teor de oxigênio dissolvido é uma das mais importantes medidas da qualidade da água, ao intervir em muitas reações químicas e biológicas da dinâmica do ecossistema e, por ser indispensável ao metabolismo respiratório de grande parte dos seres vivos.

Os resultados obtidos no presente trabalho são importantes do ponto de vista ambiental, pois indicam que mais estudos são necessários para uma correta avaliação do impacto ambiental causado pelo lançamento da carga poluidora lançada nesse canal. Com base nesses resultados preliminares, será desenvolvido e aplicado um modelo numérico mais completo. Esse modelo a ser aplicado, considera o transporte difusivo-advectivo juntamente com as reações físico-químicas aqui exploradas.

## 5. REFERÊNCIAS

**ABALINE. (2018). ABALINE - Associação de barqueiros do litoral norte do Paraná.** Acesso em 21 de 03 de 2018, disponível em <http://http://www.abaline.com.br>

**ANA, A. N. (2012). Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do BRASIL.** Brasília.

**COLIT. (2008).** [http://www.colit.pr.gov.br/arquivos/File/Projeto\\_Orla/PontalPR.pdf](http://www.colit.pr.gov.br/arquivos/File/Projeto_Orla/PontalPR.pdf). Fonte: <http://www.colit.pr.gov.br/>.

Cunha, C. d., & Ferreira, A. P. (2006). **Modelagem matemática para avaliação dos efeitos de despejos orgânicos nas condições sanitárias de águas ambientais.** Cadernos de Saúde Pública, 22, pp. 1715-1725.

Cunha, C. L., Rosman, P. F., Pacheco, A., & Monteiro, T. M. (2006). **Hydrodynamics and water quality models applied to Sepetiba Bay.** Continental Shelf Research, pp. 1940-1953.

Derisio, J. C. (2012). **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental (4 ed.).** (O. d. Textos, Ed.)

Fan, F. M., Bravo, M., & Collischonn, W. (2016). **Modelagem baseada em agentes para a simulação da dispersão de poluentes em cursos d'água.** Engenharia Sanitária e Ambiental, pp. 739-746.

Filho, A. A., & Neto, I. L. (2016). **Modelagem da qualidade da água do rio Poti em Teresina (PI).** Engenharia Sanitária e Ambiental, pp. 3-14.



Gastaldini, M. C., Seffin, G. F., & Paz, M. F. (2002). **Diagnóstico atual e previsão futura da qualidade das águas do Rio Ibicuí utilizando o modelo QUAL2E**. Engenharia Sanitária e Ambiental, pp. 129-138.

**IAP, I. A. Monitoramento das condições de balneabilidade - Represas e Rios do Interior**. Curitiba: IAP (2017).

**IBGE, I. B.. Pesquisa nacional de saneamento básico: PNSB 2008**. Brasília: IBGE.

Marotta, H., Santos, R. O., & Enrich-Prast, A. **Monitoramento limnológico: um instrumento para a conservação dos recursos hídricos no planejamento e na gestão urbano-ambientais**. Ambiente & Sociedade, pp. 67-79, 2008.

Mello, C. A., Possatto, F. E., & Fredo, G. C. **REBIMAR: Levando a região costeira paranaense para sala de aula**. Pontal do Paraná: Associação MarBrasil, 2011.

Morais, E. B., Tauk-Tornisielo, S. M., Malagutti, E. N., Válio, V. M., Gonçalves, F. A., & Alcantara, A. L. **Impacto do efluente tratado da estação de tratamento de esgoto na qualidade de água do rio de Itapetininga**, SP. HOLOS Environment, pp. 224-242, 2013.

Oliveira, M. F., Mercuri, E. G., & Cunha, C. L. **SOLUÇÃO NUMÉRICA DE UM MODELO ACOPLADO PARA OD E DBO**. Proceedings of the XXXIV Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering(XXXIV), 2013.

Ribeiro, L., Silveira, R. P., & Nucci, J. **O crescimento populacional como fator de risco à perda florestal no município de pontal do paraná, litoral paranaense, Brasil**. Revista do Departamento de Geografia, pp. 120-139, 2013.

Rosman, P. C. Acesso em 20 de Maio de 2019, disponível em [http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBAHIA\\_RefTec\\_V9d\\_.pdf](http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBAHIA_RefTec_V9d_.pdf):

Ternus, R. Z., Souza-Franco, G. M., & Anselmini, M. K. **Influence of urbanisation on water quality in the basin of the upper Uruguay River in western Santa Catarina, Brazil**. Acta Limnologica Brasiliensia, pp. 189-199, 2011.

Valente, J. S., Padilha, P., & Silva, A. M. **Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP**. Eclética Química, pp. 49-66, 1997.