



# RBES

Revista Brasileira de  
Engenharia e Sustentabilidade

ISSN 2448-1661

Pelotas, RS, UFPel-Ceng

<https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/RBES/index>

**V.10, esp, p. 10-17, jul 2023**

## MODELAGEM COMPUTACIONAL DA DISPERSÃO DE EFLUENTES URBANOS PARA ANÁLISE DE RISCO NO LITORAL PARANAENSE

STEFFEN, B. T. <sup>1</sup>; KIRINUS, E. <sup>1</sup>; SCHMIDT, L. G. G. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Infraestrutura de Transporte e Obras Portuárias, Campus Pontal do Paraná, Centro de Estudos do Mar. Universidade Federal do Paraná

**Palavras-chave:** simulação computacional, emissário submarino, telemac-3D, poluentes urbanos

### Resumo

Emissários submarinos são soluções para o problema de saneamento em regiões costeiras urbanizadas. O município de Matinhos, Paraná, pretende instalar um emissário a 3 km da costa visando comportar seu crescimento populacional e frente aos possíveis impactos desse empreendimento foi realizada uma simulação numérica utilizando um modelo hidrodinâmico acoplado a um módulo de transporte de poluentes urbanos para avaliar os impactos das plumas de poluentes no oceano. A região do emissário é altamente dinâmica com correntes predominante leste e sudeste, e predominância de ventos de nordeste e sudeste, provavelmente devido à passagem de sistemas atmosféricos transientes. Os poluentes estudados neste trabalho foram: coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio orgânico, oxigênio dissolvido e fósforo total. As áreas mais afetadas pela pluma de efluentes foram as camadas de fundo e regiões mais próximas ao emissário, sendo que as plumas chegaram a alcançar regiões a 20 km de distância da costa devido à ação das correntes predominantes. Os efeitos do emissário, com as cargas idealizadas neste estudo, não serão nocivos ao ambiente, porém para que tal empreendimento possa ser realizado, um melhor planejamento deve ser efetuado para que novas simulações e cenários possam ser realizados.

## COMPUTER MODELLING OF URBAN EFFLUENTS DISPERSION FOR RISK ANALYSIS IN THE COAST OF PARANÁ

**Keywords:** computer simulation, submarine emissary, telemac-3D, urban pollutants

### Abstract

Submarine emissaries are solutions to sanitation problems in urbanized coastal regions. The city of Matinhos, Paraná, intends to install an emissary 3 km away from the coast to cope with its populational growth and in the face of the possible impacts of this action we ran a numerical simulation using a hydrodynamic model coupled with an urban pollutant module to assess the impacts of the pollutants plumes in the ocean. The emissary's region is highly dynamic with predominantly east and southeast currents and northeast and southeast winds, probably linked to the passage of transient atmospheric systems. The pollutants studied in this article were: thermotolerant coliforms, biochemical oxygen demand, organic nitrogen, dissolved oxygen and total phosphorus. The areas most affected by the effluents plumes were the bottom layers and the regions in the emissary's vicinity, with areas 20 km away from the coast being affected due to the action of the predominant currents. The effects of the emissary, with the idealized tracers used in this study, are not going to be harmful to the environment, but for its construction to take place a better planning must be done so that future simulations and scenarios can be run.

## INTRODUÇÃO

As zonas costeiras, ambientes altamente dinâmicos, estão constantemente interagindo entre o continente, a atmosfera e a hidrosfera de forma complexa. Essa dinâmica gera certa vulnerabilidade, em cenários de mudanças no nível do mar e de grande ocupação humana, seja por turismo ou moradia fixa (GOSSLING; HALL; SCOTT, 2018; IAP; COBRAPE, 2019).

As zonas costeiras urbanizadas são ainda mais sensíveis devido ao sistema de saneamento básico, não acessível ou fornecido de forma precária para grande parte da população (LONDE et al., 2018). Assim, há uma frequente demanda, nas cidades litorâneas, para um sistema de saneamento mais benéfico para a população e para o meio ambiente (DE LIMA et al., 2022).

Com isso em mente, a Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos (COBRAPE) está elaborando desde 2013, o Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea (PBHL). Dentro deste Plano está o Produto 09 – Programa Para Efetivação do Enquadramento (P09), que propõe, para cinco cidades litorâneas do Paraná, alternativas para melhoria do tratamento de esgoto, dentre as quais estão emissários submarinos (IAP; COBRAPE, 2019).

Emissários são amplamente usados para solucionar problemas de poluição ambiental por afastarem a pluma de efluentes da zona costeira (LAW; TANG, 2016). Junto a isso, a modelagem numérica da dispersão de marcadores como coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio orgânico, oxigênio dissolvido e fósforo pode auxiliar na previsão e avaliação de impactos dos empreendimentos.

O objetivo deste trabalho foi de simular, através da modelagem computacional, o emissário submarino proposto para o município de Matinhos e avaliar o comportamento e destino da pluma de efluentes de esgotos urbanos, assim como seu impacto ambiental ao longo do litoral paranaense.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

Este estudo teve como área principal o litoral do estado do Paraná, representado por uma malha computacional de 81.012 nós e 154.863 elementos, compreendida entre as latitudes de 24,7° S e 27,28° S e as longitudes de 46,16° O e 48,74° O. Esta região litorânea possui dois grandes estuários de alta importância, o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) e a Baía de Guaratuba (BG).

Parte da linha de costa já estava disponível, sendo o município de Matinhos e a BG traçados a partir do aplicativo Google Earth, com um zoom de 630 m. A malha foi construída com o método de elementos finitos no software BlueKenue. Não houve implementação de downscaling, devido à necessidade de uma ampla abrangência geográfica para simular corretamente as interações e trocas de energia entre os compartimentos estuarinos, costeiros e o emissário.

O emissário simulado começa na Estação de Tratamento de Esgoto de Matinhos e possui um total de 4,5 km de extensão, sendo 3 destes no oceano. O ponto final do emissário, localizado nas coordenadas 25,77° S e 48,48° O (nó n°34.430 na malha), foi estimado a partir das imagens fornecidas no PBHL, onde há uma profundidade de 10,46 m.

A Figura 1 apresenta a região de principal influência dos poluentes (entre as latitudes de 25,6° e 25,95° S e as longitudes de 48,3° O e 48,75° O), assim como o ponto onde se encontra o emissário simulado. As séries temporais e histogramas de frequência e intensidade de ventos e correntes a serem apresentados aqui foram calculados para o mesmo ponto do emissário.

### Modelo Hidrodinâmico

O modelo utilizado foi o Telemac-3D, acoplado a um modelo de dispersão de efluentes urbanos, para o ano de 2010 com 11 níveis sigma e um total de 350.400 passos de tempo. Os valores iniciais das variáveis hidrodinâmicas e dos poluentes encontram-se na , assim como as condições de setup do modelo. Os valores iniciais de despejo dos efluentes foram retirados de Subtil (2012), visto que não há no documento P09 uma estimativa para tais valores.

Figura 1. Domínio da malha computacional, com batimetria da zona costeira (m). Ponto preto na indica local do emissário simulado

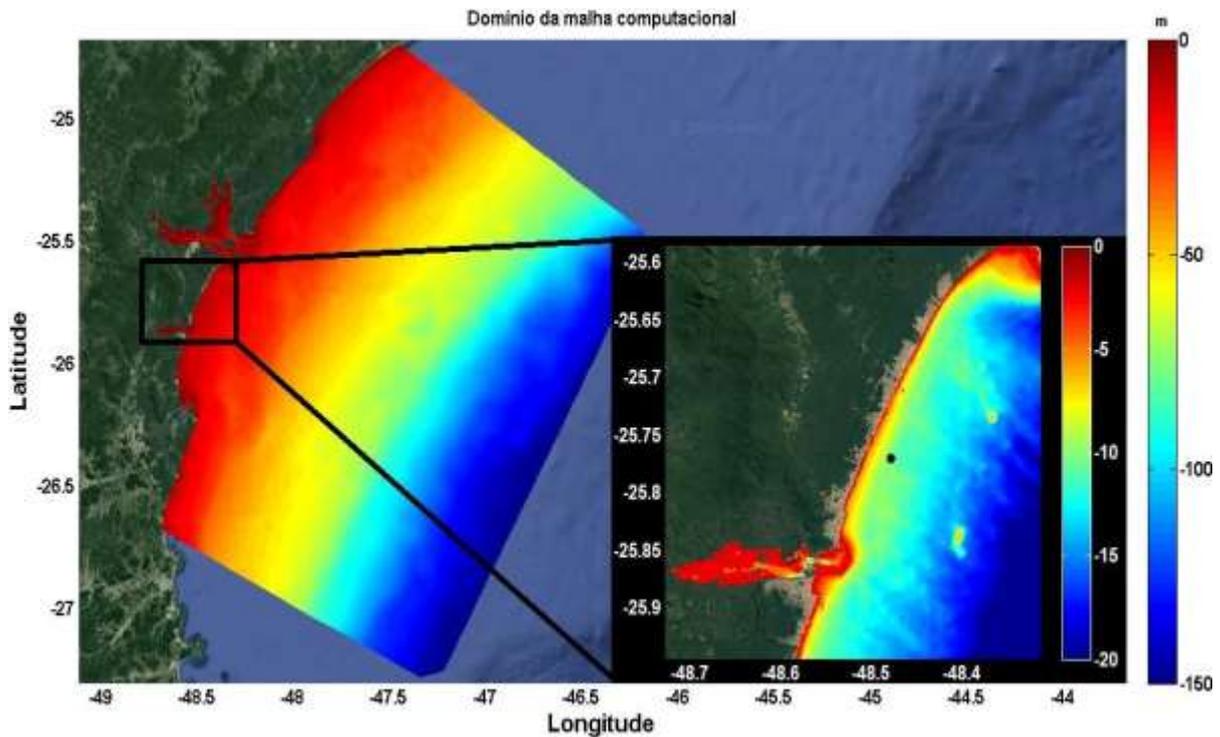


Tabela 1. Condições iniciais do modelo de dispersão de efluentes

Variável	Valor de setup do modelo
Coliformes termotolerantes (Coli)	10 <sup>6</sup> Número Mais Provável (NMP)/100ml de água
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	100 mg/l
Nitrogênio orgânico (N <sub>O</sub> )	10 mg/l
Oxigênio dissolvido (O <sub>2</sub> )	4 mgO/l
Fósforo total (Ph)	0 mg/l
Níveis sigma	11 níveis
Vazão do emissário	1,59 m <sup>3</sup> /s
Passo de tempo	90 segundos
Modelo de turbulência Horizontal e Vertical	Modelo K-épsilon
Nº de processadores em paralelo	72 processadores
Período de simulação	01/01/2010 – 30/12/2010
Frequência de armazenamento dos dados	Diária

diâmetro do emissário foi estabelecido como sendo 1,5 m, sendo que no mínimo 75% do seu volume deve ser utilizado a todo instante, com uma velocidade de descarga de 1,2 m/s e uma vazão de 1,59 m<sup>3</sup>/s (IAP; COBRAPE, 2019).

As vazões dos rios do CEP foram consideradas constantes pela média, de acordo com dados obtidos na plataforma HidroWeb (ANA, 2018), sendo de: 64 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para Guaraqueçaba, 75 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para o setor Benito, 56 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para o setor Itaqui, 56 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para o Rio Cachoeira e 69 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> para o Rio Nhundiaquara. Já as vazões dos rios da BG tiveram de ser estimadas, assim como a batimetria de sua porção oeste, a qual foi baseada nos trabalhos de Zem, Patchineelam e Marone (2005) e Krug e Noernberg (2005).

As vazões dos rios foram estimadas baseadas na profundidade e na largura da desembocadura de cada rio. Sendo assim, a vazão do Rio Parati foi de 659 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, do Rio da Ponta das Cabeçadas foi de 186 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, do Rio Laranjeiras foi de 160 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, do Rio das Pedras foi de 190 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e do Rio São João 79 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

O nível do mar inicial foi de 0,8 m, um valor médio frequentemente observado no litoral do Paraná (ANGULO, 1992), enquanto as condições iniciais e de contorno do modelo hidrodinâmico para 2010 foram retiradas dos modelos globais HYCOM-NCODA (variáveis oceânicas – salinidade, temperatura, intensidade e direção das correntes e marés astronômicas) (METZGER et al., 2014), ERA5 (variáveis atmosféricas – vento, pressão atmosférica e temperatura do ar) (HERBASCH et al., 2020) e dados de maré do OSU-TPXO, disponibilizado por Egbert e Erofeeva (2002).

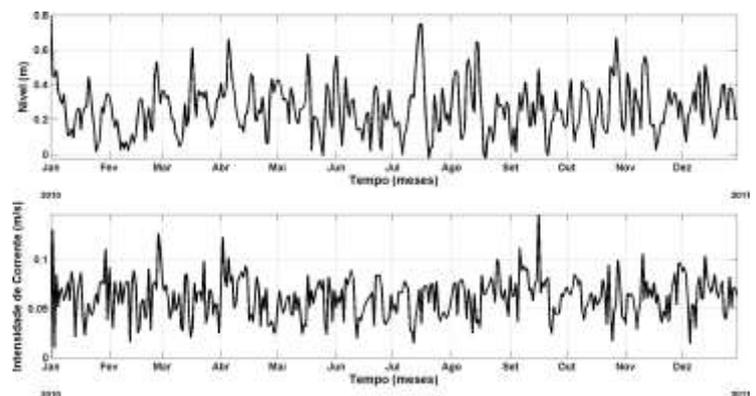
Já o modelo de dispersão de efluentes foi baseado em equações diferenciais ordinárias, e utiliza os nutrientes existentes nos poluentes como fontes no local do emissário. O mesmo foi desenvolvido em Fortran95, facilitando sua implementação ao modelo hidrodinâmico. Assim, o Telemac-3D estima a velocidade superficial e variações de densidade, atualizando a dispersão dos poluentes no local do emissário, prevendo suas propagação, densidade e interações entre os diferentes nutrientes/traçadores modelados.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para iniciar a análise dos resultados, séries temporais de elevação do nível do mar, intensidade e direção da corrente e do vento foram retirados do ponto do emissário (Figura 2). Sendo assim, a mostra a elevação do nível do mar (m) e a intensidade das correntes de superfície (m/s) no ponto em que o estuário foi simulado.

O nível do mar médio foi de  $0,261 \pm 0,146$  m, com um pico na metade do mês de julho, enquanto as correntes apresentaram uma média de  $0,061 \pm 0,021$  m/s, com um pico de 0,146 m/s na metade de setembro. Ambas não aparentaram estarem correlacionadas.

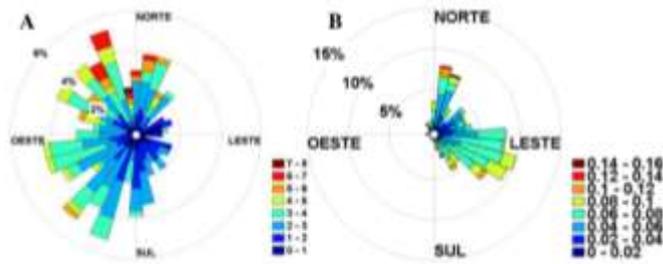
Figura 2. Série temporal do nível do mar (m) e de intensidade de correntes superficiais (m/s) no ponto do emissário simulado para o ano de 2010



Fonte: Autores

Observando as Figuras Figura 3A e Figura 3B, percebemos que os ventos mais frequentes são de nordeste e sudeste e os ventos mais intensos (entre 7 e 8 m/s) de sul e sudeste, provavelmente relacionados com a passagem de frentes frias e massas de ar quente, comuns nesta região (ANGULO, 1992). As correntes mais frequentes, para este ano, são leste e sudeste, já as mais fortes (entre 0,14 e 0,16 m/s) estavam direcionadas para o setor norte – nordeste.

Figura 3. A. Histograma de frequência e intensidade (m/s) dos ventos de superfície no ponto do emissário simulado; B. Histograma de frequência e intensidade (m/s) de correntes superficiais no ponto do emissário simulado



Fonte: Autores

O emissário está posicionado no fundo da região de estudo, por isso as concentrações máximas registradas para os poluentes estão presentes na camada de fundo oceânica e em regiões próximas ao ponto do emissário. As plumas dos poluentes se propagaram até os municípios de Pontal do Paraná, ao norte do emissário, e Guaratuba, ao sul do emissário, porém não conseguiram penetrar nem no CEP nem na BG, provavelmente devido à forte ação das marés de vazante em ambos os estuários.

Pelo emissário estar localizado em uma região com predominância de correntes leste, os poluentes não apenas dispersaram-se ao longo do litoral como também alcançaram regiões aproximadamente 20 km afastadas da costa. As concentrações máximas e médias para o período de 364 dias, (01/01/2010 – 30/12/10), foram mapeadas para a região de estudo e subdivididas nas camadas de fundo e de superfície, respectivamente nas Tabelas Tabela 2 e Tabela 3.

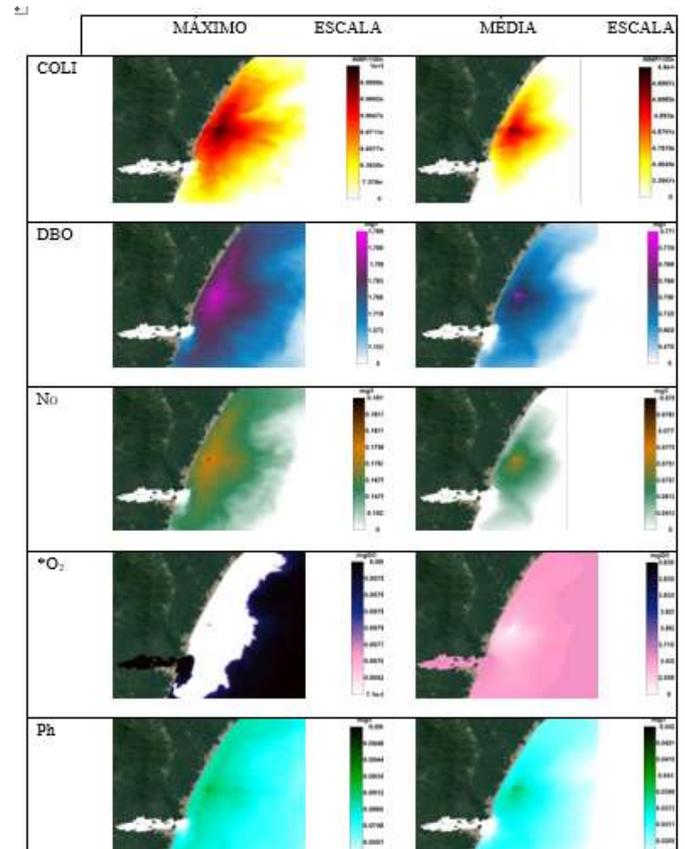
Ainda, segundo dos Santos et al. (2021) águas com concentrações acima de 1000 NMP/100ml são consideradas impróprias para uso, enquanto para Kar et al. (2022) as concentrações devem ser inferiores a 500 NMP/100ml.

Considerando a baixa carga despejada e a taxa de mortalidade das bactérias termotolerantes, as concentrações finais das plumas foram altas, com médias de  $4,9 \times 10^7$  NMP/100ml no fundo e  $2,3 \times 10^7$  NMP/100ml na superfície e máximos na casa de  $1 \times 10^8$  NMP/100ml na camada de fundo e  $3,8 \times 10^7$  NMP/100ml na camada de superfície, afetando principalmente as praias dos balneários dos municípios de Matinhos e de Pontal do Paraná.

De acordo com Vijay, Mardikar e Kumar (2016) e Kar et al. (2022), águas não poluídas apresentam concentrações de DBO inferiores ou iguais a 3 mg/l,

enquanto que águas com despejo de efluentes urbanos podem ter concentrações maiores que 10 mg/l (PRANDI-ROSA; FARACHE FILHO, 2002).

Tabela 2. Concentrações máximas e médias na camada de fundo dos poluentes simulados. \* Os campos de máximo de O<sub>2</sub> correspondem ao máximo consumo do gás por organismos, ou seja, são referentes à sua concentração mínima



Ainda, segundo dos Santos et al. (2021) águas com concentrações acima de 1000 NMP/100ml são consideradas impróprias para uso, enquanto para Kar et al. (2022) as concentrações devem ser inferiores a 500 NMP/100ml.

Considerando a baixa carga despejada e a taxa de mortalidade das bactérias termotolerantes, as concentrações finais das plumas foram altas, com médias de  $4,9 \times 10^7$  NMP/100ml no fundo e  $2,3 \times 10^7$  NMP/100ml na superfície e máximos na casa de  $1 \times 10^8$  NMP/100ml na camada de fundo e  $3,8 \times 10^7$  NMP/100ml na camada de superfície, afetando principalmente as praias dos balneários dos municípios de Matinhos e de Pontal do Paraná.

De acordo com Vijay, Mardikar e Kumar (2016) e Kar et al. (2022), águas não poluídas apresentam

concentrações de DBO inferiores ou iguais a 3 mg/l, enquanto que águas com despejo de efluentes urbanos podem ter concentrações maiores que 10 mg/l (PRANDI-ROSA; FARACHE FILHO, 2002). As máximas concentrações encontradas de DBO na camada de fundo foram próximas de 5 mg/l, enquanto que na superfície ficaram em torno de 0,64 mg/l. Com isso, não se pode afirmar que a região atingida esteja afetada de forma aguda, porém há possíveis impactos na comunidade bentônica a serem considerados, principalmente nas mediações do emissário.

Tchobanglus, Burton e Stensel (2003) propõem que águas que recebem esgoto doméstico não tratado e possuem concentrações fracas de nutrientes apresentam concentrações de nitrogênio total em torno de 20 mg/l.

Considerando a carga despejada simulada de NO (10 mg/l), as concentrações médias (entre 0 e 0,034 mg/l na superfície e entre 0 e 0,078 mg/l no fundo) e máximas (entre 0 e 0,066 na superfície e entre 0 e 0,181 mg/l no fundo) finais para este poluente foram baixas. Com isso, é possível crer que a influência do emissário é fraca, mesmo em águas próximas ao seu despejo.

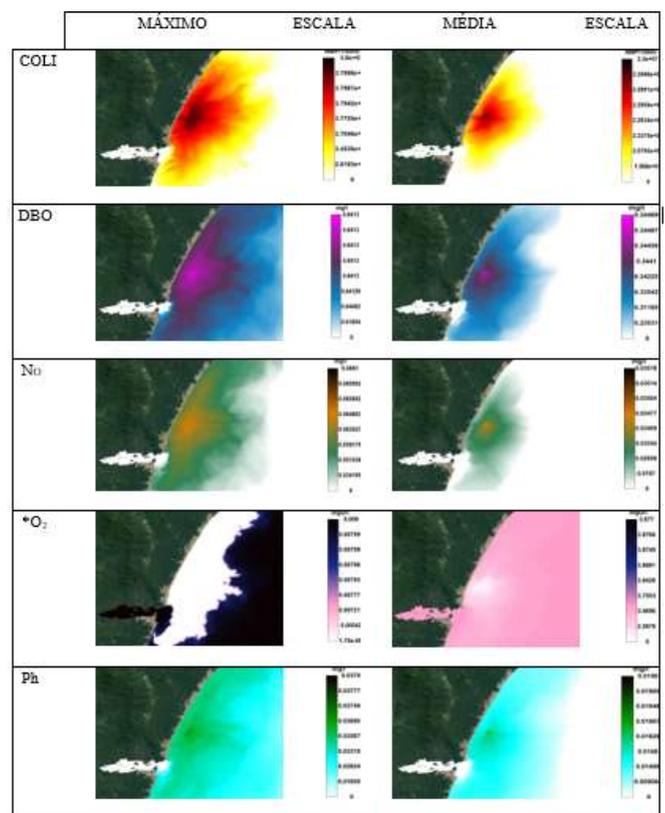
Segundo a resolução CONAMA n° 357 (BRASIL, 2005), águas salinas adequadas para recreação de contato primário, proteção de comunidades aquáticas, atividades pesqueiras e aquicultura apresentam concentração de oxigênio não inferior a 6 mg/l. Já para Kar et al. (2022) o valor imposto não pode ser inferior a 5 mg/l.

Sendo assim, ao observarmos a variação da média do Oxigênio dissolvido podemos concluir que existe uma grande depleção deste parâmetro em toda a coluna d'água, mas principalmente nos arredores do emissário submarino onde valores mínimos tendem a  $7,1 \times 10^{-8}$  mgO/l no fundo e  $1,75 \times 10^{-8}$  mgO/l na superfície. Esses valores baixos se devem provavelmente ao grande número de organismos, como coliformes termotolerantes, cuja proliferação é favorecida com a ação do emissário.

Brasil (2005) indica que para águas salinas de Classes 1 e 2 as concentrações totais de fósforo não ultrapassem 0,062 mg/l e 0,093 mg/l, respectivamente, levando em consideração o fósforo como um elemento limitante para a eutrofização. Os

valores no campo médio de fósforo variaram entre 0 e 0,0198 mg/l na superfície e entre 0 e 0,0423 mg/l no fundo, enquanto os valores no campo máximo variaram entre 0 e 0,0379 mg/l na superfície e entre 0 e 0,095 mg/l no fundo.

Tabela 3. Concentrações máximas e médias na camada de superfície dos poluentes simulados. \*Os campos de máximo de O<sub>2</sub> correspondem ao máximo consumo do gás por organismos, ou seja, são referentes à sua concentração mínima



É importante ressaltar que o fósforo não foi imposto pelos autores, mas sim calculado pelo próprio modelo como resultado da interação dos outros poluentes e de estimativas de produção/consumo pela biota. Com base no exposto e sabendo que a região que compreende Matinhos e Pontal do Paraná se enquadra primariamente como água salina de Classe 2 (BRASIL, 2005), é possível afirmar que no cenário estudado as concentrações de fósforo não são nocivas ao litoral paranaense, mesmo nas mediações do emissário.

Ainda é importante ressaltar que informações como diâmetro do cano, cargas de cada poluente a serem despejadas, foram impostas pelos autores deste estudo tomando a literatura como referência, visto

que tais informações não se encontravam incluídas no PBHL. O Plano também falha em informar custos, vazões e questões de tratamento prévio, que são de grande importância para a realização de estudos

## CONCLUSÕES

A proposta do emissário para o município de Matinhos, no P09 dentro do PBHL, foi estudada em um cenário numérico simulado para o ano de 2010, demonstrando a robustez do modelo utilizado. Como existem poucas informações sobre o projeto idealizado pela SANEPAR, como vazão pretendida, e carga de contaminantes lançada, este trabalho utilizou valores de referência para realizar a simulação numérica, o que pode ter induzido ao resultados de um empreendimento subdimensionado, subestimando as concentrações de poluentes totais encontrada. Dentro do exposto e do que sabe-se sobre os limites ambientais legais impostos para o despejo de efluentes domésticos em águas salinas, o emissário encontra-se dentro dos padrões aceitos, exceto para as concentrações de coliformes termotolerantes e fósforo em certos momentos. Caso o município deseje seguir com este plano para melhorar a eficiência de seu tratamento de esgoto no futuro, aconselha-se que um melhor planejamento e a ampliação de estudos regionais para avaliação de impactos diretos e indiretos.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais para o Supercomputador Santos-Dumont do Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) (projeto project INFOCOS-SDUMONT-2020-#207998), no qual a maior parte do trabalho computacional ocorreu. Ainda, os autores são gratos ao UFPR-Tesouro Nacional pela assistência financeira na forma de bolsa. Agradecimentos adicionais vão para a Agência Nacional de Águas e ao ERA-5 do ECMWF e HYCOM por disponibilizarem descargas fluviais, bancos de dados oceanográficos e atmosféricos, respectivamente; e ao consórcio open TELEMAC-MASCARET por fornecerem o sistema TELEMAC para a realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas (ANA), **HIDROWEB**, [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br), 2018.
- Angulo, R. J. **Geologia da planície costeira do estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, University of São Paulo, São Paulo, 1992. doi:10.11606/T.44.1992.tde-09122015-110705, 1992.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação de águas doces, salobras e salinas do território nacional. **Publicação do Diário Oficial da União**, n 53, p. 58-63, 2005.
- Egbert, G.D., e Erofeeva S. Y. Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, 19.2 183-204, 2002.
- Gössling S., Hall C.M., Scott D. Coastal and Ocean Tourism. In: Salomon M., Markus T. Handbook on Marine Environment Protection. **Springer, Cham**, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60156-440>, 2018.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society** 146, no. 730 1999-2049, 2020.
- Instituto Das Águas Do Paraná e Cobrape. **Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea. Relatório Final**, 2019.
- Kar, S., Ghosh, I., Chowdhury, P., Ghosh, A., Aitch, P., Bhandari, G., e RoyChowdhury, A. A model-based prediction and analysis of seasonal and tidal influence on pollutants distribution from city outfalls of river Ganges in West Bengal, India and its mapping using GIS tool. **PLOS Water**, 1(2), 2022.

Krug, L. A., e Noernberg, M. A. Extração de batimetria por sensoriamento remoto de áreas rasas dos sistemas estuarinos do Estado do Paraná-Brasil. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia, GO. CD-ROM, 2005.

Law, A. W., & Tang, C. Industrial water treatment and industrial marine outfalls: Achieving the right balance. **Frontiers of Chemical Science and Engineering**, 10, 472-479, 2016.

de Lima, R. S., Marotti, A. C. B., Santiago, C. D., Pugliesi, E., & Moschini, L. E. Acesso e qualidade da prestação dos serviços de saneamento básico: percepção de uma população no litoral paulista. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, 11(1), 20281, 2022.

Londe, L. D. R., Moura, L. G., Coutinho, M. P., Marchezini, V., E Soriano, E. Vulnerabilização, saúde e desastres socioambientais no litoral de São Paulo: desafios para o desenvolvimento sustentável. **Ambiente & Sociedade**, 21, 2018.

E. J. Metzger, O. M. Smedstad, P. G. Thoppil, H. E. Hurlburt, J. A. Cummings, A. J. Wallcraft, L. Zamudio, D. S. Franklin, P. G. Posey, M. W. Phelps, P. J. Hogan, F. L. Bub e C. J. Dehaan: US Navy Operational Global Ocean and Arctic Ice Prediction Systems. **Oceanography**, vol 27(3), <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.66>, 2014.

Prandi-Rosa, G. A., & Farache Filho, A. Avaliação de parâmetros de qualidade de águas superficiais em mananciais do município de Jales-sp. **Holos Environment**, 2(1), 36-51, 2002.

dos Santos, C. A. A. S., de Oliveira, L., Barbosa, M. A., Horster, T. R. Z., Nascimento, B. L. M., de Oliveira Serra, M. A. A. e Orlanda, J. F. F. Análise da qualidade da água recreativa em balneários da Cidade de Açailândia, Maranhão, Brasil. **Research, Society and Development**, 10(13), 2021.

Subtil, E. L. **Tratamento de águas residuárias**

**utilizando emissários submarinos: avaliação do nível de tratamento para uma disposição oceânica ambientalmente segura.** Tese de doutorado em Engenharia Hidráulica, Universidade de São Paulo, 2012.