



EFEITOS AMBIENTAIS DA CONTAMINAÇÃO OCEÂNICA POR MEIO DO DESCARTE DE ESGOTOS

MACHADO, Angélica¹; HAMMES, Thais².

RESUMO: Os mares e oceanos representam 71% da extensão da superfície da Terra e são importantes comercial e cientificamente para todo o mundo. Contudo, passaram de uma fonte de exploração, para, também, um grande depósito de rejeitos, das mais diversas atividades. Em todo o mundo, as regiões costeiras abrigam a maior parte das grandes metrópoles, onde as atividades humanas envolvem a produção e descarte de resíduos, principalmente de esgotos domésticos. O lançamento de esgotos sanitários é um dos tipos mais comuns de poluição dos oceanos e os possíveis impactos ambientais gerados pelo lançamento desses efluentes são a contaminação microbiológica, o acréscimo de matéria orgânica no meio marinho, o aumento da turbidez e o enriquecimento por nutrientes, que pode levar à eutrofização e induzir à hipóxia ou anóxia, afetando a produção primária e os organismos filtradores; e a contaminação química, gerando efeitos tóxicos sobre a biota, impactos que levam à inviabilização de alguns usos das águas marinhas. O objetivo deste estudo, tendo em vista o grande desequilíbrio do meio marinho em decorrência à contaminação oceânica, foi buscar um maior esclarecimento a respeito do assunto.

Palavras-chave: oceano, poluição, descarte, esgotos.

ABSTRACT: The seas and oceans account for 71% of the Earth's surface extent and are commercially and scientifically important to the world. However, they passed from a source of exploration, to, also, a large deposit of tailings, of the most diverse activities. Across the world, coastal regions are home to most major cities, where human activities involve the production and disposal of waste, mainly domestic sewage. Launching sanitary sewers is one of the most common types of ocean pollution, and the potential environmental impacts of such effluent releases include microbiological contamination, increased organic matter in the marine environment, increased turbidity, and nutrient enrichment. can lead to eutrophication and induce hypoxia or anoxia, affecting primary production and filtering organisms; and chemical contamination, generating toxic effects on the biota, impacts that lead to the unfeasibility of some uses of marine waters. The objective of this study, in view of the great imbalance of the marine environment due to the oceanic contamination, was to seek further clarification on the subject.

KEY WORDS: *ocean, pollution, disposal, sewage.*

INTRODUÇÃO

¹ Alcadêmicas da Universidade de Cruz Alta ang3licasm@gmail.com paty_cris18@hotmail.com

² Docente da Universidade de Cruz Alta ralorenzoni@unicruz.edu.br



Dos grandes ambientes presentes no planeta Terra, os mares e oceanos representam um dos mais importantes, utilizando cerca de 71% da superfície terrestre e exercendo uma forte ação no ecossistema global¹.

Devido à imensidão e quantidades incalculáveis de riquezas minerais e biológicas, os oceanos são importantes comercial e cientificamente para diversas nações do mundo. Contudo, passaram a não somente ser uma região explorada, como também um grande depósito de rejeitos decorrentes de uma grande variedade de atividades, como obras de engenharia, agricultura, desenvolvimento urbano, industrial, atividades portuárias, erosão litorânea e a partir de 1950 da área nuclear¹.

Em todo o mundo, as regiões costeiras abrigam a maior parte das grandes metrópoles, polos industriais, portos e zonas turísticas. Várias das atividades humanas nessas regiões envolvem a produção e descarte de resíduos, destacando-se os esgotos domésticos, que são considerados a forma mais comum e generalizada de poluição nas regiões costeiras².

A grande população já existente em alguns municípios do litoral acrescida pelo grande número de turistas nas épocas de veraneio, provoca um aumento considerável da quantidade de esgotos domésticos gerada na região. Em muitos casos, o destino final desses esgotos são os corpos d'água mais próximos, uma vez que o sistema de rede coletora e de tratamento ainda é incipiente em algumas regiões. O lançamento de esgotos sanitários é um dos tipos mais comuns de poluição dos oceanos, seja por meio de contribuições difusas de cursos d'água, seja por meio de emissários submarinos que formam fontes pontuais desse tipo de poluição².

É muito comum também que os sistemas de coleta de esgotos urbanos recebam, além dos efluentes domésticos, contribuições de diferentes naturezas, como efluentes hospitalares, águas pluviais, resíduos de estabelecimentos comerciais, postos de gasolina e, eventualmente, indústrias de pequeno porte; deste modo, a composição final dos esgotos urbanos é bastante complexa e pode variar muito, dependendo da sua origem, apresentando em alguns casos elevados níveis de contaminantes³. Os possíveis impactos ambientais gerados pelo lançamento desses efluentes são, por exemplo, a contaminação microbiológica, o acréscimo de matéria orgânica no meio marinho, o aumento da turbidez e o enriquecimento por nutrientes, que pode levar à eutrofização² e induzir à hipóxia ou mesmo à anóxia; afetando a produção primária e os organismos filtradores; e a contaminação química, gerando efeitos tóxicos sobre a biota^{4, 5, 6}. Esses impactos levam à inviabilização de alguns usos das águas marinhas, como a recreação por contatos primário e secundário, a produção e



manutenção dos estoques pesqueiros para fins de pesca e aquicultura, a deterioração dos aspectos estéticos e paisagísticos, os usos para fins de preservação do equilíbrio ecológico, entre outros.³ A contaminação microbiológica ocorre por bactérias, vírus, fungos e leveduras, principalmente pela *Escherichia coli*, bactéria comumente encontrada no trato digestivo de mamíferos de sangue quente. Adicionalmente, muitos patógenos podem estar presentes nos esgotos³ (Quadro 1).

Quadro 1. Patógenos potencialmente presentes em esgotos domésticos (adaptado de Hawkes⁷)

ORGANISMO	DOENÇA ASSOCIADA
Vírus	Hepatite, Poliomelite
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Salmonella spp</i>	Febre tifoide, contaminação alimentar, diarreia
<i>Shigella spp</i>	Disenteria bacilar
<i>Bacillus anthracis</i>	Antrax
<i>Brucella spp</i>	Brucelose, febre de Malta
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Tuberculose
<i>Leptospira iceterohaemorrhagiae</i>	Leptospirose
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebíase, diarreia
<i>Schistosoma spp</i>	Esquistossomose
<i>Taenia spp</i>	Tenise, solitária
<i>Ascaris spp</i> e <i>Enterobios spp</i>	Ascariase (lombriga)
<i>Mycobacterium spp</i>	Dermatites, micoses

O objetivo deste estudo foi buscar na literatura atual um maior esclarecimento a respeito do assunto, tendo em vista um aprofundamento teórico. Observa-se que estudos a respeito do assunto tornam-se cada vez mais relevantes tendo em vista o grande desequilíbrio do meio marinho, em decorrência à contaminação oceânica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do presente estudo, foi realizada uma busca sistemática, principalmente em artigos indexados em três bases de dados: EBSCO, Pubmed e Scielo, além de pesquisa no site da OMS. A busca dos artigos foi realizada no período de 11 de maio a 10 de junho de 2018, e os descritores utilizados para a busca dos artigos, de acordo com os descritores em ciências da saúde (DeCS), publicado pela Bireme, que é uma tradução do



MeSH (*Medical Subject Headings*) da *National Library of Medicine*, foram combinados entre si: *ocean, contamination, waste disposal, oceanic pollution, sewer*.

Os critérios de inclusão foram artigos originais de pesquisa, nos idiomas de português ou inglês. Dessa forma, foram identificados 20 estudos nesse período, sendo excluídos os que não apresentaram contribuições relevantes para o presente trabalho. Destes, foram selecionados 25 artigos científicos que relacionassem especificamente à temática proposta, que foram utilizados como referencial teórico.

EMISSÁRIOS SUBMARINOS DE ESGOTO NO BRASIL

Uma das soluções encontradas para os esgotos gerados no litoral é a disposição oceânica. Depois de um pré-tratamento, onde ocorre a remoção de sólidos grosseiros e parte do material em suspensão, o esgoto tem sua disposição final no mar por meio de emissários, que constituem-se de uma longa tubulação, assentada no fundo marinho e que em seu trecho final atinge grandes profundidades, onde ocorre o lançamento do efluente por meio de vários difusores permitindo, assim, uma diluição eficaz do mesmo. Esta solução, embora traga muitos benefícios para a qualidade das praias na medida em que afasta o esgoto das mesmas, pode também trazer prejuízos ambientais se estes sistemas não forem bem dimensionados e operados². A grande maioria dos emissários sanitários submarinos do Brasil encontra-se no Estado de São Paulo³. Atualmente existem 7 sistemas de disposição oceânica em operação na costa paulista. Todos procedem à coleta dos esgotos domésticos e águas pluviais, são providos de estação de pré-condicionamento na qual o efluente passa por um gradeamento, depois por peneiras finas sendo submetido à cloração antes de ser lançado no mar. Nessa estação não se realiza nenhum tipo de tratamento primário e conta-se com a capacidade de diluição e autodepuração do mar para realizar a degradação do material introduzido no meio marinho².

ENRIQUECIMENTO POR NUTRIENTES, EUTROFIZAÇÃO E EFEITOS SOBRE PRODUÇÃO PRIMÁRIA

Um dos principais efeitos da disposição de efluentes urbanos em águas costeiras é o incremento da concentração de nutrientes, cujo aumento excessivo pode levar à eutrofização³. Segundo Nixon⁸, a eutrofização é o aumento excessivo da produção de matéria orgânica, ou seja, com o aumento de nutrientes dissolvidos, ocorre um consequente aumento da biomassa fitoplanctônica e da matéria orgânica, que levam às modificações em toda a teia trófica. Em



estágios mais avançados e em regiões com circulação restrita, ocorre diminuição dos teores de oxigênio dissolvido, devido à decomposição da matéria orgânica produzida, levando à morte dos organismos.

Pelley⁹, em uma revisão sobre eutrofização, discorreu sobre a possibilidade de controle de tal problema, concluindo que apenas soluções a longo prazo serão possíveis. Essa autora destaca algumas áreas aonde a eutrofização chegou a ponto de calamidade, como a zona morta ao norte do Golfo do México, onde, durante o verão, o ambiente torna-se anóxico junto ao fundo, levando a mortandade dos organismos. O mesmo problema ocorreu nos mares Báltico e Adriático, na Baía de Chesapeake (EUA) e no Porto e Baía de Hong Kong (China). Recentemente, estudo coordenado pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, ainda não publicado, demonstrou a existência de zona morta na Baía de Santos, associada aos despejos do emissário submarino.

Trabalhos realizados nas adjacências de emissários submarinos, em regiões costeiras de São Paulo, demonstraram o aumento de nutrientes, notadamente N-amoniaco e fosfato^{10, 11, 12, 13, 14}.

Mais recentemente, toxicidade frequente e níveis altos de nitrogênio amoniacal foram monitorados ao redor do emissário de Santos⁶. No Rio de Janeiro, onde o primeiro emissário submarino do Brasil foi instalado, Carreira e Wagener¹⁵ observaram aporte significativo de fósforo, com acúmulos de grandes quantidades nos sedimentos nas áreas próximas ao emissário de Ipanema. Marques Júnior, et al¹⁶ observaram valores aumentados de material particulado e nutrientes relacionados ao emissário de Icaraí (Niterói), com evidentes excessos de nitrogênio no ambiente.

Os trabalhos de Moser¹³ e Moser, et al¹⁴, especificamente, indicam como fontes pontuais de eutrofização o emissário e os canais estuarinos de São Vicente e Santos, considerados por esses autores como as principais fontes de eutrofização para a região.

EFEITOS SOBRE ÁGUA, SEDIMENTOS, MICROBIOTA AUTÓCTONE E SAÚDE PÚBLICA

Ambientes marinhos abrigam uma comunidade diversa de bactérias, cianobactérias, vírus e protozoários, entre outros, que têm papel relevante nos ciclos de matéria e energia nos oceanos. Os microrganismos que compõem a microbiota marinha constituem os maiores grupos de produtores, consumidores e decompositores e compõem uma cadeia alimentar denominada rede microbiana¹⁷. Bactérias heterotróficas utilizam a matéria orgânica



dissolvida como fonte de carbono e nutrientes para seu crescimento e são predadas por nanoflagelados heterótrofos^{18,19,20,21}. Nanoflagelados também são importantes predadores de cianobactérias e algas do picofitoplâncton^{21, 22, 23, 24}.

A atividade predatória dos nanoflagelados, por sua vez, tem efeito positivo no crescimento bacteriano e de picoautótrofos, pois leva à remineralização de nutrientes. Dinoflagelados, ciliados e rotíferos, os quais são consumidores de nanoflagelados, são, por sua vez, predados por organismos superiores. Desse modo, por meio da rede microbiana a matéria orgânica dissolvida é transferida aos níveis tróficos superiores, como o metazooplâncton e os peixes²⁵.

Martins, et al²⁶, a partir da análise de coprostanol em sedimentos superficiais da Baía de Santos, caracterizaram a área com a relação à contaminação fecal. De acordo com esses autores, os sedimentos do ponto localizado na desembocadura do emissário submarino de Santos encontram-se contaminados por esgoto doméstico, e alguma contribuição fecal também foi observada na porção centro-oeste da Baía de Santos, justamente próxima e dentro de uma unidade de conservação de proteção integral (o Parque Estadual Xixová-Japuú). De acordo com esses autores, a principal fonte de material fecal para a Baía de Santos é o emissário submarino de Santos.

CONTAMINAÇÃO QUÍMICA E EFEITOS TÓXICOS SOBRE AS COMUNIDADES BIOLÓGICAS

A literatura, em geral, indica menor grau de impacto dos emissários sobre a coluna d'água, e maiores problemas relacionam-se com os sedimentos de fundo. Porém, Abessa, et al⁶ observaram altos níveis de amônia e toxicidade da coluna d'água devido ao lançamento do emissário de Santos. Esse efluente já havia sido definido por Rachid, et al³ como tóxico. Abessa, et al^{4,5}, mostraram que o lançamento de esgotos afeta a granulometria e os níveis de matéria orgânica na área próxima à saída do emissário submarino de Santos, atribuindo essa alteração ao material particulado presente nos esgotos. No entanto, observando-se os teores granulométricos e de nutrientes obtidos por FUNDESPA²⁷ para os emissários submarinos atualmente em operação no Estado de São Paulo, foi possível notar que apenas em Santos parece haver alterações de algumas propriedades dos sedimentos. Uma explicação plausível é o fato de o emissário de Santos ser bem mais antigo e possuir uma vazão média muito maior que os demais¹⁰, estando localizado em uma área onde os processos hidrodinâmicos são menos acentuados que aqueles observados em Praia Grande, Guarujá e São Sebastião.



É importante notar que modificações na granulometria e/ou nos teores de nutrientes podem causar alteração na estrutura da comunidade bentônica, e por isso devem ser investigadas em detalhe, devido às implicações para o ecossistema e as funções ecológicas. Embora a precipitação dos sólidos presentes no esgoto nas áreas próximas do lançamento seja prevista como parte dos processos de depuração natural³, quando o efluente recebe apenas o pré-condicionamento, uma grande parte dos contaminantes presentes em efluentes encontra-se adsorvida ao material particulado^{9,10}.

O acúmulo de contaminantes no sedimento pode se expressar biologicamente sob a forma de toxicidade e/ou alteração na estrutura da comunidade bentônica. Em seus estudos, Abessa et al^{4,5,6}, observaram que águas e sedimentos localizados nas adjacências dos emissários paulistas causaram efeitos tóxicos sobre os organismos marinhos, estando essa toxicidade relacionada com os níveis de contaminação por amônia, mercúrio, enxofre e sólidos em suspensão. Abessa⁶ mostrou, ainda, que a fauna bentônica na área próxima aos difusores do emissário de Santos é bastante afetada, principalmente ao redor dos difusores.

CONCLUSÃO

Embora traga benefícios para a qualidade das praias, na medida em que afasta o esgoto para o mar, o descarte de esgotos não tratados por meio de emissários não representa a melhor solução de saneamento ambiental, podendo inclusive gerar grandes prejuízos à qualidade do ambiente marinho, especialmente se for considerado que não é realizado o tratamento do esgoto, e sim apenas a eliminação de alguns patógenos e do material flutuante, contando-se com uma suposta capacidade de diluição e autodepuração das massas de água para realizar a degradação do material introduzido no meio marinho, o que parece não ocorrer na maioria dos casos.

Em decorrência da presença de concentrações elevadas de inúmeros contaminantes e microrganismos patogênicos nos esgotos (às vezes acima dos limites máximos permitidos pela lei), pela capacidade de induzir eutrofização, por sua toxicidade e capacidade de se acumular no meio ambiente e nos organismos, e pelas potenciais alterações negativas que podem ser causadas no ambiente, seria necessária a modernização das Estações de Pré-Condicionamento, por meio da instalação de tratamentos eficientes, capazes de remover efetivamente os contaminantes.



REFERÊNCIAS

1. FIGUEIRA, R; CUNHA, I. **A contaminação dos oceanos por radionuclídeos antropogênicos.** Revista Química Nova. São Paulo, 1998.
2. LAMPARELLI, C. **Desafios para o licenciamento e monitoramento ambiental de emissários: a experiencia de São Paulo.** São Paulo: SMA. São Paulo, 2006.
3. ABESSA, D; et al. **Efeitos ambientais da disposição oceânica de esgotos por meio de emissários submarinos: uma revisão.** O Mundo da Saúde. São Paulo, 2012.
4. ABESSA, D; et al. **Influence od a Brazilian sewage outfall on the toxicity and contamination os adjacent sediments.** Hoffer TN, editor. Marine Pollution Bull. New York: Nova Science Publishers Inc, 2005.
5. ABESSA, D; et al. **Integrative ecotoxicological assessment of a complex tropical estuarine system.** Hoffer TN, editor. Marine Pollution: new research. Nova York: Nova Science Publishers Inc; 2008.
6. ABESSA, D; et al. **Toxicidade da Água na Baía de Santos.** Oceanografia e Mudanças Globais. São Paulo, 2008.



7. HAWKES, H. **Microbial aspects of Pollution**. Londres (UK), Academic Press, 1971.
8. NIXON, W. **Quantifying the relationship between nitrogen input and the productivity of marine ecosystems**. Pro Adv Mar Tech Conf, 2008.
9. PELLE, J. **Is coastal eutrophication out of control? Although research is shedding new light in the phenomenon, it is providing difficult to manage**. Environ SCI Technol. 1998.
10. BRAGA, E; et al. **Eutrophication and bacterial pollution caused by industrial and domestic wastes at the Baixada Santista Estuarine System – Brazil**. Mar Pollut Bull. 2000.
11. FRAZÃO, L. **Eutrofização por esgotos sanitários e sua relação com a fisiologia e ecologia do fitoplâncton no litoral do estado de São Paulo: Ubatuba, Praia Grande e Santos [dissertação]**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 2001.
12. AGUIAR, V; BOSQUILHA, G; BRAGA, E. **Estudo do fósforo nas formas orgânicas e inorgânicas, polifosfatos e surfactantes aniônicos no Sistema Estuarino de Santos (São Paulo, Brasil)**. Proceedings of IX COLACMAR – Congreso Latinoamericano sobre Ciencias Del Mar. San Andreas Isla, Colombia, 2002.
13. MOSER, G; et al. **Algal growth potencial as an index of eutrophication degree in coastal areas under sewage disposal influence**. Aquat Ecosyst Health Manage, 2004.
14. MOSER, G; et al. **Instantaneous transport of salt, nutrients, suspended matter and chlorophylla in the tropical Estuarine System of Santos**. Rey Bras Oceanogr, 2005.
15. CARREIRA, R; WAGNER, A. **Speciation of sewage derived phosphorus in coastal sediments from Rio de Janeiro, Brazil**. Mar Pollut Bull, 1998.
16. MARQUES, A; CRAPEZ, M; BARBOZA, C. **Impact of the Iaraí Sewage Outfall in Guanabara Bay, Brazil** Arch Biol Technol, 2006.
17. SHERR, E; SHER, B. **Role of microbes in pelagic food webs: a revised concept**. Limnol Oceanogr. 1998.
18. CARON, D; DAVIS, P; SIEBURTH, J. **Heterotrophic bacteria and bacterivorous protozoa in oceanic microaggregates**. Science 1982.



19. AZAM, F; et al. **The ecological role of water-column microbes in the sea.** Mar Ecol Prog Ser, 1993.
20. FERNANDES, A. **Estudo quantitativo da bacterivoria** por microflagelado heterótrofo [dissertação]. São Paulo: USP, Instituto Oceanográfico; 1995.
21. SHERR, E; SHERR, B. **Significance of predation by protists in aquatic microbial food webs.** Antonie Van Leeuwenhoek. 2002
22. LANDRY, M; HAAS, W; FAGERNESS, V. **Dynamics of microbial plankton communities: experiments in Kaneohe Bay, Hawaii.** Mar Ecol Prog Ser. 1984.
23. CARON, D; et al. **Grazing and utilization of chroococcoid cyanobacteria and heterotrophic bacteria by protozoa in laboratory cultures and a coastal plankton community.** Mar Ecol Prog Ser. 1991.
24. FERNANDES, A. **Regeneração de nutrientes por alguns componentes da alça microbiana [tese].** São Paulo: USP, Instituto Oceanográfico; 2000.
25. POLIS, G, WINEMILLER, K. **Food Webs: integration of patterns and dynamics.** New York: Chapman & Hall; 1996.
26. MARTINS, C; GOMES, F; FERREIRA, J; MONTONE, R. **Marcadores orgânicos de contaminação por esgotos sanitários em sedimentos superficiais da Baía de Santos, São Paulo.** Rev Química Nova, 2008.
27. FUNDESPA. **Levantamento oceanográfico da área diretamente afetada por efluentes de emissários submarinos de esgotos da SABESP, entre os municípios de São Sebastião e Mongaguá, Estado de São Paulo. Relatório Final.** Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas. 1999.