ISSN: 2594-6153

Estudo da Distribuição do Fósforo e do Material Particulado em Suspensão em um Sistema Estuarino Brasileiro

Maria Luiza Torres Pires, Antonio Jeferson Muniz Almeida, Vitor Gonsalez Chiozzini, Elisabete de Santis Braga

Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, Brasil
E-mail: marialtorresp@usp.br

Resumo: Este trabalho visa avaliar a variação da distribuição do Fósforo (P) em sua forma dissolvida, e do material particulado em suspensão no Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape-Ararapira (CELCI - SP). A coleta foi realizada na primavera de 2021, em 17 estações. Foram avaliadas as condições hidrológicas e hidroquímicas como maré, temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido, pH, material particulado em suspensão, particulado orgânico em suspensão, clorofila-*a* e fósforo dissolvido (PID, PTD e POD). O PID apresentou variação de 0,14 a 1,71 µmol L^{-1}, POD variou de n.d. a 0,51 µmol L^{-1} e o PTD de 0,25 a 1,89 µmol L^{-1}, sendo valores baixos que não indicam eutrofização para o CELCI. De modo geral, a distribuição dos parâmetros hidroquímicos e biológico no CELCI, estiveram ligados aos aportes fluviais, às dinâmicas de maré, a condições tróficas e luminosidade adequadas à produção primária.
Palavras-chave: Nutriente Dissolvido; PID; POD; Aportes Terrestres; Água Fluvial.

Study of the Distribution of Phosphorus and Particulate Material in Suspension in a Brazilian Estuary System

Abstract: This work aims to evaluate the distribution of Phosphorus (P) in its dissolved form and of suspended particulate matter in the Cananéia-Iguape-Ararapira Estuarine-Lagoon Complex (CELCI- SP). The sampling was carried out in the spring of 2021, in 17 stations. Hydrological and hydrochemical conditions such as tide, temperature, salinity, dissolved oxygen, pH, suspended particulate matter, suspended organic particulate matter, chlorophyll-a and dissolved phosphorus (DIP, TDP and DOP) were evaluated. DIP ranged from 0.14 to 1.71 µmol L^{-1}, DOP ranged from n.d. to 0.51 µmol L^{-1}, and TDP from 0.25 to 1.89 µmol L^{-1}, with low values that do not indicate eutrophication in CELCI. In general, the distribution of hydrochemical and biological parameters in the CELCI were attributed to: fluvial inputs and tidal dynamics, trophic conditions and adequate luminosity for primary production.
Keywords: Dissolved Nutrient; DIP; DOP; Terrestrial Inputs; River water.

Introdução

Os estuários são ambientes bastante hidrodinâmicos, podendo apresentar mudanças temporais e/ou sazonais bem significativas, estimulando dessa forma a sua produtividade primária local [1]. Possuem ainda papel fundamental no ciclo sedimentar, atuando como áreas preferenciais de deposição de sedimentos continentais. Consubstanciando, os ambientes estuarinos à proporção que oferecem diversos recursos à humanidade, se tornam áreas cada vez mais preferenciais para o crescimento imobiliário, para atividades industriais e/ou portuárias. A partir deste intenso afluxo populacional, observa-se diversos efeitos negativos, como é o caso

ISSN: 2594-6153

do enriquecimento exagerado em nutrientes, que por sua vez altera os ciclos biogeoquímicos dos nutrientes, sendo o fósforo (P) um deles. O P tem importância na composição da matéria orgânica e o seu ciclo biogeoquímico é sensível às alterações antrópicas podendo sair do equilíbrio por excesso de aporte via terrestre, ressuspensão, afinidade com o material particulado de modo a poder ser biolimitante e provocar processos de eutrofização. Dessa forma, o estudo de sua distribuição e de seus valores em sistemas estuarinos contribui ao diagnóstico ambiental e auxilia a gestão de ecossistemas costeiros. Assim, o estudo do fósforo inorgânico dissolvido (PID) e do material particulado em suspensão podem revelar forte influência de aportes continentais e trocas com o sedimento indicando locais alterações biogeoquímicas do P ao longo do sistema estudado.

Objetivo

O presente estudo teve como objetivo principal estudar a distribuição do fósforo dissolvido em suas formas orgânica e inorgânica, e do material particulado em suspensão (MPS) no Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape-Ararapira (CELCI - SP), área com distinta ação antrópica considerando o norte e o sul do sistema, de modo a caracterizar o grau de influência antrópica em seus setores, como auxílio da observação do equilíbrio do ciclo biogeoquímicos do P de sua relação com os demais parâmetros ambientais.

Material e Métodos

A amostragem no CELCI - SP ocorreu na primavera de 2021 em diferentes condições de maré. As estações de 1 a 5 localizaram-se no Canal do Ararapira (extremo sul), de 6 a 13 em Cananéia e de, 14 a 17, em Iguape. Foram coletadas amostras de superfície e fundo com o uso de garrafas amostrais tipo Go-Flo da marca Hydrobios®. A temperatura foi registrada por termômetros de reversão protegidos. Foram retiradas alíquotas de água para análise do Oxigênio Dissolvido (OD) seguindo a análise pelo método de [2], como descrito em [3], o pH como o uso de pHmetro e a salinidade pelo salinômetro Beckman. A água também foi coletada para filtração em membrana GF/F Whatman®, sendo o filtro pré-pesado utilizado para a determinação de MPS e MPO por gravimetria e calcinação, seguindo o descrito por [4]. O filtrado foi usado para análise de P (PID) [3], POD e PTD [5]. Para a clorofila-*a* seguiu-se o descrito por [6]. A pluviosidade foi obtida no [7]. Os dados de maré foram obtidos no modelo do Labdados - IOUSP. Os dados obtidos foram organizados em planilhas do programa Excel versão 10.0® e tratados com estatísticas básicas e elaboração de gráficos.

Resultados

ISSN: 2594-6153

As coletas ocorreram nos dias 23 a 26 de novembro, na maré de sizígia, com variação entre 0,3 a 1,3 m. A precipitação total em 2021 no CELCI foi de 484,0 mm e a média histórica (1990 – 2020) de chuva na região foi de 210,3 mm. Não houve chuva durante as coletas. Os valores dos parâmetros hidroquímicos e biológicos encontram-se na Tabela 1. A coluna d'água estudada é pouco profunda, com valor máximo de 5 m nos pontos amostrados.

Tabela 1. Valores mínimo, máximo e mediana dos parâmetros hidrológicos e hidroquímicos do Complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape-Ararapira CELCI, novembro de 2021.

Valor	**Temp. (° C)**	**Sal.**	**OD.**	**pH**	**PO_4^{3-}** (µmol L^{-1})	**PTD** (µmol L^{-1})	POD (µmol L^{-1})	**MPS** (µmol L^{-1})	**MOS** (µmol L^{-1})	**Cl-a** (mg m^{-3})
Min.	24,61	0,08	4,08	*7,16*	*0,14*	*0,24*	*0,00*	*6,25*	*0,00*	*1,00*
Máx.	27,05	33,63	7,12	*8,40*	*1,71*	*1,89*	*0,51*	*51,33*	*9,83*	*14,43*
Méd.	25,30	23,55	4,95	*8,19*	*0,35*	*0,56*	*0,22*	*30,75*	*5,00*	*3,12*

O valor mínimo de temperatura (24,61°C) foi observado na st. 7, (5m), localizada na Baía de Trapandé, enquanto o máximo (27,05°C) foi observado na superfície da st. 13, no final da Ilha de Cananéia. A Salinidade indicou um setor com baixa salinidade, apresentando mínima de 0,08 (st.15, prof. 0m) no norte do sistema e, outro com valores maiores (de água salobra e salina) com um máximo de 33,63 (st. 2, prof. 5m) do centro para o sul do sistema. Os valores de pH foram ligeiramente menores que 8 no setor norte sob maior influência da água doce. Os valores de OD não indicaram situação de hipóxia (<2 mL L^{-1}), atingindo um valor bastante alto na superfície da estação 12 (7,12 mL L^{-1}). O MPS apresentou o menor valor no fundo da st. 15 (6,25 mg L^{-1}) ao norte do sistema, enquanto o maior valor foi na st.1 (51,33 mg L^{-1}) ao sul do sistema, junto a erosão da Barra Nova. A fração particulada orgânica (MOS) atingiu o valor de 9,83 mg L^{-1} na est. 1, na prof. de 3m. O PID apresentou os maiores valores no norte do sistema, com máxima de 1,71 µmol L^{-1} no fundo (3m) da st.1. O PTD e o POD apresentaram distribuições semelhantes ao fosfato, com valores de 0,24 a 1,89 µmol L^{-1} (st. 7, prof. 5m e st. 15, prof. 0m, respectivamente). Os valores de Cl-*a* atingiram 14,43 mg m^{-3} no norte do sistema (st. 12, Prof. 5m).

Discussão

Ocorreu um pequeno aquecimento da água durante o período de coleta e os valores foram homogêneos na maioria dos pontos, com estratificação térmica na st. 7, onde a influência da maré é mais acentuada como mostrado por [8]. Os valores de salinidade, apresentaram contribuição marinha mais acentuadas entre as sts 1, 2, 6, 7, 8, 10 e 11, evidenciando os movimentos da maré no setor sul em comparação à porção norte do CELCI. Os valores de pH

ISSN: 2594-6153

acompanham a maior salinidade com valores em torno de 8, onde há maior influência da maré, enquanto na porção norte, os valores de pH foram menores que 8 mostrando a contribuição de águas continentais. Os dados obtidos por [9] apontam distinção clara entre as regiões norte e sul, evidenciando maior influência fluvial no setor norte e maior influência marinha no setor sul. Os maiores teores de OD foram obtidos na porção norte, especificamente nas sts 12 e 13, sob menor salinidade contando com a influência da maior solubilidade do gás em água menos salina e da correnteza associado ao rio. Os menores valores foram no sul do estuário, revelando uma maior utilização do OD, por processos de oxidação da matéria orgânica e respiração. Os valores de P foram relativamente baixos e com certo equilíbrio entre suas diferentes formas, devido ao balanço entre as formas orgânica, inorgânica, particuladas e dissolvidas no CELCI. Os resultados obtidos por [10, 11] foram maiores em até 5 vezes. No geral, a concentração de fosfato (PID) correspondeu à fração mais representativa no PTD. Nas estações de 1 a 6 (no Canal do Ararapira), a fração de POD mostrou valores um pouco maiores em relação às outras estações. De acordo com [12], valores mais baixos de POD estão associados com os processos de mineralização, transformando as formas orgânicas em inorgânicas. Tais valores caracterizam o ambiente, como sendo natural. A distribuição de MPS foi bem diferenciada ao longo das estações, sendo que a camada de fundo mostrou valores maiores e com as maiores concentrações mais na porção sul, o que pode estar associado com os processos de ressuspensão das partículas de fundo, pela ação das correntes de maré e a recente erosão que formou a Barra Nova. Alguns autores [13] obtiveram um padrão de distribuição de MPS similar ao deste estudo, com os maiores valores de concentração observados no setor sul até Cananéia, sem Ararapira. Berbel & Braga (2008) [12] observaram que os valores de MOS em Cananéia diminuem significativamente no inverno, em relação ao verão. Os valores de clorofila-*a* acompanham o aumento da concentração de OD e com uma pequena diminuição nos valores dos compostos fosfatados (sts 5, 12 e 13). Quando comparada aos valores encontrados no MPS, ambos os parâmetros apresentam um certo padrão de distribuição, com maiores valores encontrados na porção sul [12] observaram maiores valores de concentração de cl-*a* no verão de 2006 na região de Cananéia quando comparados aos valores encontrados no inverno.

Conclusão

As águas do CELCI apresentaram características hidroquímicas marcantes, dentre o período estudado, podendo diferenciar a porção norte, com a influência direta do rio Ribeira de Iguape via do Canal do Valo Grande (ação antrópica) e a porção sul, com maior influência das

ISSN: 2594-6153

correntes de maré. A resposta dos parâmetros biogeoquímicos e ambientais permitiram a observação das distinções entre os setores norte e sul do sistema, sobretudo no que tange ao ciclo biogeoquímico do fósforo. A variação em novembro de 2021 não revelou dados tão altos de P ao longo do sistema, como observado por trabalhos pretéritos, o que nos leva a continuar os trabalhos para contribuir à avaliação espacial e para confirmar a minimização dos efeitos antrópicos de P no sistema.

Agradecimentos: Os autores gostariam de agradecer imensamente o apoio dado pelo CNPq proc. 131428/2021-7 e FAPESP proc. 2020/16485-7, e proc. 2022/05823-4. Agradecemos a toda equipe LABNUT-IOUSP pelo apoio e à tripulação da embarcação Albacora – IOUSP.

Referências

1. Miranda, L. B.; Castro, B. M. & Kjerfve, B. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. 1 ed. Universidade de São Paulo, São Paulo – SP: EDUSP. 411 p. 2002.
2. WINKLER, L. W. Die Bestimmung des im Wasser gel ö sten Sauerstoffen. **Ber. Dtsche. Chem. Ges.,** 21, 2843–2855. 1888.
3. Grasshoff, K., Ehrhardt, M. And Kremling, K. Methods of Seawa ter Analysis, 2nd edn. Verlag Chemie, Weinheim, 419 pp. 1983.
4. STRICKLAND, J.D.H. & PARSONS, T.R. A pratical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. **Res. Bd Can**. v.169, p. 1-311. 1968.
5. Braga, E. S. 2020. Total Dissolved nitrogen and phosphorus determination in coastal South Atlantic water based on UV oxidation method. American Journal of Sciences and Engineering Research vol. 3, issue 6, p60-66.
6. Jeffrey, S. W.; Humphrey, G. F. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b. c1 and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochemie und Physiologie der Pflanzen*, v. 167, n. 2, p. 191-194, 1975.
7. INMET. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Rede de Estações e Previsão Climática dos anos de 1990 A 2021.
8. BÉRGAMO, Alessandro Luvizon. 2000. Características da hidrografia, circulação e transporte de sal: Barra de Cananéia, Sul do mar de Cananéia e Baía do Trapandé.. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
9. Batista, S. S.; Coelho, L. H. F.; Braga, E. De S. Estudo da distribuição espacial do ferro e do fósforo dissolvidos no complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape. In: Anais do IV Congresso Brasileiro de Oceanografia. 2010. p. 2191-2194.
10. Eschrique, S. A. 2011. Estudo do balanço biogeoquímico dos nutrientes dissolvidos principais como indicador da influência antrópica em sistemas estuarinos do nordeste e sudeste do Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, USP. 230p.
11. Chiozzini, V. G. 2017. Estudo da abundância, proveniência e padrões de distribuição elementar em sedimentos de superfície e perfis sedimentares no Complexo Estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, São Paulo- Brasil, com ênfase aos elementos terras raras e seu significado ambiental. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 353 p.
12. Berbel, G.B.B. & Braga, E.S. Variação sazonal das especiações de fósforo dissolvido e sedimentar e suas inter-relações com parâmetros físicos e químicos em Santos – verão e inverno

ISSN: 2594-6153

de 2005. In: BRAGA, E.S. (org.). Oceanografia e Mudanças Globais, Universidade de São Paulo. São Paulo - SP, p. 583-597. 2008.

13. Pisetta, M. Transporte de sedimentos por suspensão no sistema estuarino- lagunar de Cananéia-Iguape. Dissertação (Mestrado), Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 176 p. 2006.