

Transporte de nutrientes, carbono orgânico particulado e Clorofila-a no estuário do Rio Camboriú, SC

Os estuários são as principais rotas de entrada de nutrientes provenientes da drenagem continental para o ambiente costeiro, possuindo concentrações elevadas de nutrientes. O presente trabalho abordará os efeitos da hidrodinâmica do estuário do rio Camboriú correlacionando com a concentração de nutrientes, carbono orgânico particulado (COP) e Clorofila-a (Cla), para determinar o transporte dos parâmetros químicos durante dois ciclos consecutivos de maré (25 horas). Em um experimento de campo, foram obtidos dados de velocidade e direção da corrente, nível d'água, salinidade, temperatura, turbidez e amostras d'água de superfície e fundo para determinação das concentrações de nutrientes, Cla e COP. O fluxo de enchente apresentou valor máximo de 92,61 m³/s, enquanto o fluxo de vazante apresentou valor máximo de 76,19 m³/s. A salinidade acompanhou o regime de correntes e serviu como indicador das características do sistema. As maiores concentrações dos parâmetros químicos foram registradas no momento de menor influência salina no estuário, com valores máximos de: 282,06 µM (NID), 7,77 µM (PO43-), 6,62 µM (Si), 17,10 µg/l (Cla) e 177,30 µM (COP). Foi observada uma exportação em direção ao oceano de COP, PO43-, Cla, Si e NID com respectivos valores de: 4,9*10⁴ mol C, 3,2*10³ mol P, 2,9*10³ g Cla, 3,2*10⁴ mol Si e 7,0*10⁴ mol N. Os resultados indicaram que as concentrações dos nutrientes aumentaram em demasia com o passar dos anos no estuário e que a qualidade da água na enseada de Balneário Camboriú pode estar sendo afetada negativamente pelo aporte do estuário para a enseada.

Palavras-chave: Hidrodinâmica; Nutrientes; Estuário; Enseada.

Transport of nutrients, particulate organic carbon, and Chlorophyll-a in the estuary of Camboriú River, SC

Estuaries are the main entry routes for nutrients from continental drainage to the coastal environment, with high concentrations of nutrients. The present work will address the interrelation among hydrodynamics effects, nutrients concentration, particulate organic carbon (POC), and Chlorophyll-a (Cla) to determine the transport of chemical parameters during a tide cycle (25 hours) in Camboriú River estuary. In a field experiment were obtained: current velocity and direction, water level, salinity, temperature, and turbidity data; water samples from surface and bottom to determine nutrient concentrations, Cla and POC. The flood flow had a maximum value of 92.61 m³/s while the ebb flow had a maximum value of 76.19 m³/s. The salinity followed the current and served as an indicator of the system characteristics. The highest concentrations of chemical parameters were recorded at the lowest saline influence, with maximum values of 282.06 µM (NID), 7.77 µM (PO43-), 6.62 µM (Si), 17.10 µg/l (Cla) and 177.30 µM (COP) in the estuary. An export towards the ocean of COP, PO43-, Cla, Si and NID was observed with respective values of 4.9*10⁴ mol C, 3.2*10³ mol P, 2.9*10³ g Cla, 3.2*10⁴ mol Si and 7.0*10⁴ mol N. The results indicated that nutrient concentrations increased excessively over the years and the water quality in the bay of Balneário Camboriú may be negatively affected by the contribution from the estuary to the bay.

Keywords: Hydrodynamics; Nutrients; Estuary; Bay.


Topic: Oceanografia Física, Química, Geológica, Biológica

Received: 05/09/2022

Approved: 22/09/2022


Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Julia Abrão Teixeira 
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0797223269936111>
<http://orcid.org/0000-0003-3949-926X>
juliaabraoteixeira@hotmail.com

Mauro Michelena Andrade 
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5753432574791907>
<http://orcid.org/0000-0001-5613-0320>
michelena@univali.br

Jurandir Pereira Filho 
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1899580249545454>
<http://orcid.org/0000-0002-7166-458X>
jurandir@univali.br

Ricardo Utzig Nardi 
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9652276968641986>
<http://orcid.org/0000-0003-3873-7940>
ricardoutzig@edu.univali.br

Luis Hamilton Pospissil Garbossa 
Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5115757587602689>
<http://orcid.org/0000-0003-1544-0079>
luisgarbossa@epagri.sc.gov.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.009.0004

Referencing this:

TEIXEIRA, J. A.; ANDRADE, M. M.; PEREIRA FILHO, J.; NARDI, R. U.; GARBOSSA, L. H. P.. Transporte de nutrientes, carbono orgânico particulado e Clorofila-a no estuário do Rio Camboriú, SC. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.13, n.9, p.44-56, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.009.0004>

INTRODUÇÃO

Os estuários são sistemas de transição entre a bacia hidrográfica continental e o ambiente marinho e são de extrema relevância ecológica e econômica por apresentarem diversos serviços ecossistêmicos. Esses ambientes são as principais rotas de transporte de nutrientes provindos da drenagem continental para o ambiente costeiro. De forma geral, os estuários apresentam uma elevada concentração de nutrientes, a qual possui relação com o processo natural de intemperismo da crosta terrestre, mas também é influenciado pelas atividades antrópicas, as quais podem acarretar alta produtividade deste ecossistema ou até mesmo degradar a qualidade da água desses ambientes e das áreas oceânicas adjacentes (ESCHRIQUE, 2011).

Compreender a dinâmica do intercâmbio de substâncias entre o estuário e o oceano é de interesse fundamental para a pesquisa e gestão costeira (AGUIAR et al., 2019). A hidrodinâmica local causada pelos processos meteorológicos e oceanográficos e as características geomorfológicas do estuário controlam a intensidade dos processos bióticos e abióticos, determinando o balanço de massa dos nutrientes. Caso um estuário não possua capacidade para assimilar toda a carga de nutrientes, os excedentes serão exportados para a zona costeira (PEREIRA FILHO et al., 2016). A eficiência de assimilação pelo fitoplâncton é limitada principalmente pela penetração de luz nas águas em função da turbidez, fazendo com que estes nutrientes sejam muitas vezes assimilados na região das plumas estuarinas ou fluviais (MANN et al., 2013). A avaliação dos fluxos de nutrientes em estuários e ambientes costeiros tem sido utilizada em estudos de balanço de massa, com o intuito de estimar o metabolismo líquido do ambiente, isto é, se o ambiente apresenta um balanço hetero ou autotrófico (PEREIRA FILHO et al., 2016).

Taxas excepcionalmente altas de produção primária são historicamente associadas às águas costeiras e estuarinas em todo o mundo (BOYNTON et al., 1982; CLOERN et al., 2014). Vários fatores contribuem para a alta produtividade, no entanto o principal suprimento de nutrientes não depende exclusivamente das áreas continentais adjacentes, mas também, em alguns casos, de processos de ressurgência de águas oceânicas ricas em nutrientes e da deposição atmosférica direta de nitrogênio às águas superficiais estuarinas e costeiras. Além do aporte e disponibilidade de nutrientes, fatores adicionais, como turbidez da água, fluxos de marés, regime de estratificação, tempo de residência da água e outros são importantes para explicar a produtividade de um ambiente (BOYNTON et al., 2018). Desta forma, uma compreensão dos processos físicos que resulta na interação de massas de água de diferentes origens é um pré-requisito para o entendimento dos processos relacionados à produtividade primária e eutrofização costeira.

O município de Balneário Camboriú está localizado no litoral norte do estado de Santa Catarina, é um dos mais importantes balneários do sul do Brasil, apresenta uma população estimada de cerca de 142 mil habitantes (IBGE, 2019). Este município tem suas atividades e economia voltadas para o turismo de veraneio. Entre os meses de janeiro a dezembro de 2017 (último censo municipal), a cidade recebeu um total de 4,2 milhões de visitantes, sendo registrado no mês de janeiro em torno de 879 mil turistas. Isto ocasiona um aumento da entrada de nutrientes e matéria orgânica diretamente no estuário do rio Camboriú. Uma vez que, esta é a principal via de transporte para a enseada, a variação sazonal da qualidade da água na enseada

de Camboriú também é notável. Os piores valores são registrados no verão, principalmente no sul da enseada, região que sofre influência direta do estuário do rio Camboriú (KUROSHIMA et al., 2000, citado por PEREIRA FILHO et al., 2002). As elevadas concentrações de nutrientes são provenientes do aporte estuarino, já que este apresenta concentrações de nutrientes e COP (carbono orgânico particulado) muito maiores do que os registrados na enseada (PEREIRA FILHO et al., 2001). Desta forma, este estuário possui grande influência na distribuição de nutrientes na enseada, e por consequência na qualidade da água deste ambiente.

Em 1999 foram realizadas duas campanhas de medições de parâmetros físicos e químicos no estuário do rio Camboriú. Os resultados foram publicados em Pereira Filho et al. (2001 e 2002) e indicaram uma alta carga de nutrientes e uma circulação no estuário dependente das variações da maré astronômica. No período de 20 anos após a realização das campanhas, alguns estudos foram realizados, principalmente na enseada de Balneário Camboriú evidenciando o incremento dos nutrientes causados pelo aumento da população nos meses de verão (ABREU et al., 2003; PEZZUTO et al., 2006; OTTONELLI, 2014; RÖRIG et al., 2017). Devido a esse problema, as águas da enseada permanecem constantemente enriquecidas e favorecem processos de eutrofização, promovendo diversas modificações ambientais. A mais perceptível recentemente é a formação de Arribadas, que é caracterizada por um acúmulo expressivo de algas e briozoários na praia Central de Balneário Camboriú (RÖRIG et al., 2017). Este é um assunto muito pertinente encontrado em matérias de jornais e revistas visto a recorrência deste fenômeno, que por sua vez é indicativo do lançamento de efluentes domésticos e ineficiência de saneamento básico, gerando um impacto socioeconômico negativo para o município. Outros impactos ambientais verificados nesta região nestes 20 anos foram causados por obras de grande porte como: molhes, dragagens e aterros (PEZZUTO et al., 2006; 2007). Destacam-se impactos como: redução da abundância e diversidade de macrofauna bentônica; redução da produtividade biológica; proliferação de microalgas tóxicas; conflitos com a atividade pesqueira; possível contaminação das águas da enseada; modificação nos padrões de erosão e deposição do perfil praial (FATMA, 2014).

O rio Camboriú há décadas provê com seus recursos ecossistêmicos os municípios de Camboriú e Balneário Camboriú. Entretanto, os ambientes do estuário do rio Camboriú e da enseada de Balneário Camboriú, também há décadas são pressionados, o que gera uma degradação ambiental perceptível (PEREIRA FILHO et al., 2002). Tais pressões se referem desde as modificações na morfologia desses ambientes até ao lançamento de esgotos ou de resíduos do tratamento de efluentes destes municípios.

Entretanto, nenhum dos trabalhos recentes teve como objetivo relacionar os processos hidrodinâmicos com a degradação ambiental verificada no estuário e na enseada. Processos físicos, tais como: as variações do nível d'água gerados pelas marés astronômica e meteorológica ou a magnitude da velocidade das correntes, podem ser modificados por alterações na batimetria ou por alteração nas margens de canais estuarinos (EIDAM et al., 2020; YUAN et al., 2015). Uma vez que, estes processos físicos, responsáveis pelas trocas de sedimentos, nutrientes e substâncias químicas em geral, são alterados, uma nova capacidade do ambiente em assimilar as pressões antrópicas é gerada. Na maior parte dos casos, estes ambientes perdem suas capacidades ecossistêmicas e não conseguem mais prover os recursos a eles

relacionados. Considerando as características físicas, químicas e biológicas, a qualidade da água tem seu papel fundamental no entendimento de ciclos biogeoquímicos dos nutrientes e da avaliação das mudanças providas de impactos antrópicos, acarretando o desenvolvimento de processos de eutrofização, sequestro de carbono, mudanças climáticas globais, econômicas e sociais (ESCHRIQUE, 2011).

Assim, é de grande importância para a preservação ambiental e manutenção dos serviços ecossistêmicos, compreender os processos físicos atuantes responsáveis pelas trocas de substâncias entre o estuário do rio Camboriú e a enseada adjacente. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a relação da hidrodinâmica do estuário, a partir de dados de nível d'água, velocidade e direção da corrente, temperatura, salinidade e turbidez, com o transporte de nutrientes inorgânicos dissolvidos (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} e Si), Carbono Orgânico Particulado (COP) e Clorofila-*a* (Cl_a) para a zona costeira, durante dois ciclos completos de maré de sizígia, para assim avaliar a importância do estuário na condição ambiental da enseada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estuário do rio Camboriú está localizado no sul do Brasil no estado de Santa Catarina (Figura 1). Ele representa a parte final do rio Camboriú, que é um rio pouco sinuoso de ordem 5 e apresenta uma área de drenagem de aproximadamente 200 km² e 33,23 km de extensão, cortando os municípios de Balneário Camboriú e Camboriú. A vazão média do rio Camboriú é estimada entre 3 e 6 m³/s (PEREIRA FILHO et al., 2002). O clima nesta região é quente e temperado, a média de temperatura anual da bacia é de 19,5 °C, a temperatura mais alta registrada foi de 39,5°C enquanto a mais baixa foi de -2,6°C. A precipitação média anual da Bacia Hidrográfica do rio Camboriú é de 1600,4 mm (URBAN, 2008). A velocidade média do vento na região é de 4,4 km/h, com as maiores velocidades registradas em dezembro e menores em abril. A direção do vento predominante é de Sul-Sudoeste de fevereiro a setembro e Leste-Nordeste de outubro a janeiro (ARAÚJO et al., 2009).

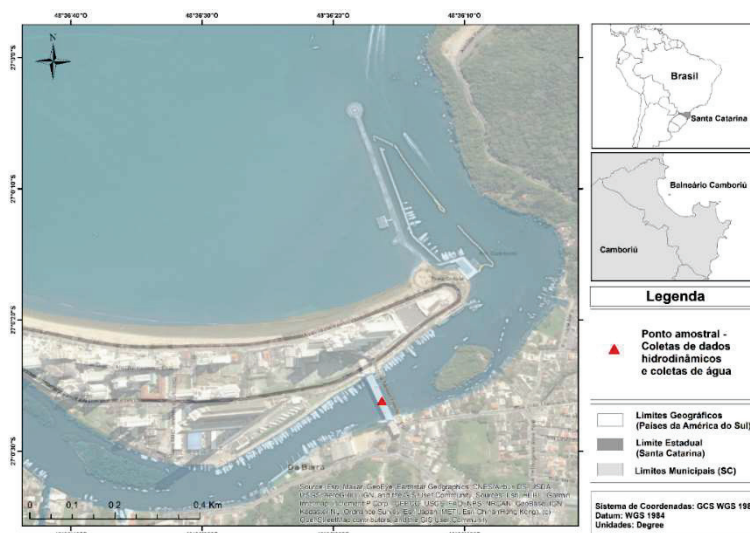


Figura 1: Localização da área de estudo com o ponto amostrado no estuário do Rio Camboriú.

Schettini et al. (1996) classificaram a maré local como micro maré, principalmente semi-diurna, com amplitude média de 0,8 m e valor máximo de 1,2 m. A influência meteorológica sobre o nível do mar também é importante, podendo elevá-la até cerca de 1 m acima do valor previsto para a maré astronômica. O estuário do rio Camboriú apresenta baixa profundidade e é classificado como do tipo parcialmente misturado, além disso, perto da sua desembocadura, possui um canal de aproximadamente 120 m de largura (PEREIRA FILHO et al., 2002).

Dados hidrodinâmicos

Os dados de nível d'água, velocidade e direção de correntes, temperatura, salinidade e turbidez da água foram coletados entre às 08:30 do dia 09 às 08:30 de 10 de março de 2020, totalizando 25 horas, ou seja, dois ciclos de maré de sizígia completo, em um ponto nas proximidades da passarela Estaiada da Barra do rio Camboriú (Figura 1). Para isso foi instalado na parte mais profunda do canal do estuário, um Perfilador Acústico de Correntes por Doppler (PACD, sigla em inglês ADCP) marca NORTEK, modelo Aquadopp® para medir a velocidade e direção das correntes na coluna d'água e nível d'água cada 10 min. No mesmo ponto, foram registrados perfis verticais com um CTD, marca JFE, para obter os dados de temperatura, salinidade e turbidez da água, a cada hora. Também foram registradas, a cada hora, as vazões líquidas com um Perfilador Acústico de Correntes por Doppler (PACD, sigla em inglês ADCP) marca SONTEK, modelo RiverSurveyor® M9, em uma seção transversal ao canal localizada no mesmo ponto. Estes dados hidrodinâmicos foram coletados com recursos do projeto Estuário do rio Camboriú 2030.

Tratamento dos dados físicos

O prisma de maré e o transporte total em um ciclo de maré foram calculados com os dados obtidos em campo. Para o prisma de maré (P), o cálculo corresponde ao volume de água do mar que entra no estuário durante a maré enchente, estando relacionado intimamente com a altura da maré (H), pois $P = H_o \cdot A$, onde A é a área superficial do estuário.

A taxa de transporte através da seção transversal (Q , mmol. d⁻¹ ou mg. d⁻¹) de cada parâmetro foi obtida a partir da soma do transporte em superfície (Q_s) e fundo (Q_f), segundo a expressão:

$$Q_s = \sum cs.us.Ai / 2$$

$$Q_f = \sum cf.uf.Ai / 2$$

$$Q = Q_s + Q_f$$

Onde: A_i é a área instantânea da seção transversal (m^2) no momento da amostragem, c é o parâmetro de concentração (mmol.m⁻³ ou mg.m⁻³) em superfície (cs) ou fundo (cf) no momento de cada amostragem. u é a velocidade de corrente (m.h⁻¹) em superfície (us) ou fundo (uf) utilizando o equipamento Aquadopp®. Por convenção, valores negativos representam correntes da região costeira para o estuário e valores positivos o inverso.

Os dados de vazão, foram registrados com um ADCP, marca SONTEK, modelo RiverSurveyor® M9. Esses dados foram utilizados para criar um entendimento sobre os processos de troca durante as 25 horas, entre o estuário do rio Camboriú e a enseada.

Os dados de temperatura, salinidade, turbidez, nível do mar, vazão e o cálculo do transporte de