



Costa, C. R., M.F. da Costa e M. Barletta. 2019. Análise integrada da qualidade da água na bacia e no complexo estuarino do Rio Goiana, Pernambuco, Brasil. *Revista Costas*, 1(1): 133-146. doi: 10.26359/costas.0107

# Análise Integrada da Qualidade da Água na Bacia e no Complexo Estuarino do Rio Goiana, Pernambuco, Brasil

Cibele Rodrigues Costa\*, Monica Ferreira da Costa e Mário Barletta

\*e-mail: cibeledrc@gmail.com

Laboratório de Ecologia e Gerenciamento de Ecossistemas Costeiros e Estuarinos, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

**Keywords:** Estuary, monitoring, abiotic parameters, coastal management.

## Abstract

Estuaries are very productive coastal environments and offer numerous services and resources both society and other ecosystems. They are sensitive environments and are subject to anthropic actions, of varied types and intensities, compromising the efficiency of the services provided. Monitoring these environments is an important tool to know its conditions at different time and space scales. In this study, abiotic parameters from two different databases, with different, but overlapping, sample designs were used to make an overall analysis of the water quality of a small estuary on the northeast coast of Brazil. The estuary of Goiana River was divided in four areas and studied along four years with two seasons each. It was observed that the water quality of the estuary presents conditions com-

---

Submitted: September 2018

Reviewed: November 2018

Accepted: February 2019

Associate Editor: Marinez Scherer

patible with its intended main uses, but already shows signs of alert for uses as wildlife conservation. In this way, monitoring the quality of estuarine environments, besides guaranteeing the maintenance of the provision of ecosystemic services, also aims at ensuring the success of environment conservation and its outcomes.

## Resumo

Os estuários são ambientes costeiros muito produtivos e oferecem inúmeros serviços e recursos tanto para a sociedade como para outros ecossistemas. São ambientes sensíveis e sujeitos a ações antrópicas, de variados tipos e intensidades, comprometendo a eficiência dos serviços prestados. Monitorar esses ambientes é uma ferramenta importante para conhecer suas condições em diferentes escalas de tempo e espaço. Neste estudo, parâmetros abióticos de duas bases de dados diferentes, com desenhos amostrais diferentes, mas sobrepostos, foram usados para fazer uma análise geral da qualidade da água de um pequeno estuário na costa nordeste do Brasil. O estuário do rio Goiana foi dividido em quatro áreas e estudou ao longo de quatro anos com duas estações cada. Observou-se que a qualidade da água do estuário apresenta condições compatíveis com os principais usos pretendidos, mas já apresenta sinais de alerta para usos como a conservação da vida silvestre. Desta forma, o monitoramento da qualidade dos ambientes estuarinos, além de garantir a manutenção da prestação de serviços ecossistêmicos, visa também garantir o sucesso da conservação ambiental e seus resultados.

**Palavras-chave:** estuário; monitoramento; parâmetros abióticos; gerenciamento costeiro.

## 1. Introdução

Os estuários são ambientes transicionais que oferecem inúmeras oportunidades de acesso a recursos e serviços essenciais para a sociedade, sendo por isso necessário encontrar um equilíbrio entre o uso humano e a sua conservação (Barletta *et al.*, 2019; Elliott *et al.*, 2007; Elliott e Quintino, 2007). Como são sistemas muito produtivos e dinâmicos, muitas vezes associados a centros urbanos extensos e infraestruturas vitais (Harrison, 2004; Kennish, 1991), é necessário avaliar os processos e recursos ecológicos em termos de bens e serviços que eles fornecem para diversos ramos da ciência e da sociedade, principalmente para os gestores responsáveis por garantir a sustentabilidade no uso de ecossistemas costeiros, especialmente os estuários por sua grande vulnerabilidade à ações humanas (Statham, 2012; Uriarte e Villate, 2004).

As ações antrópicas nos ambientes estuarinos são motivos de preocupação para os gestores de recursos responsáveis pela manutenção ou melhoria da qualidade da água (Barletta *et al.*, 2019; Li *et al.*, 2015; Reed *et*

*al.*, 2016; Statham, 2012), devido a diferentes formas de prejuízos chegam nas águas costeiras, como escoamento da bacia hidrográfica, deposição atmosférica, águas residuais e efluentes (Statham, 2012). Identificar, quantificar e gerir o componente antropogênico é um grande desafio. Em muitas regiões, programas de monitoramento da qualidade da água fornecem conjuntos de dados para a avaliação quantitativa e boletins de avaliação que sintetizam os resultados (Hallett *et al.*, 2016a, 2016b, 2016c).

O monitoramento contínuo é uma importante e complexa ferramenta para a detecção de fenômenos cíclicos, que são observados apenas em grandes escalas temporais (Karydis e Kitsiou, 2013; Renjith *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2013). Exige uma verificação frequente e detalhada dos dados, além de esforços de interpretação (Karydis e Kitsiou, 2013).

Mundialmente, há diversos problemas relacionados à falta de padronização de informações sobre coletas, análises laboratoriais e interpretação de dados em es-

calas espaciais e temporais, o que torna os resultados existentes, muitas vezes, insuficientes e sua interpretação de difícil transposição entre regiões distintas (Karydis e Kitsiou, 2013; Lavery *et al.*, 1993; Hallet, 2016a). No Brasil, a compartimentalização da gestão das bacias entre bacia hidrográfica e estuário/águas costeiras, agrava esta realidade (CPRH, 2015). Esse fato, soma-se à pouca divulgação das informações para a população e os tomadores de decisão na maioria das Unidades da Federação. Esse conjunto gera dificuldades para a análise efetiva da evolução da qualidade das águas e elaboração de diagnósticos regionais e nacio-

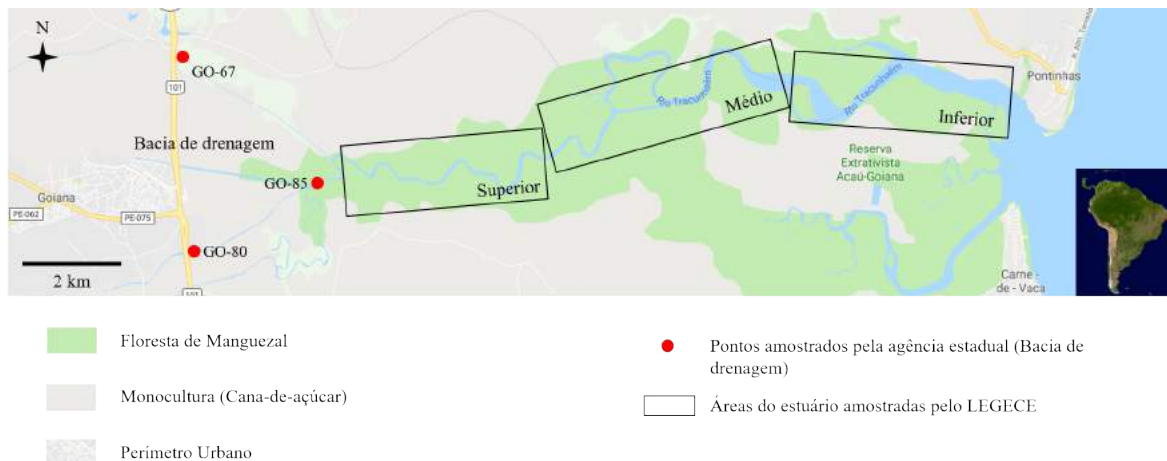
nal (CPRH, 2015; CPRM, 2005). O objetivo deste trabalho foi integrar em uma única análise numérica, a interpretação de dados provenientes de dois bancos de dados distintos, estimando assim a potencialidade desse tipo de iniciativa na detecção e interpretação das mudanças interanuais e sazonais da qualidade da água em parte da bacia e no estuário do Rio Goiana, estendendo e ampliando assim o alcance de diferentes estratégias amostrais. Dessa forma, todas as informações disponíveis são potencializadas ao serem conjugadas em uma única estratégia de avaliação da qualidade da água.

## 2. Metodologia

### Área de estudo

O Rio Goiana ( $7^{\circ}30'S - 34^{\circ}47'W$ ) (figura 1), situado na costa leste brasileira, entre os estados de Paraíba e Pernambuco, tem uma área de drenagem de  $2.878,30\text{km}^2$  (CPRH, 2015; Dantas *et al.*, 2010). Seus principais tributários são o Rio Capibaribe Mirim e Rio Tracunhaém (CPRH, 2015). As principais ativi-

dades desenvolvidas ao longo da Bacia do Rio Goiana são: a indústria da cana-de-açúcar, policulturas, pecuária, as atividades industriais, ocupação urbana, abastecimento, irrigação e recepção de efluentes (domésticos, industriais, agroindustriais e agropecuários) (Costa *et al.*, 2018, 2017; CPRH, 2015).



**Figura 1.** Exibição dos três pontos de coleta da CPRH (Estações GO-67, GO-80 e GO-85) e a divisão do canal principal do estuário nas áreas superior (1), média (2) e inferior (3) do Rio Goiana. Fonte: Google maps, adaptado.

O estuário do Rio Goiana é composto por uma combinação de ambientes, como córregos, canais de marés, ilhas, zonas úmidas e vegetação de manguezal, por este motivo, abrigando uma fauna diversa (peixes, moluscos, crustáceos) (Costa *et al.*, 2009; Dantas *et al.*, 2010; Lima *et al.*, 2014). Segundo a metodologia desenvolvida por Kjerfve (1990), o estuário foi seccionado em três compartimentos – superior, médio e inferior – considerando características geológicas, morfológicas e ecológicas. Cada seção estuarina é um habitat de ecossistema, com comportamentos diferentes e organismos associados (gradiente ecológico) (Attrill e Rundle, 2002; Barletta e Dantas, 2016).

### Aquisição de dados

Os dados utilizados foram coletados durante quatro anos (2006-2009) na região imediatamente a montante e no canal principal do estuário do Rio Goiana em duas estações do ano distintas: estação seca, compreendendo amostras tomadas de setembro a fevereiro, e estação chuvosa, compreendendo amostragens de março a agosto. Foram compilados dados coletados pela Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH ([www.cprh.pe.gov.br](http://www.cprh.pe.gov.br)) (pontos imediatamente a montante do estuário) e pelo Laboratório de Ecologia e Gerenciamento de Ecossistemas Costeiros e Estuarinos – LEGECE (amostragens nos três habitats do canal principal do estuário). Foram considerados então quatro áreas ou habitats estuarinos: bacia de drenagem (CPRH) e as áreas superior, média e inferior (LEGECE) até os limites da região costeira adjacente.

As amostragens e análises realizadas pela CPRH foram bimensais, distribuídas nos 6 meses de cada estação ( $2 \leq N \leq 9$ ). Já as coletas realizadas pelo LEGECE foram realizadas nos três últimos meses de cada estação ( $N = 36$ ).

Os parâmetros avaliados (4) foram aqueles que existiam em comum entre os programas amostrais: tem-

peratura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidade, oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e saturação de oxigênio (%). A precipitação total mensal (mm) foi compilada a partir da base de dados pública ([www.apac.gov.pe.br](http://www.apac.gov.pe.br)), coletada a partir de uma estação meteorológica situada a 10km da cidade de Goiana. As observações foram homogeneizadas em médias ( $N = 64$ ), devido à diferença no número de amostras nos bancos de dados utilizados ( $2 \leq N \leq 36$ ), permitindo assim a observação, comparação e interpretação dos resultados. As médias foram feitas entre amostras da mesma condição espaço-temporal (ano, área e estação).

### Análises estatísticas

As médias obtidas ( $N = 64$ ) foram processadas em uma matriz ortogonal para análise usando o software Statistica 7.0. O teste de Cochran foi usado para verificar a homogeneidade de variâncias. Os dados foram transformados (Box-Cox) para garantir conformação a uma distribuição normal.

Foi realizada uma análise de variância (MANOVA), para determinar se ocorreram diferenças significativas nas variáveis (temperatura da água, salinidade, oxigênio dissolvido e saturação de oxigênio) nos anos (2006, 2007, 2008 e 2009), nas áreas (estuário superior, médio e inferior) e estações (seca e chuvosa). Quando a MANOVA mostrou diferença significativa, foi utilizado um teste *a posteriori* de Bonferroni para determinar quais médias foram significativamente diferentes no nível de significância de 95% ( $p < 0,05$ ).

A análise de cluster foi realizada utilizando o método *Complete linkage*, com distância euclidiana, e a análise dos componentes principais (PCA) foi feita utilizando um intervalo de confiança de 95%, para todas as variáveis. Clarke e Warwick (2001) sugeriram que uma PCA que explica 70% ou mais das variações iniciais em um conjunto de dados é uma interpretação razoável do fenômeno, ou estrutura global de interações.

### 3. Resultados e Discussão

A precipitação total mensal ( $p < 0,01$ ) apresentou média global de  $184,9 \pm 89,3$ mm. A menor média registrada foi referente ao ano de 2006 na estação seca, com 33,9mm. Já a maior média registrada foi de 296,6mm no ano de 2009 na estação chuvosa (figura 2).

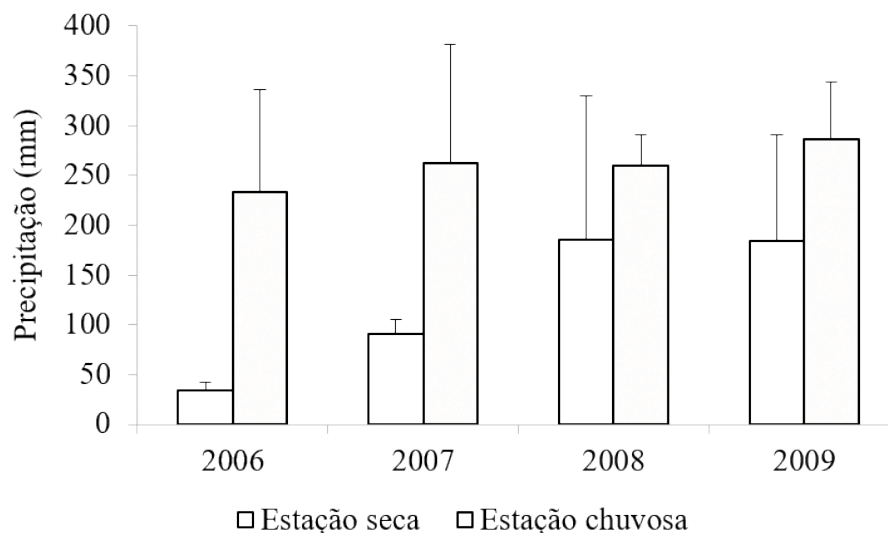
A média da temperatura da água ( $p < 0,01$ ) se manteve entre  $25,3^{\circ}\text{C}$  a  $31,4^{\circ}\text{C}$ , apresentando valores com pequena variação entre os anos e áreas na estação seca e maior variação na estação chuvosa, quando consideradas todas as áreas. A cabeceira do estuário apresentou características semelhantes de temperatura durante todo o ano, com exceção da média obtida na estação chuvosa do ano de 2009 (figura 3). Os fatores ano e área não foram significativamente diferentes, apenas o fator estação. A interação mais importante ocorrida envolve os três fatores (ano, área e estação) (tabela 1).

A temperatura da água foi fortemente marcada pela sazonalidade, característico de ambientes tropicais (Barletta e Costa, 2009), com exceção da bacia de drenagem, onde a temperatura apresentou maiores varia-

ções com a mudança de estação do ano, devido a maior influência da precipitação em seu menor volume de água.

As médias de salinidade ( $p < 0,01$ ) variaram entre 0 e 30,6. Na estação seca, cada área apresentou características próprias em relação à salinidade, mostrando o gradiente ambiental do estuário. A bacia de drenagem e as áreas superior e média apresentaram um caráter muito similar entre si no período chuvoso, enquanto a salinidade da área inferior, mesmo tendo sido reduzida, ainda se mostrou maior que as demais (figura 4 e tabela 1). A interação mais importante foi entre área e estação (tabela 1).

A salinidade definiu claramente o gradiente estuarino (Attrill e Rundle, 2002; Barletta e Dantas, 2016), sobretudo na estação seca. A temperatura da água e a salinidade são importantes variáveis abióticas, que desempenham um papel fundamental no estabelecimento de gradientes ambientais, ou ecoclinas, em ambientes aquáticos (Attrill e Rundle, 2002; Barletta



**Figura 2.** Variação das médias ( $\pm$  desvpad) de precipitação total mensal (mm) entre os anos de 2006 a 2009 provenientes da Estação 28: Goiana (Itapirema - IPA).

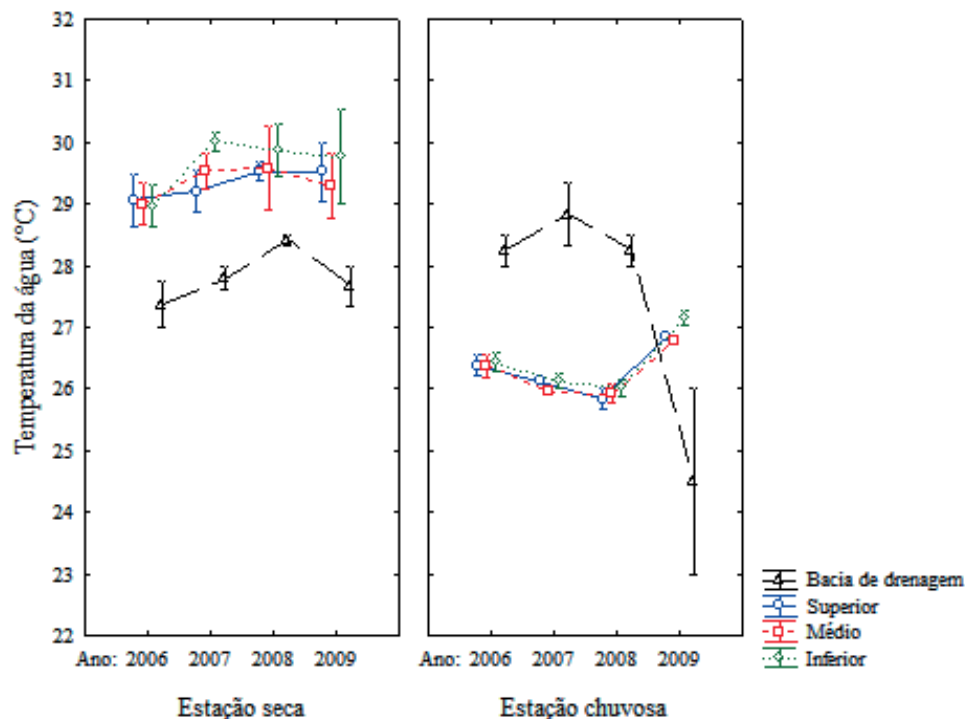


Figura 3. Variação da média da temperatura da água (°C) no estuário do Rio Goiana no período de 2006 a 2009.

e Dantas, 2016; Harrison e Whitfield, 2006; Nejrup e Pedersen, 2008).

Mudanças nestes parâmetros (temperatura e salinidade) podem comprometer a qualidade ambiental e os limites entre diferentes habitats ao longo do tempo, podendo alterar áreas de alta importância ecológica, consideradas berçários ou de alimentação, crescimento e reprodução para diversos organismos. Áreas que apresentam relativa estabilidade destes parâmetros, como a bacia de drenagem e área superior do estuário, são propícias para diversas espécies animais (Barletta *et al.*, 2005; Blaber, 2013), apesar do reduzido volume de água e vulnerabilidade a interferências antrópicas.

O teor de oxigênio dissolvido ( $p < 0,01$ ) teve suas médias variando entre  $3,1 \text{ mg L}^{-1}$  e  $7,2 \text{ mg L}^{-1}$  no período estudado, com as áreas mais a montante mais semelhantes e médias mais altas concentradas na porção

inferior do estuário (figura 5). Entre as estações, não houveram diferenças (tabela 1).

A saturação do oxigênio ( $p < 0,01$ ) apresentou médias entre 40,2% e 91,9% e seguiu a mesma tendência das médias apresentadas pelo teor de oxigênio dissolvido (figura 6). Para esta variável, o ano de 2009 e a área inferior do estuário, tiveram comportamento distinto, enquanto não houve diferenças entre as estações (tabela 1).

O oxigênio dissolvido e o percentual de saturação de oxigênio apresentaram comportamentos semelhantes, porém sem um padrão definido. As maiores concentrações de oxigênio foram encontradas na região inferior do estuário, que sofrem maior influência direta de águas marinhas, mais turbulentas e oxigenadas (Costa *et al.*, 2018, 2017; Zhang *et al.*, 2010). Os níveis de oxigênio dissolvido recomendados para a conservação

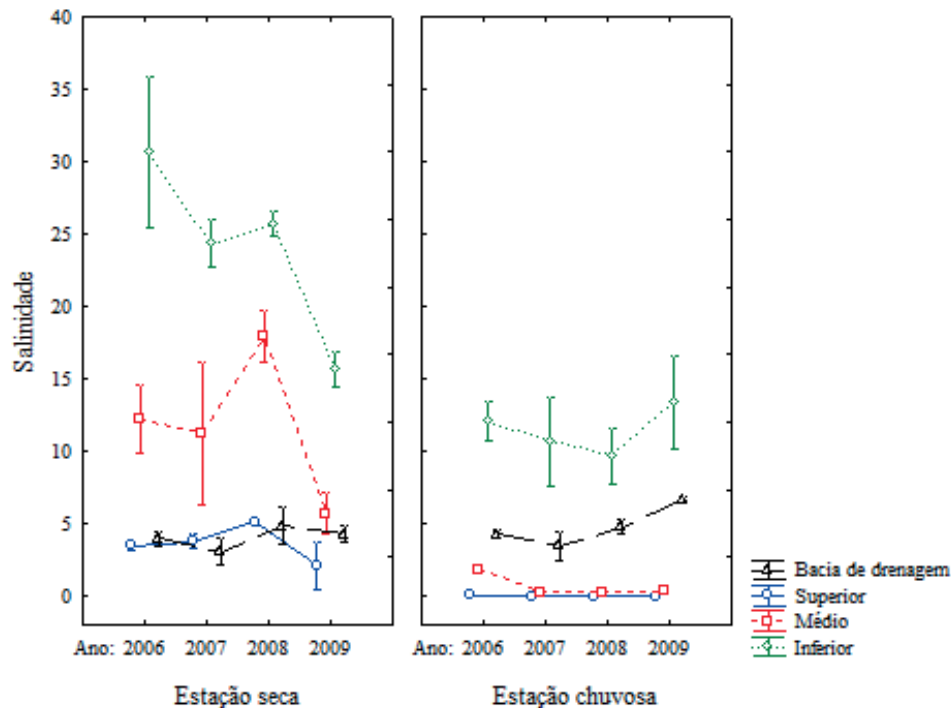


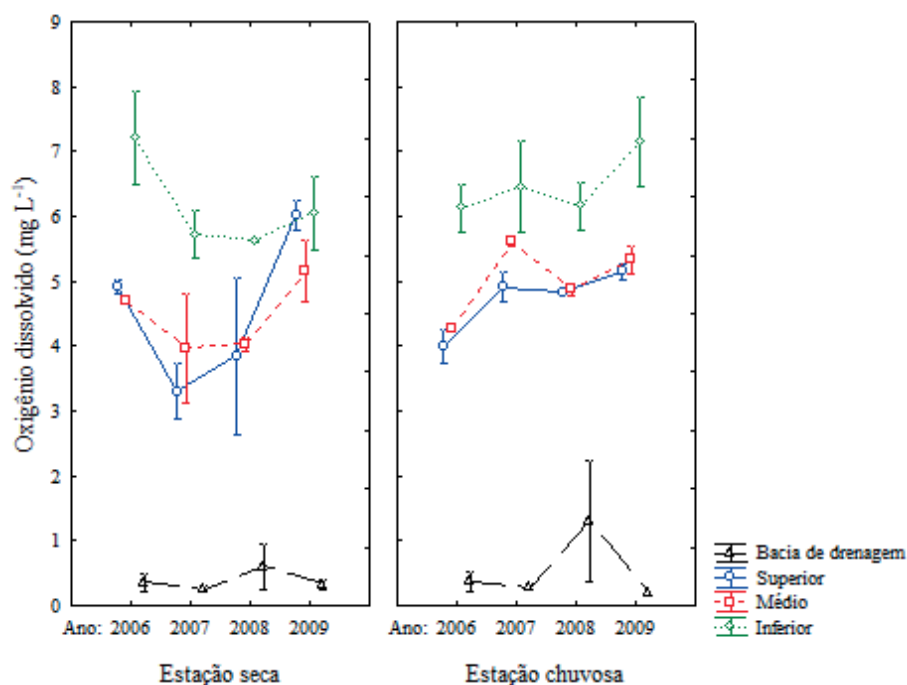
Figura 4. Variação da salinidade no estuário do Rio Goiana no período de 2006 a 2009.

aquática estão entre 4 e 5 mg L<sup>-1</sup> (Osode e Okoh, 2009; Pearce e Schumann, 2001), mostrando que mesmo sob forte influência antrópica (efluentes domésticos, industriais e agrícolas) (Costa *et al.*, 2018), o estuário ainda mantém a sua capacidade de autodepuração, desde que haja chuvas sazonais de boa intensidade. A falta de chuvas na época e quantidades esperadas pode comprometer o pulso de vazão e autodepuração do estuário, dificultando a manutenção da qualidade da água e o ciclo de vida de alguns recursos vivos importantes (Costa *et al.*, 2018). A entrada de água doce promoveu o aumento do oxigênio disponível, bem como a diluição e transporte de efluentes e poluentes (Brooks *et al.*, 2006; Osode e Okoh, 2009), aumentando a qualidade e quantidade da água disponível neste ambiente.

Na análise de cluster (Figura 7), as observações agruparam-se em 2 grupos, I e II. O Grupo I foi subdividido

em dois subgrupos. O subgrupo IA reuniu as médias dos anos de 2008 e 2009, durante a estação seca, nas áreas superior e média do estuário. O subgrupo IB reuniu as observações da estação chuvosa, de todos os anos e áreas. Já o grupo II reuniu as médias das estações secas dos anos de 2006 e 2007 e as estações secas de todos os anos na bacia de drenagem.

Na análise de cluster, o fator com maior impacto na formação dos grupos foi a precipitação total mensal. O grupo II contém a principal fonte de variação de dados (observações 131) e agrupou as observações do período mais seco (estações secas dos anos 2006 e 2007). O grupo I reuniu as observações de uma estação seca pouco severa e todas as observações das estações chuvosas. Isso demonstra que a qualidade da água do estuário está diretamente relacionada ao volume de chuvas, mas também vale a pena ressaltar que barramentos e



**Figura 5.** Variação do oxigênio dissolvido ( $\text{mg L}^{-1}$ ) no estuário do Rio Goiana no período de 2006 a 2009.

subtração de água para abastecimento humano podem ter efeitos semelhantes a uma seca severa e permanente (Barletta e Costa, 2009; Costa *et al.*, 2018, 2017).

Em 2006 e 2007 as estações foram bem definidas, conforme esperadas para a região. Já os anos de 2008 e 2009 apresentaram as chuvas ao longo de todo ano mais homogêneas distribuídas e em maior quantidade. Devido a isso, mesmo na estação seca, o estuário apresentou comportamento semelhante ao apresentado nas épocas de chuvas dos anos estudados. A mudança na qualidade da água resultante da mudança na quantidade de chuvas foi notada graças ao monitoramento realizado pela agência estadual e laboratório envolvidos.

Analisando-se os componentes principais (PC1 e PC2), são explicados 76,58% da variação dos dados,

satisfatório para explicar as inter-relações entre as variáveis PC1 explicou 42,14% da variância e PC2 explicou 34,44% (Figura 8).

PC1 (42,14%) representou o gradiente estuarino do alto ao baixo estuário, sendo o oxigênio e a saturação as principais variáveis formadoras. A salinidade também contribuiu no estabelecimento desse gradiente estuarino. Estes parâmetros tendem a aumentar de valor em águas com maior influência marinha, característica marcante da área do baixo estuário (Dantas *et al.*, 2010; Jutagate *et al.*, 2010; Karydis e Kitsiou, 2013). PC2 (34,44%) representou a sazonalidade, sendo a precipitação sua principal variável de formação. A temperatura da água também apareceu como um grande contribuinte para a formação desse eixo, inversamente proporcional a quantidade de chuvas, onde a diferença



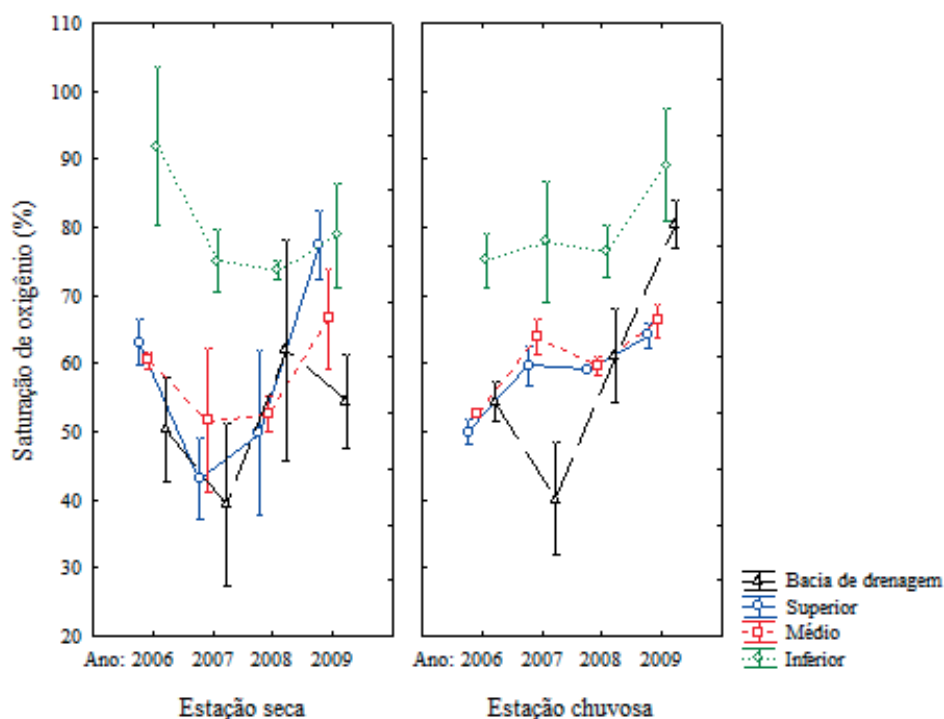


Figura 6. Variação da saturação de oxigênio (%) no estuário do Rio Goiana no período de 2006 a 2009.

sazonal foi bem marcada, principalmente devido à localização do estuário (Blaber, 2002; Costa *et al.*, 2009; Harrison, 2004; Harrison e Whitfield, 2006).

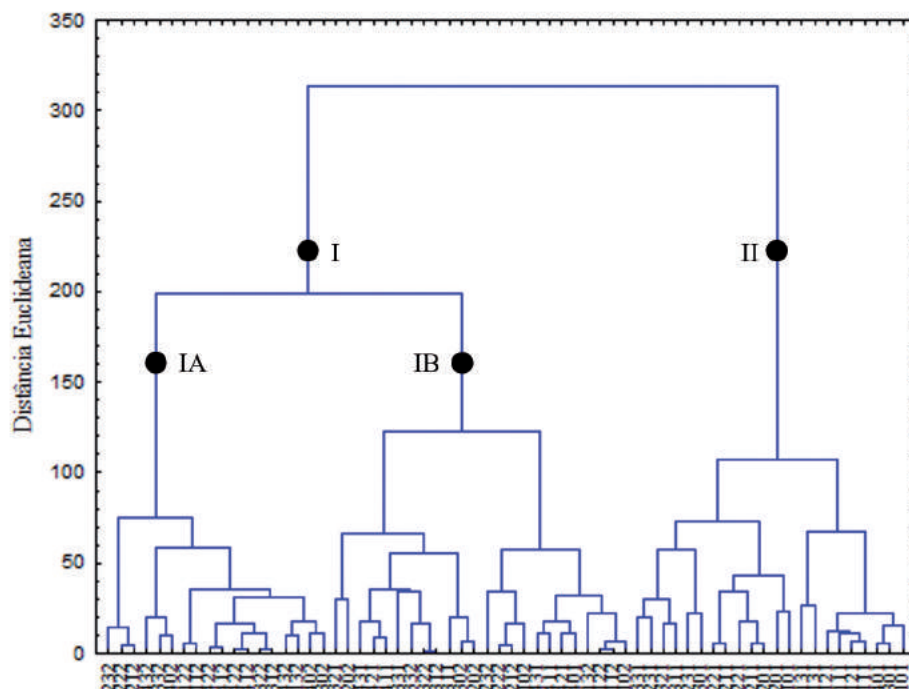
No gráfico de scores foram identificados dois grupos: o grupo X que reuniu as médias na área inferior nas duas estações, enquanto o grupo Z reuniu as médias da bacia de drenagem e áreas superior e média também nas duas estações. Na parte superior do gráfico encontram-se todas as médias da estação chuvosa e na parte inferior, todas as médias obtidas na estação seca (Figura 9).

A distribuição das observações ao longo do gráfico de scores também confirma a influência preponderante da sazonalidade e do gradiente estuarino sobre a qualidade da água.

No gráfico de scores é possível observar que a bacia de drenagem e a área superior apresentam maior esta-

bilidade ao longo do ano, sendo áreas com um grande número de serviços ecológicos requerem proteção e condições osmóticas específicas (alimentação, crescimento, reprodução, fuga do predador), conforme citado por vários autores (Barletta *et al.*, 2008, 2005, Blaber, 2002, 2013; Cabral *et al.*, 2012; Ceesay *et al.*, 2016; Dantas *et al.*, 2010; Franco *et al.*, 2008; Jutagate *et al.*, 2010; Lima *et al.*, 2014; Lucena-Moya e Duggan, 2017; Reis-Filho e Santos, 2014).

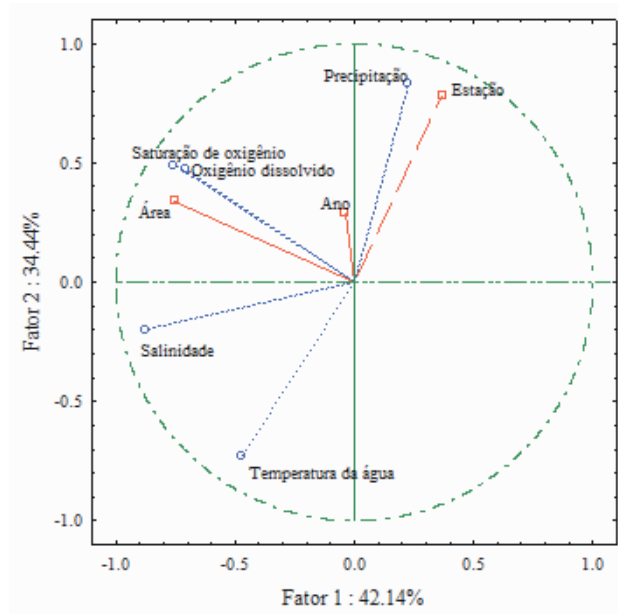
A área inferior do estuário, independente da época do ano, é altamente influenciada pelas águas marinhas (grupo X). A estação chuvosa é um fator de homogeneização de grande parte do estuário (grupo Z), e pode fazer com que algumas variáveis (ex. salinidade) variem profundamente mesmo em habitats como o baixo estuário. Esse habitat não deixa de existir, mas se desloca para a área costeira adjacente, outra região que precisa



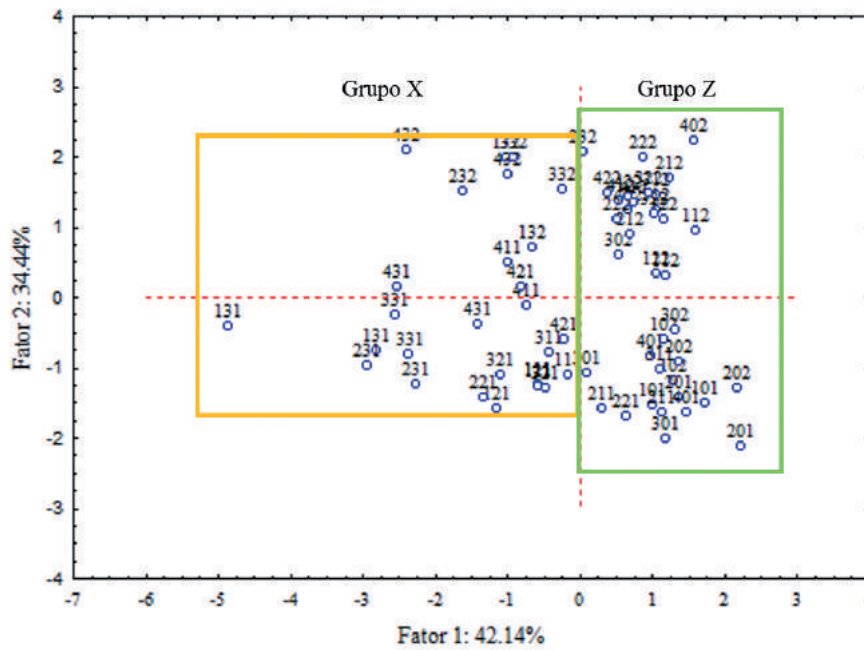
**Figura 7.** Agrupamento de médias dos parâmetros de qualidade da água no estuário do Rio Goiana utilizando a distância euclidiana. Legenda para amostras: o primeiro numeral representa o ano (1 - 2006, 2 - 2007, 3 - 2008, 4 - 2009); o segundo numeral representa a porção estuarina (0 - bacia de drenagem, 1 - superior, 2 - média, 3 - inferior) e o terceiro numeral representa a estação (1 - seca, 2 - chuvosa). Ex. 132 são as amostras coletadas no ano de 2006, no baixo estuário, na estação chuvosa.

ser acompanhada para ser integrada a análises como estas. Estas flutuações no estuário definem o uso do ambiente feito pela biota e consequentemente o acesso humano aos recursos naturais e serviços ecossistêmicos. Espécies que utilizam como berçário e para proteção áreas com menores salinidades podem desfrutar

de espaços maiores durante a estação chuvosa; em contrapartida, as espécies marinhas entram no estuário e utilizam áreas maiores principalmente para alimentação, proteção e reprodução durante a estação seca (Barletta *et al.*, 2005; Blaber, 2002, 2013, 2007; Dantas *et al.*, 2010; Lima *et al.*, 2014).



**Figura 8.** Gráfico de pesos (PCA) mostrando a contribuição das variáveis ambientais para os padrões de qualidade da água no estuário do Rio Goiana de 2006 a 2009.



**Figura 9.** Gráfico de scores (PCA) mostrando a contribuição das variáveis ambientais para os padrões de qualidade da água no estuário do Rio Goiana de 2006 a 2009. Legenda para amostras: o primeiro numeral representa o ano (1 - 2006, 2 - 2007, 3 - 2008, 4 - 2009); o segundo numeral representa a porção estuarina (0 - bacia de drenagem, 1 - superior, 2 - médio, 3 - inferior) e o terceiro numeral representa a estação (1 - seca, 2 - chuvosa). Ex. 132 são as amostras coletadas no ano de 2006, no baixo estuário, na estação chuvosa.

#### 4. Considerações Finais

O acoplamento de dados foi realizado com sucesso, dando margem a novas possibilidades, como a adição de ambientes adjacentes (Lacerda, 2014; Lacerda et al., 2014), aumentando a extensão espacial e temporal da abrangência de estudo do ponto de vista da qualidade da água, o estuário do Rio Goiana ainda apresenta condições compatíveis com os seus principais usos pretendidos, apesar de já demonstrar sinais de alerta devido à intensificação dos usos e limitações no fluxo do rio.

Este trabalho vence uma inércia secular de uso de dados públicos, que ao longo do tempo, não tem tido

seu potencial aproveitado e nem contribuído para a melhora da qualidade de água do estado de Pernambuco. Um grande volume de dados proveniente de monitoramentos é produzido todos os anos. Dar um novo olhar sobre o conjunto de dados, além de ser mais um retorno ao investimento financeiro que é feito na manutenção dos programas de monitoramento, também fornece informações de suma importância a respeito da situação ambiental ao longo dos anos.

#### 5. Referências

- Attrill, M.J., Rundle, S.D., 2002. Ecotone or Ecocline: Ecological Boundaries in Estuaries. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 55: 929–936. doi:10.1006/ecss.2002.1036
- Barletta, M., Amaral, C.S., Corrêa, M.F.M., Guebert, F., Dantas, D.V., Lorenzi, L., Saint-Paul, U., 2008. Factors affecting seasonal variations in demersal fish assemblages at an ecocline in a tropical-subtropical estuary. *J. Fish Biol.*, 73: 1314–1336. doi:10.1111/j.1095-8649.2008.02005.x
- Barletta, M., Barletta-Bergan, A., Saint-Paul, U., Hubold, G., 2005. The role of salinity in structuring the fish assemblages in a tropical estuary. *J. Fish Biol.*, 66: 45-72. doi:10.1111/j.1095-8649.2004.00582.x
- Barletta, M., Costa, M.F., 2009. Living and Non-living Resources Exploitation in a Tropical Semi-arid Estuary. *J. Coast. Res.*, 371–375.
- Barletta, M., Dantas, D.V., 2016. Environmental Gradients, in: Kennish, M.J. (Ed.), *Encyclopedia of Estuaries*. Springer Netherlands, p. 760.
- Barletta, M., Lima, A.R.A., Costa, M.F., 2019. Distribution, sources and consequences of nutrients, persistent organic pollutants, metals and microplastics in South American estuaries. *Sci. Tot. Environ.*, 651:1199-1218. doi:10.1016/scitotenv.2018.09.276.
- Blaber, S., 2002. “Fish in hot water?”: the challenges facing fish and fisheries research in tropical estuaries. *J. Fish Biol.* 61: 1–20. doi:10.1006/jfbi.2002.2063
- Blaber, S.J.M., 2013. Fishes and fisheries in tropical estuaries: The last 10 years. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 135: 57–65. doi:10.1016/j.ecss.2012.11.002
- Blaber, S.J.M., 2007. Mangroves and fishes: issues of diversity, dependence, and dogma. *Bull. Mar. Sci.*, 80: 457–472.
- Brooks, B.W., Riley, T.M., Taylor, R.D., 2006. Water Quality of Effluent-dominated Ecosystems: Ecotoxicological, Hydrological, and Management Considerations. *Hydrobiologia* 556: 365–379. doi:10.1007/s10750-004-0189-7
- Cabral, H.N., Fonseca, V.F., Gamito, R., Gonçalves, C.I., Costa, J.L., Erzini, K., Gonçalves, J., Martins, J., Leite, L., Andrade, J.P., Ramos, S., Bordalo, A., Amorim, E., Neto, J.M., Marques, J.C., Rebelo, J.E., Silva, C., Castro, N., Almeida, P.R., Domingos, I., Gordo, L.S., Costa, M.J., 2012. Ecological quality assessment of transitional waters based on fish assemblages in Portuguese estuaries: The Estuarine Fish Assessment Index (EFAI). *Ecol. Indic.* 19, 144–153. doi:10.1016/j.ecolind.2011.08.005
- Ceesay, A., Wolff, M., Koné, T., Njie, E., Birkicht, M., 2016. Seasonal changes in water quality and fisheries of Tanbi Wetland National Park. *Reg. Stud. Mar. Sci.* doi:10.1016/j.rsma.2016.04.006

- Clarke, K.R., Warwick, R.M., 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis an interpretation, 2nd ed. Primer-E.
- Costa, C.R., Costa, M.F., Barletta, M., Alves, L.H.B., 2017. Interannual water quality changes at the head of a tropical estuary. *Environ. Monit. Assess.* 189: 628. doi:10.1007/s10661-017-6343-2
- Costa, C.R., Ferreira, M.F., Dantas, D.V., Barletta, M., 2018. Interannual and seasonal variations in estuarine water quality. *Front. Mar. Sci.*, 5. doi:10.3389/fmars.2018.00301
- Costa, M.F., Barbosa, S.C.T., Barletta, M., Dantas, D.V., Kehrig, H.A., Seixas, T.G., Malm, O., 2009. Seasonal differences in mercury accumulation in *Trichiurus lepturus* (Cutlassfish) in relation to length and weight in a Northeast Brazilian estuary. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 16: 423–430. doi:10.1007/s11356-009-0120-x
- CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2015. Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco - 2014.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2005. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Goiana, estado de Pernambuco. CPRM/PRODEEM.
- Dantas, D.V., Barletta, M., Costa, M.F., Barbosa-Cintra, S.C.T., Possatto, F.E., Ramos, J.A., Lima, A.R.A., Saint-Paul, U., 2010. Movement patterns of catfishes (Ariidae) in a tropical semi-arid estuary. *J. Fish Biol.*, 76: 2540-2557. doi:10.1111/j.1095-8649.2010.02646.x
- Elliott, M., Quintino, V., 2007. The Estuarine Quality Paradigm, Environmental Homeostasis and the difficulty of detecting anthropogenic stress in naturally stressed areas. *Mar. Pollut. Bull.*, 54: 640–645. doi:10.1016/j.marpolbul.2007.02.003
- Elliott, M., Whitfield, A.K., Potter, I.C., Blaber, S.J.M., Cyrus, D.P., Nordlie, F.G., Harrison, T.D., 2007. The guild approach to categorizing estuarine fish assemblages: a global review. *Fish Fish.* 8: 241–268. doi:10.1111/j.1467-2679.2007.00253.x
- Franco, A., Elliott, M., Franzoi, P., Torricelli, P., 2008. Life strategies of fishes in European estuaries: the functional guild approach. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 354: 219–228. doi:10.3354/meps07203
- Hallett, C.S., Valesini, F., Elliott, M., 2016a. A review of Australian approaches for monitoring, assessing and reporting estuarine condition: III. Evaluation against international best practice and recommendations for the future. *Environ. Sci. Policy*, 66: 282–291. doi:10.1016/j.envsci.2016.07.015
- Hallett, C.S., Valesini, F., Elliott, M., 2016b. A review of Australian approaches for monitoring, assessing and reporting estuarine condition: I. International context and evaluation criteria. *Environ. Sci. Policy* 66: 260–269. doi:10.1016/j.envsci.2016.07.014
- Hallett, C.S., Valesini, F., Scanes, P., Crawford, C., Gillanders, B.M., Pope, A., Udy, J., Fortune, J., Townsend, S., Barton, J., Ye, Q., Ross, D.J., Martin, K., Glasby, T., Maxwell, P., 2016c. A review of Australian approaches for monitoring, assessing and reporting estuarine condition: II. State and Territory programs. *Environ. Sci. Policy* 66: 270–281. doi:10.1016/j.envsci.2016.07.013
- Harrison, T.D., 2004. Physico-chemical characteristics of South African estuaries in relation to the zoogeography of the region. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 61: 73–87. doi:10.1016/j.ecss.2004.04.005
- Harrison, T.D., Whitfield, A.K., 2006. Temperature and salinity as primary determinants influencing the biogeography of fishes in South African estuaries. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 66: 335–345. doi:10.1016/j.ecss.2005.09.010
- Jutagate, T., Sawusdee, A., Thapanand-Chaidee, T., Lek, S., Grenouillet, G., Thongkhua, S., Chotipuntu, P., 2010. Effects of an anti-salt intrusion dam on tropical fish assemblages. *Mar. Freshw. Res.*, 61: 288. doi:10.1071/MF08296
- Karydis, M., Kitsiou, D., 2013. Marine water quality monitoring: A review. *Mar. Pollut. Bull.*, 77: 23–36. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.09.012
- Kennish, M.J., 1991. Ecology of Estuaries: Anthropogenic Effects. CRC Press.
- Kjerfve, B., 1990. Manual For Investigation of Hydrological Processes in Mangrove Ecosystems.
- Lacerda, C.H.F., 2014. A Importância das praias para o desenvolvimento inicial de assembleias de peixes e macrocrustáceos: variação espaço-temporal da ictiofauna em praias adjacentes a um estuário tropical (Resex Acaú-Goiana PE/PB, Brasil).
- Lacerda, C.H.F., Barletta, M., Dantas, D.V., 2014. Temporal patterns in the intertidal faunal community at the mouth of a tropical estuary. *J. Fish Biol.*, 85: 1571–1602. doi:10.1111/jfb.12518
- Lavery, P., Pattiaratchi, C., Wyllie, A., Hick, P., 1993. Water Quality Monitoring in Estuarine Waters Using the

- Landsat Thematic Mapper. *Remote Sens. Environ.*, 46: 268–280.
- Li, H.-M., Zhang, C.-S., Han, X.-R., Shi, X.-Y., 2015. Changes in concentrations of oxygen, dissolved nitrogen, phosphate, and silicate in the southern Yellow Sea, 1980–2012: Sources and seaward gradients. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 163: 44–55. doi:10.1016/j.ecss.2014.12.013
- Lima, A.R.A., Costa, M.F., Barletta, M., 2014. Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. *Environ. Res.*, 132: 146–155. doi:10.1016/j.envres.2014.03.031
- Lucena-Moya, P., Duggan, I.C., 2017. Correspondence between zooplankton assemblages and the Estuary Environment Classification system. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 184, 1–9. doi:10.1016/j.ecss.2016.10.028
- Nejrup, L.B., Pedersen, M.F., 2008. Effects of salinity and water temperature on the ecological performance of *Zostera marina*. *Aquat. Bot.*, 88: 239–246. doi:10.1016/j.aquabot.2007.10.006
- Osode, A.N., Okoh, A.I., 2009. Impact of Discharged Wastewater Final Effluent on the Physicochemical Qualities of a Receiving Watershed in a Suburban Community of the Eastern Cape Province. *CLEAN - Soil, Air, Water* 37: 938–944. doi:10.1002/clen.200900098
- Pearce, M.W., Schumann, E.H., 2001. The impact of irrigation return flow on aspects of the water quality of the Upper Gamtoos Estuary, South Africa. *Water SA*, 27: 367–372.
- Reed, M.L., Pinckney, J.L., Keppler, C.J., Brock, L.M., Hogan, S.B., Greenfield, D.I., 2016. The influence of nitrogen and phosphorus on phytoplankton growth and assemblage composition in four coastal, southeastern USA systems. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 177: 71–82. doi:10.1016/j.ecss.2016.05.002
- Reis-Filho, J.A., Santos, A.C.A., 2014. Effects of substratum type on fish assemblages in shallow areas of a tropical estuary. *Mar. Ecol.*, 35: 456–470. doi:10.1111/maec.12102
- Renjith, K.R., Chandramohanakumar, N., Joseph, M.M., 2011. Fractionation and bioavailability of phosphorus in a tropical estuary, Southwest India. *Environ. Monit. Assess.*, 174: 299–312. doi:10.1007/s10661-010-1458-8
- Silva, E.M., Costa, M.F., Barletta, M., 2013. Small-scale water quality monitoring networks. *J. Coast. Res.*, 165: 1218–1223. doi:10.2112/SI65-206.1
- Statham, P.J., 2012. Nutrients in estuaries — An overview and the potential impacts of climate change. *Sci. Total Environ.*, 434: 213–227. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.09.088
- Uriarte, I., Villate, F., 2004. Effects of pollution on zooplankton abundance and distribution in two estuaries of the Basque coast (Bay of Biscay). *Mar. Pollut. Bull.*, 49: 220–228. doi:10.1016/j.marpolbul.2004.02.010
- Zhang, J., Gilbert, D., Gooday, A.J., Levin, L., Naqvi, S.W.A., Middelburg, J.J., Scranton, M., Ekau, W., Peña, A., Dewitte, B., Oguz, T., Monteiro, P.M.S., Urban, E., Rabalais, N.N., Ittekkot, V., Kemp, W.M., Ulloa, O., Elmgren, R., Escobar-Briones, E., Van der Plas, A.K., 2010. Natural and human-induced hypoxia and consequences for coastal areas: synthesis and future development. *Biogeosciences* 7: 1443–1467. doi:10.5194/bg-7-1443-2010