



Qualidade da Água no Estuário do Rio Goiana, Nordeste do Brasil: Subsídios para a Conservação

Ivo Raposo Gonçalves Cidreira-Neto¹, Betânia Cristina Guilherme², Gilberto Gonçalves Rodrigues³, Ana Lucia BezerraCandeias⁴

¹Graduado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre e Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) pela UFPE

²Professora do Departamento de Biologia na Universidade Rural de Pernambuco (UFRPE) <http://orcid.org/0000-0001-5459-2222>

³Professor do Departamento de Zoologia. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) <http://orcid.org/0000-0002-4262-2903>

⁴Professora do Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

<http://orcid.org/0000-0002-9021-7603>

Artigo recebido em 11/10/2021 e aceito em 25/07/2022

RESUMO

Os estuários são ambientes aquáticos susceptíveis a impactos antrópicos provenientes do uso ocupação do solo de forma desordenada, e pelo despejo de efluentes doméstico ou industriais, que podem resultar na baixa qualidade da água nesses ecossistemas, afetando a toda biodiversidade e as dinâmicas socioeconômicas, como no caso da pesca artesanal. O objetivo foi identificar a qualidade da água no rio Goiana, em específico na área do domínio da Reserva Extrativista (RESEX) Acaú-Goiana, como forma de subsidiar a conservação ambiental. Foram utilizados dados históricos (2001 – 2019) disponibilizados pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CRPH) do Estado de Pernambuco para a Bacia Hidrográfica do Rio Goiana, em específico no ponto de amostragem GO-85 (Goiana-85). As variáveis utilizadas foram: Pluviometria, Temperatura, Potencial Hidrogeniônico (pH), Salinidade, Oxigênio Dissolvido (OD), Saturação de Oxigênio (OD-Sat), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Turbidez, Cor, Fósforo Total, Condutividade Elétrica e Coliformes Fecais Termotolerantes. A partir dos valores encontrados para o OD, foi possível identificar um estágio de hipoxia. Os valores de turbidez, fósforo total e coliformes termotolerantes foram superiores ao indicado pela legislação, podendo ser reflexo do intenso uso da área pela produção agroindustrial e despejo de efluentes. Os dados disponibilizados pela CRPH demonstram que existe uma carência na sua continuidade, principalmente no ponto de amostragem GO-85, que está situado nos domínios da RESEX Acaú-Goiana, o que influencia no entendimento da variação sazonal entre as estações seca e chuvosa na área. O monitoramento da qualidade da água na jusante do estuário é recomendado, contemplando a área de domínio da RESEX Acaú-Goiana.

Palavras-chave: Variáveis físicas e químicas, Monitoramento, Recursos Hídricos, Área Protegida, Gestão.

Water Quality in the Goiana River Estuary, Northeastern Brazil: Conservation Allowances

ABSTRACT

Estuaries are aquatic environments susceptible to anthropogenic impacts from disorganized land use, and from the discharge of domestic or industrial effluents, which can result in poor water quality in these ecosystems, affecting all biodiversity and socioeconomic dynamics, as in case of artisanal fishing. The objective was to identify the quality of water in the Goiana River, specifically in the area of the Acaú-Goiana Extractive Reserve (RESEX) domain, as a way of subsidizing environmental conservation. Historical data (2001 – 2019) provided by the Agência Estadual de Meio Ambiente (CRPH) of the State of Pernambuco were used for the Goiana River Basin, specifically at the GO-85 (Goiana-85) sampling point. The variables used were: Pluviometry, Temperature, (hydrogen potential) pH, Salinity, Dissolved Oxygen (OD), Oxygen Saturation (OD-Sat), Biochemical Oxygen Demand (DBO), Turbidity, Color, Total Phosphorus, Electrical Conductivity and Thermotolerant Coliforms. From the values found for the OD, it was possible to identify a stage of hypoxia. The values of turbidity, total phosphorus and thermotolerant coliforms were higher than those indicated by the legislation, which may be a reflection of the intense use of the area for agro-industrial production and effluent disposal. The data provided by CRPH demonstrate that there is a lack of continuity, especially at the GO-85 sampling point, which is located in the domains of the RESEX Acaú-Goiana, which influences the understanding of the seasonal variation between the dry and rainy seasons in the area. The monitoring of water quality downstream of the estuary is recommended, covering the domain area of RESEX Acaú-Goiana.

Keywords: Physical and chemical variables, Monitoring, Water resources, Protected Area, Management.

Introdução

Os estuários são ambientes dinâmicos, que têm como características a variação das condições físicas e químicas da água (como salinidade, pH, condutividade, temperatura, oxigênio dissolvido, entre outros fatores), em menor escala de tempo, devido a flutuação da maré, ou em escala sazonal, seguindo variação ao longo ano (Fatema et al., 2014; Costa et al., 2018). Esse ecossistema apresenta relevante importância ambiental e socioeconômica em escala mundial, devido a sua alta biodiversidade, abrigando diversas espécies de peixes, moluscos e crustáceos, que servem como fonte econômica para o desenvolvimento da pesca artesanal (Kennish, 1986). Além dos animais, esse ecossistema apresenta diversidade de microalgas e macrófitas, além das espécies de mangue (Adams et al., 2016).

As pressões antrópicas resultam em ameaças para a estabilidade ecológica desses ambientes, como as alterações topográficas dos rios, uso e ocupação do solo desordenada, especulação imobiliária, desenvolvimento urbano e agroindustrial, despejo de resíduos industriais e domésticos, além dos efeitos das mudanças climáticas (Kennish, 1986; Barletta et al., 2019; Ducrotory et al., 2019). A relação desses fatores antrópicos com o ecossistema vai resultar em baixos níveis da qualidade da água (Barletta et al., 2019). Além de afetar a qualidade do sedimento, que pode acabar atuando como reservatório para os contaminantes, inferindo na qualidade da água e afetando o ecossistema (Pavoni et al., 2021).

As modificações nas variáveis físicas e químicas da água, como no caso da temperatura da superfície da água, salinidade e pH, podem atuar como fatores determinantes para a modificação da estrutura ecológica dos estuários (Scanes et al., 2020). A acidificação dos oceanos, derivante das pressões antrópicas, vai influenciar na estrutura e dinâmica dos estuários, principalmente nos organismos que possuem carbonato de cálcio na sua estrutura (Cai et al., 2021).

O monitoramento da qualidade física e química da água dos estuários permite identificar processos de degradação ambiental, como eutrofização, hipóxia e anoxia, principalmente a partir de impactos ocasionados pela carência de saneamento básico, monoculturas (como cana de açúcar), remoção da vegetação nativa para expansão urbana e instalação de polos industriais,

além do uso intensificado de poluentes agrícolas (Nascimento et al., 2020). Com o aumento de impactos antrópicos nesses ambientes, tem-se necessidade da ampliação de estratégias de monitoramento, em ênfase as de longo prazo, para que se torne possível mitigar os impactos socioambientais (Freeman et al., 2019).

Estudos de longo prazo, onde se obtêm dados de forma multitemporal e integrada, permitem compreender a relação entre os impactos socioambientais locais com as mudanças físicas e químicas nos corpos hídricos (Cloern, 2018; Ducrotory et al., 2019). As estratégias de monitoramento ambiental local devem integrar a perspectiva temporal, tanto em questões de pequena escala de tempo, quanto em larga escala de tempo, sempre buscando relacionar com as redes de interação local que o ecossistema apresenta, servindo assim como importante estratégia para a gestão ambiental (Hewitt e Thrush, 2019). Além de incluir uma perspectiva de variabilidade dentro do próprio ciclo da maré (Baliarsingh et al., 2021).

A identificação dessas mudanças temporais se torna fundamental para a gestão dos ambientes costeiros, principalmente quando estão localizados em áreas de proteção ambiental, como no caso das Unidades de Conservação (UC) no Brasil (Kitsiou e Karydis, 2011; Karydis e Kitsiou, 2013; Costa et al., 2017). Dentre as UC, as Reservas Extrativistas Marinhas (RESEX-Mar) constituem um importante grupo de áreas protegidas que incluem a proteção de ecossistemas aquáticos como os estuários, além de garantir o uso extrativista dos recursos pesqueiros locais.

Para o Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil, existe a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), que disponibiliza dados referentes ao monitoramento das Bacias Hidrográficas do estado. Porém a produção desses dados é subutilizada para a construção de políticas públicas voltadas para a gestão local (Nascimento et al., 2020).

Diante do exposto, a hipótese do estudo é que existe redução na qualidade da água no rio Goiana. O objetivo foi identificar a qualidade da água no rio Goiana, em específico na área do domínio da Reserva Extrativista Acaú-Goiana, como forma de subsidiar a gestão ambiental.

Metodologia

Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Goiana está situada no Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil, agregando uma área de drenagem de 2.878,30km², passando por cerca de 25 municípios pernambucanos (CPRH, 2020a) (Figura 1). Esse

rio está situado na divisa dos Estados de Pernambuco e da Paraíba, onde já nas intermediações do estuário, ele se conecta com dois outros rios, sendo o Tracunhaém e o Capibaribe Mirim.

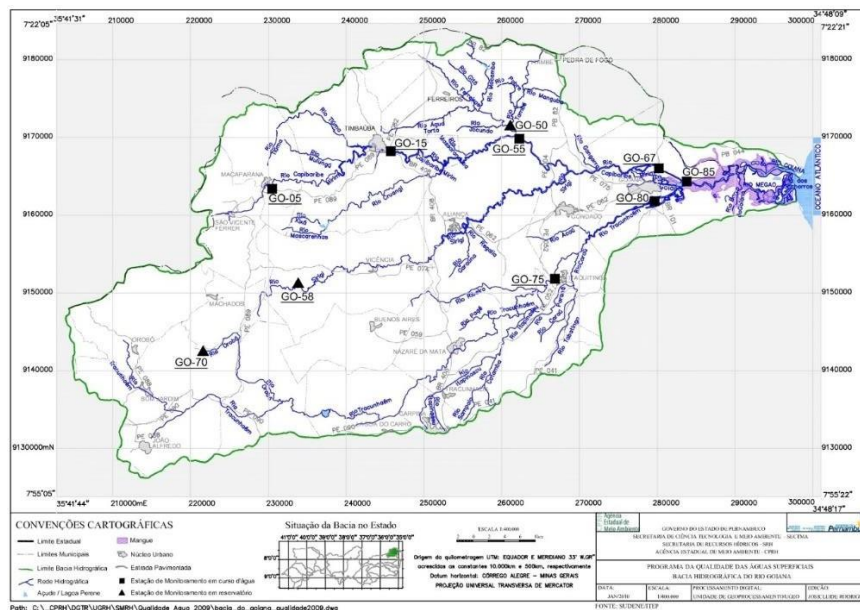


Figura 1. Bacia Hidrográfica do Rio Goiana, com seus principais corpos hídricos e estações de monitoramento da água da Agência Estadual de Meio Ambiente – CPRH. Fonte: CPRH (2010).

O uso do solo nesta bacia é principalmente a partir de ocupações urbanas e industriais, com diversos empreendimento multinacionais, além do plantio de cana-de-açúcar, onde efluentes domésticos e industriais são lançados no rio (CPRH, 2020b). Diversos impactos são identificados ao longo da bacia hidrográfica, que podem resultar na baixa qualidade da água, como: (i) Pressão urbana no entorno e ocupação de planícies de inundações; (ii) Assoreamento; (iii) Retirada da mata ciliar e (iv) uso de defensivos agrícolas nas margens do rio (Carvalho et al., 2017).

Ao longo do seu percurso existem diferentes UC, como a Reserva Extrativista (RESEX) Acaú-Goiana, situada a jusante do rio Goiana, que tem como objetivo garantir o uso sustentável dos recursos pesqueiros da região, sendo uma importante área utilizada para o desenvolvimento da pesca artesanal (Fadigas e Garcia, 2010; Cidreira-Neto e Rodrigues, 2021). Devido ao elevado uso antrópico, e da sua relação

com a RESEX Acaú-Goian, estratégias de monitoramento são necessárias para entendimento das dinâmicas ambientais locais (Costa et al., 2017).

Aquisição e análise dos dados

A aquisição dos dados foi a partir dos Relatórios de Monitoramento da Qualidade da Água de Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco, desenvolvido anualmente pela CPRH. Para essa análise foram utilizados todos os dados históricos disponibilizados, sendo referentes aos anos de 2001 a 2019 da Estação de Amostragem GO-85 (-7,555630556 / -34,95965833) (Figura 2), situada na Bacia Hidrográfica do Rio Goiana, sendo o último ponto de amostragem do rio, localizado após a conexão com o rio Tracunhaém e com o rio Capibaribe, sendo este um local dentro do domínio da RESEX Acaú-Goiana e mais próximo da desembocadura do estuário (CPRH, 2002; 2003; 2004; 2005; 2006; 2007; 2009a; 2009b; 2010; 2011; 2014a; 2014b; 2015; 2017; 2018; 2020a; 2020b).

que respondem sobre a qualidade da água, dentro da série de dados. A ACP foi desenvolvida através do PAST 4.03.

Resultados

Os dados disponibilizados pela CPRH para o rio Goiana, no ponto de amostragem GO-85, não seguem uma continuidade, o que resulta na dificuldade de se padronizar e inferir sobre a qualidade da água nesse ponto. A primeira dificuldade na análise foi que o ponto GO-85 não apresenta dados sazonais de análise, o que impossibilitou uma comparação entre as estações de cada ano (seco – chuvoso).

O período amostral disponibilizado é de 2001 até 2019, onde os seguintes parâmetros apresentaram períodos de falta de dados, impossibilitando desenvolver uma análise entre período seco e chuvoso para os anos amostrados:

- Condutividade: Não foram disponibilizados dados para o ano de 2005;
- Coliformes Termotolerantes: Não foram disponibilizados dados para o ano de 2009;
- Salinidade: Não foram disponibilizados dados para o ano de 2001;
- Turbidez e Pluviometria: Não foram

disponibilizados dados para os anos de 2001, 2002 e 2003;

- Cor: Não foram disponibilizados dados para os anos de 2001, 2002, 2003 e 2018;
- Saturação de Oxigênio Dissolvido (OD Sat.): Não foram disponibilizados dados para os anos de 2002 e 2003.
- IET: Não foram disponibilizados dados para os anos de 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009. Devido a baixa presença desse índice nos relatórios, esse resultado será apresentado separadamente das demais variáveis, além de não integraras matrizes de correlação e ACP.

Além disto, a CPRH não disponibilizou dados nos relatórios de monitoramento da qualidade da água para o ponto de amostragem GO-85, nos anos de 2011 e 2015.

Referente aos dados coletados, a pluviometria ($p > 0,05$) variou com mínimo registre de 89,92 mm em 2011, e máximo 191,83 mm para o ano de 2004 (Figura 3A). Referente a temperatura média ($p < 0,05$) variou entre 23 a 29,25 °C (Figura 3B).

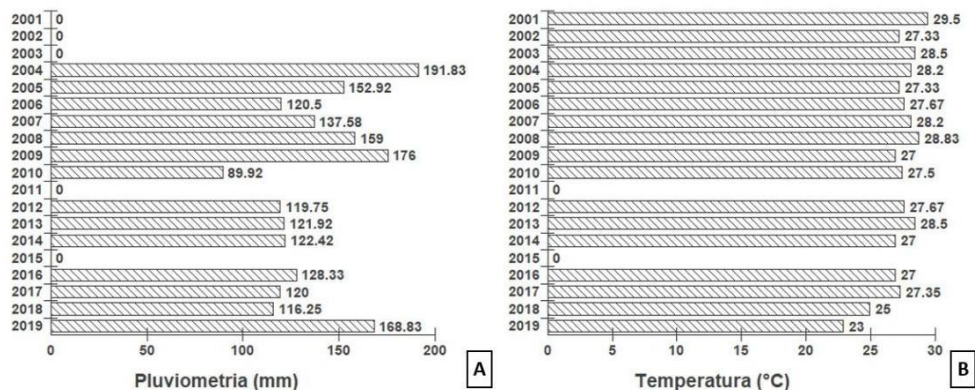


Figura 3 – Médias históricas (2001 – 2019) das variáveis físicas e químicas disponibilizados pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) do Estado de Pernambuco (Nordeste Brasil) para a bacia do rio Goiana (GO-85). A. Pluviometria (mm). B. Temperatura (°C). Fonte: Próprios Autores (2021).

O pH ($p > 0,05$) teve registro médio de 6.9 a 8, apresentando certa estabilidade durante a série histórica (Figura 4A). A salinidade ($p < 0,05$) teve sua maior média no ano de 2002 (3,6) e sua menor média registrada em dois anos, sendo 2014 e 2019 (0,25) (Figura 4B).

O OD ($p > 0,05$) teve sua menor média

registrada em dois anos, sendo em 2007 e 2009 (2,20 mg/L) e maior média para o ano de 2019 (5,80 mg/L) (Figura 4C). OD Sat ($p > 0,05$) teve maior média para o ano de 2019 (65 %), e menor média apareceu em dois anos, 2007 e 2009 (28%) (Figura 4D).

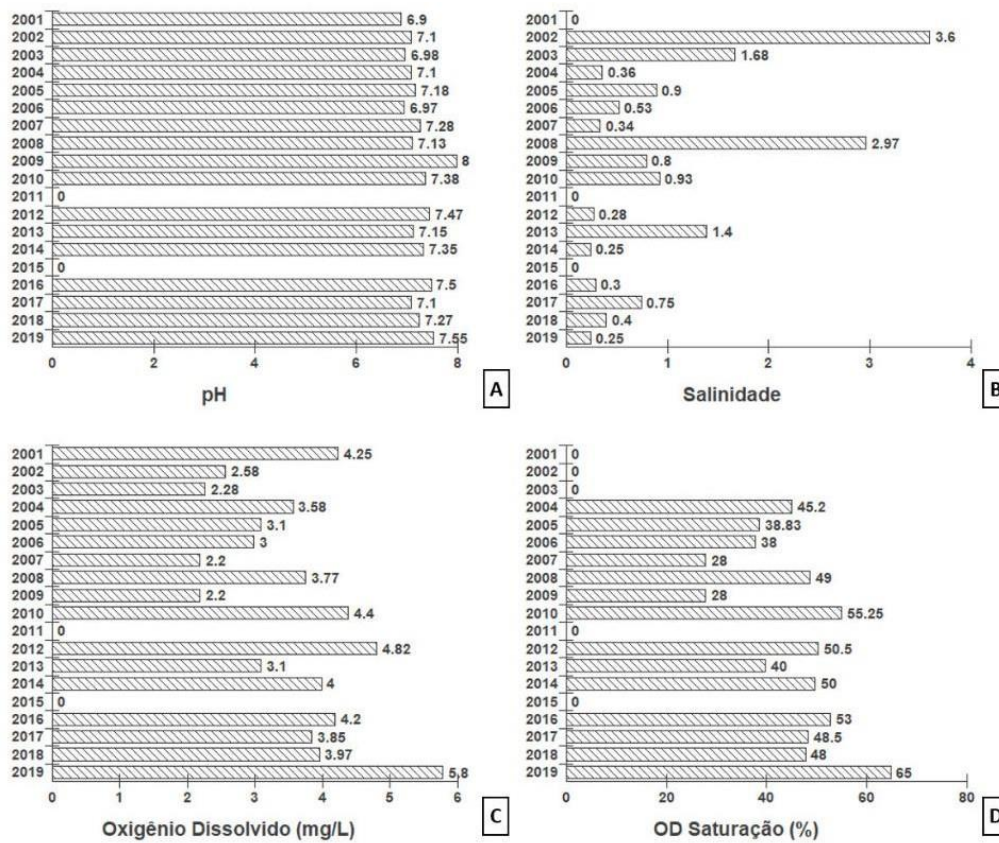


Figura 4 – Médias históricas (2001 – 2019) das variáveis físicas e químicas disponibilizados pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) do Estado de Pernambuco (Nordeste Brasil) para a bacia do rio Goiana (GO-85). A. pH. B. Salinidade . C. Oxigênio Dissolvido (OD) (mg/L). D. Oxigênio Dissolvido Saturação(%). Fonte: Próprios Autores (2021).

Em relação ao DBO ($p > 0,05$), o máximo foi registrado no ano de 2016 (3,75 mg/L) e menor média para o ano de 2007 (0,82 mg/L) (Figura 5A). Já o fósforo ($p < 0,05$) teve o seu menor registro no ano de 2002 (0,09 mg/L), e máxima para o ano de 2006 (0,89 mg/L) (Figura 5B). A turbidez ($p < 0,05$) variou com menor média de 15 (UNT) em 2016, e maior média de 165 (UNT) para o ano de 2014 (Figura 5C). A cor ($p < 0,05$) teve menor média para o ano de 2009 (40 Pt/Co), e maior média para o ano de 2013 (290 Pt/Co) (Figura 4D). Os coliformes termotolerantes ($p < 0,05$) teve sua maior média registrada para o ano de 2004, sendo um valor discrepante dos encontrados nos outros anos, podendo estar relacionado com algum caso de poluição que correu neste ano (Figura 5E). A condutividade ($p < 0,05$) teve a maior média no ano de 2008 (5366 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e menor média para o ano de 2014 (469 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Figura 5F).

A figura 6 representa a matriz de correlação de Spearman entre os parâmetros físico-químicos dos anos amostrados, tornando possível identificar as suas relações entre si. A correlação mais forte encontrada foi entre a

Condutividade Elétrica e a Salinidade ($R = 0,98$); OD e OD-Sat ($R = 0,97$); Turbidez e Cor ($R = 0,86$), e com menor intensidade a Temperatura e Condutividade Elétrica ($R = 0,51$). As variáveis DBO, Fósforo, Coliformes e Pluviometria não apresentaram fortes correlações (positiva ou negativa) com nenhuma outra variável.

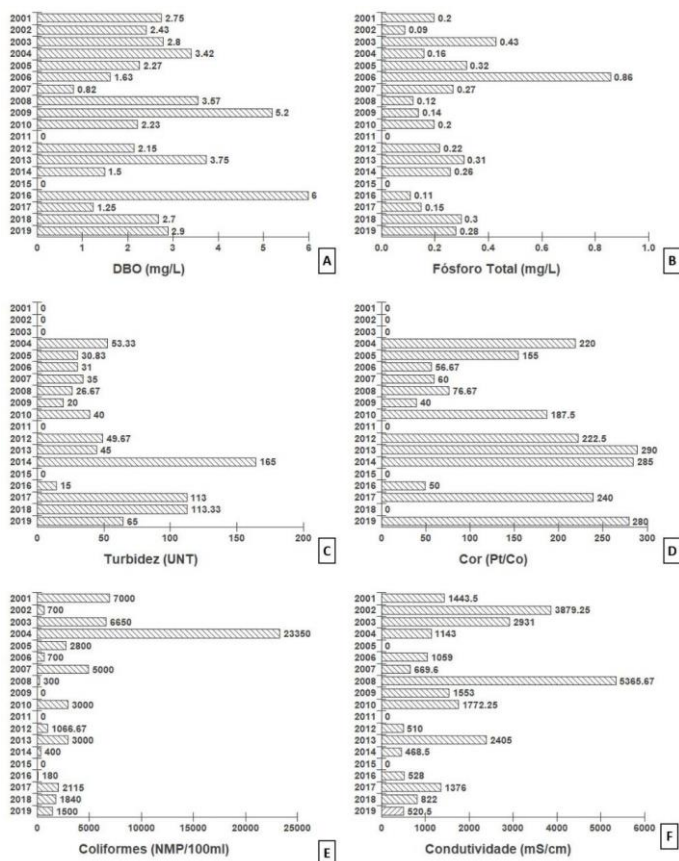


Figura 5 – Médias históricas (2001 – 2019) das variáveis físicas e químicas disponibilizados pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) do Estado de Pernambuco (Nordeste Brasil) para a bacia do rio Goiana (GO-85). A. Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L). B. Fósforo Total (mg/L). C. Turbidez (UNT). D. Cor (Pt/Co). E. Coliformes Fecais Termotolerantes (NMP/100ml). F. Condutividade Elétrica (µS/cm). Fonte: Próprios Autores (2021).

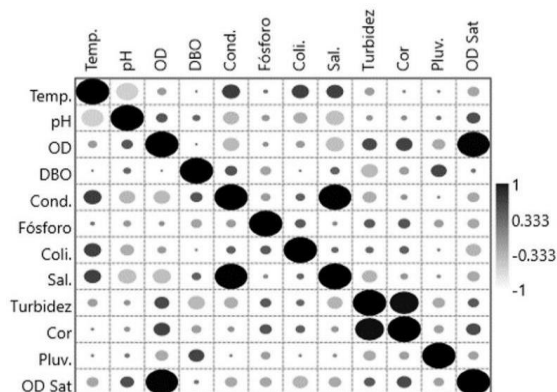


Figura 6. Matriz de correlação de Spearman entre as das variáveis físicas e químicas da água da estação de amostragem GO-85 da bacia do rio Goiana. Temp. (Temperatura), pH (Potencial Hidrogeniônico), OD (Oxigênio Dissolvido), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio, Cond. (Condutividade Elétrica), Fósforo (Fósforo Total), Coli. (Coliformes Fecais Termotolerantes, Sali. (Salinidade), Pluv. (Pluviometria, OD Sat. (Saturação de Oxigênio Dissolvido). Fonte: Próprios Autores (2021). O IET teve pequena faixa de variação, no qual a maior média foi para o ano de 2018 (65) e menor média para o ano de 2017 (57,5) (Figura 7). De forma geral o índice permitiu identificar que as três principais categorias encontradas foram Mesotrófico para os anos de 2016 e 2017, Eutrófico para os anos de 2010, 2012, 2013, 2014 e 2019, e Suertrófico para o ano de 2018.

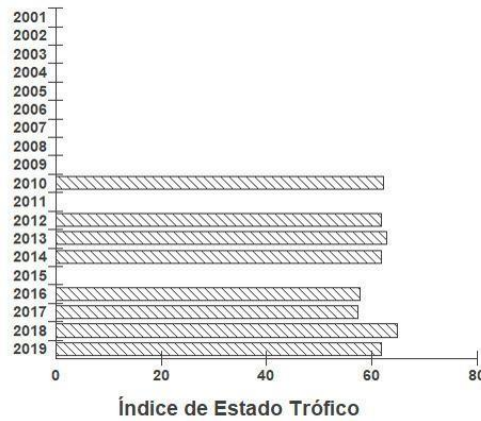


Figura 7. Médias históricas (2001 – 2019) do Índice de Estado Trófico (IET) disponibilizado pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) do Estado de Pernambuco (Nordeste Brasil) para a bacia do rio Goiana (GO-85). Fonte: Próprios Autores (2021).

Para a Análise de Componentes Principais (ACP), os PC1 e PC2 descreveram cerca de 52% da variação das amostras, demonstrando graficamente as proximidades das variáveis a partir da sua

correlação, como no caso da condutividade elétrica e da salinidade, o OD com o OD Saturação, e a Cor com a Turbidez (Figura 8).

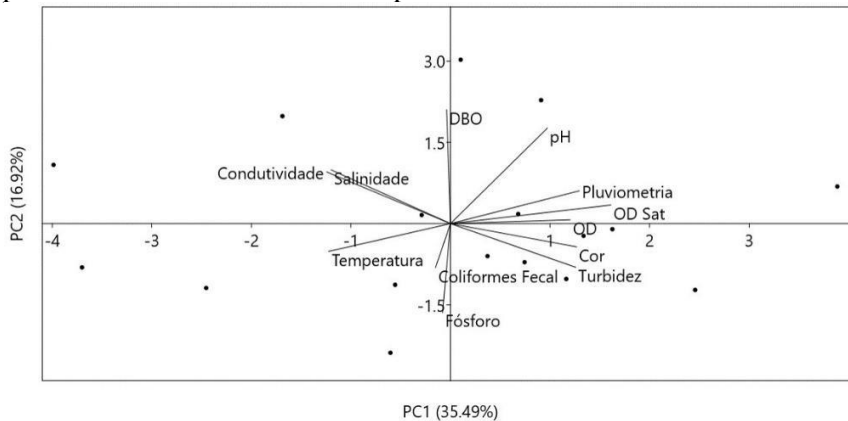


Figura 8. Análise de Componentes Principais (ACP) com as variáveis disponibilizadas pela CPRH para o rio Goiana entre 2001 e 2019. Fonte: Próprios Autores (2021). A PC1 descreveu 35,49% da variação total dos dados, evidenciando o OD, Turbidez, Cor, Pluviometria e OD Saturação. A PC2 descreveu 16,92% da variação total dos dados, evidenciando a correlação entre pH e DBO (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise de Componentes Principais (PCA) enfatizando as suas correlações entre as variáveis físicas e químicas da água para o rio Goiana entre 2001 e 2019.

Variáveis	PC 1	PC 2
Temperatura	-0,323	-0,135
pH	0,257	0,465
OD	0,317	0,019
DBO	-0,010	0,555
Condutividade	-0,328	0,252
Fósforo	-0,021	-0,433
Coliformes Fecal	-0,040	-0,214
Salinidade	-0,316	0,262
Turbidez	0,332	-0,212
Cor	0,334	-0,113
Pluviometria	0,342	0,160
OD Sat	0,425	0,090

Dentre as variáveis da PCA, dois grupos podem ser estruturados. O primeiro é referente aos que apresentam carga fatorial moderada (0,75 – 0,50) com a DBO (PC2). O segundo é a partir da carga fatorial fraca (0,50 – 0,30), com OD,

Turbidez, Cor, Pluviometria e OD Sat (PC1); e pH(PC2).

Discussão

A precipitação é uma das variáveis mais importante para a análise da qualidade da água, pois ela vai influenciar na dinâmica dos demais fatores como na diminuição da temperatura da água, salinidade, pH, condutividade, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos e turbidez (Alencar et al., 2019). Os meses com maior concentração de chuvas vai também inferir na dissolução dos poluentes na água, resultando em menores concentrações, ou seja, é necessário verificar como os níveis de poluições vão variar durante uma perspectiva sazonal (Cesar-Riberio e Rosa, 2021).

Essas variáveis estão diretamente relacionadas com a dinâmica e abundância dos recursos pesqueiros extraídos na região da RESEX Acaú-Goiana, como no caso do crustáceo *Cardisoma Guanhumí* (LATREILLE, 1828) (Lima et al., 2021), e do molusco *Anomalocardia flexuosa* (LINNAEUS, 1767) (Silva-Cavalcanti et al., 2018). O pH é uma importante variável para o funcionamento do ecossistema, já quem em tores mais ácidos, vai prejudicar as dinâmicas populacionais dos organismos estuarinos (Mama et al., 2021). No rio Goiana, o pH permaneceu circumneutral, apresentando leve aumento.

A salinidade foi um dos parâmetros que apresentou grandes variações ao longo dos anos amostrados, chegando em diferentes níveis de classificação segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA - Resolução nº 357 de 2005), onde essa estação de amostragem (GO-85) pode ser considerada como Água Doce – Classe 1 (salinidade $\leq 0,5\%$), como ocorreu nos anos de 2018 e 2019, ou Água Salobra – Classe 1 (Salinidade $> 0,5$ e $< 30\%$), como ocorreu nos anos de 2002 e 2003. Essa variação pode estar relacionada a eventos de mudanças climáticas, além do uso indiscriminado da água, como a partir da atividade de irrigação e sistemas de carcinicultura (Akter et al., 2020). Porém, em todos os anos amostrados, houve salinidade.

Dentro da série amostral, apenas em quatro anos foram mensurados valores >1 para a

salinidade, devido ao fato de que este ponto de amostragem utilizado pelo CPRH fica distante da desembocadura do rio Goiana, resultando em menor carga de mistura com águas salinas. Porém a biodiversidade estuarina está adaptada (eurialina) para tolerar essa flutuação da salinidade no estuário, chegando a variações de valores $<0,5$ a >30 (Ghalambor et al., 2021).

A turbidez e a cor da água vão influenciar na visibilidade na coluna d'água, impactando na incidência de luz no rio, o que afeta diretamente a produção primária por organismos fotossintetizantes, além de estar relacionada com a disponibilidade de oxigênio (Brouwer e Schramkowski, 2018), apresentando correlação inversa com a salinidade (Wang et al., 2021). A turbidez apresentou níveis muito elevado, passando de 100 UNT, o que pode resultar em baixa oxigenação da água.

Referente aos parâmetros de OD em baixa concentração, e DBO em alta concentração, representam uns dos principais indicadores de poluição orgânica da água, sendo resultantes de fontes antrópicas provenientes de esgotos domésticos e industriais, influenciando na biodiversidade (Spietz et al., 2015; Vigiak et al., 2019). O OD foi encontrado abaixo do que o CONAMA indica, que é de uma concentração de ≥ 5 mg/L, inferindo um estado hipóxia para o rio. A baixa concentração de OD deve implicar estado de atenção, sendo necessário planejamento de ações para reverter o estado de hipóxia (Lestari et al., 2021).

Em relação ao estado de eutrofização do rio Goiana, as altas concentrações de fósforo identificadas podem ser resultado da atividade de plantio de cana-de-açúcar na região, que utilizam insumos com esse elemento, aumentando a sua concentração em períodos de maior pluviosidade devido a lixiviação desse composto (Costa et al., 2017). Outro fator importante no aumento da concentração do fósforo é a partir da carcinicultura, provenientes das fazendas de cultivo de camarão, além de outros efluentes antropogênicos (Barcellos et al., 2019). A RESEX Acaú-Goiana, por estar situada em um polo industrial, tanto sucroalcooleiro como voltado para a carcinicultura, acaba sofrendo com os impactos da atividade industrial que é desenvolvida nas suas áreas adjacentes (Freire-Silva et al., 2020). O CONAMA indica que a concentração deve ser até 0,1 mg/L, porém no presente estudo a concentração de fósforo foi superior em diversos anos amostrados, com o seu maior pico em 2006.

Referente a variável biológica, os níveis de coliformes termotolerantes encontrados foram elevados. O maior padrão de presença estabelecido pelo CONAMA é de 1000 coliformes por 100 mililitros, ou seja, o local de amostragem apresenta grande carga de influência antrópica, podendo ser principalmente a partir de efluentes domésticos sem tratamento.

O IET demonstrou que o rio Goiana recebe elevada carga de nutrientes a partir, principalmente de efluentes domésticos e/ou industriais. Esse resultado corrobora com outros estudos desenvolvidos nesta mesma Bacia Hidrográfica, como Araújo-Júnior (2020). A aplicação do IET resulta em importantes dados para a gestão ambiental das bacias hidrográficas, sendo de fundamental importância para as ações de monitoramento (Bucci e Oliveira, 2014).

Diante de um cenário global, os principais fatores que atuam na diminuição da qualidade da água das principais bacias hidrográficas são as mudanças climáticas, urbanização e atividade agroindustriais (Giri, 2021). No caso do rio Goiana, a urbanização e a presença de indústrias nas áreas adjacentes afetam os níveis de qualidade das águas (Costa et al., 2018; Barletta et al., 2019).

Sobre os resultados obtidos com a ACP, a análise demonstrou que as principais variáveis que podem responder sobre a qualidade da água no rio Goiana são o pH, OD, OD Sat, DBO, Turbidez, Cor e padrão pluviométrico, no qual foram principalmente representados pela PC1. Essa relação entre as variáveis é similar ao encontrado por Costa et al. (2017), em um estudo desenvolvido para o mesmo rio. A ACP permite identificar o funcionamento do ecossistema a partir das variáveis físicas e químicas da água estuarina (Mama et al., 2021).

Existe a relação negativa entre Pluviometria, OD, OD Sat, Cor e Turbidez, com a temperatura da água. O aumento na quantidade de chuvas vai resultar no aumento do OD, OD Sat, Core Turbidez nos corpos hídricos, além de que as chuvas vão resultar na diminuição da temperatura superficial da água (Munoz et al., 2015). Ou seja, paralelamente, o aumento da temperatura da água vai influenciar na diminuição da oxigenação da água.

De forma geral, os dados analisados permitem identificar que o estuário do Rio Goiana, em específico para o ponto de amostragem GO-85, possui certo grau de antropização, o que resulta em baixa qualidade da água, que pode influenciar na biodiversidade do local. Devido a área ser uma UC,

que tem como foco a continuidade da pesca artesanal, o estuário necessita de ações que promovam a melhora da qualidade ambiental, como forma de garantir a permanência das espécies, bem como da atividade pesqueira.

Outras técnicas devem ser incluídas para a promoção do monitoramento da qualidade da água nesses ambientes estuarinos, como no caso da aplicação de técnicas do Sistema de Informações Geográficas (SIG) (Habeeb e Weli, 2021) e de sensoriamento remoto, utilizando índices (Najafzadeh et al., 2021) e sistemas proximais (Sun et al., 2022). Além das estratégias de monitoramento *In Loco*, utilizando as principais variáveis físicas e químicas da água.

Deve-se implementar a integração entre a gestão da RESEX Acaú-Goiana, a partir do seu Conselho Gestor Deliberativo, com a gestão da Bacia Hidrográfica do rio Goiana, para que se torne possível planejar estratégias de monitoramento integrado e ações de conservação ambiental.

Conclusão

Os dados históricos disponibilizados pela CPRH demonstram que existe uma carência na sua continuidade, principalmente no ponto de amostragem GO-85, que está situado nos domínios da RESEX Acaú-Goiana. Mesmo com essa descontinuidade, esses dados são importantes para o desenvolvimento de análises multitemporais, permitindo identificar a distribuição das variáveis físicas e químicas ao longo dos anos. Porém, é necessário que esses dados sigam uma padronização no mínimo sazonal, como forma de relacionar a variação com a intensidade das chuvas.

Diante dos dados disponibilizados pela CPRH, é possível inferir que existe baixa qualidade da água para o ponto de amostragem situado na área de domínio da RESEX Acaú-Goiana, o que corrobora com a hipótese do artigo. Os dados demonstram que existe sobrecarga de poluição orgânica, possivelmente proveniente das cidades na adjacência do rio, bem como das indústrias, devido ao lançamento de efluentes domésticos e industriais.

Salientamos também a necessidade de inclusão de novos parâmetros, como Sólidos Totais, para que se torne possível aplicar novos índices de qualidade da água, como no caso do IQA (Índice de Qualidade da Água), que tem relevante importância para a identificação da qualidade dos recursos hídricos.

Se faz importante o desenvolvimento do

monitoramento na jusante do rio Goiana, na parte que integra o estuário dos rios Goiana e Megaó, para que seja possível relacionar essas variáveis com a dinâmica dos recursos pesqueiros da região. Aplicando inclusive os índices IQA e IET, visto que estes apresentam relevância para os estudos em ecossistemas aquáticos. Além do monitoramento, deve-se planejar estratégias de mitigação dos impactos, como forma de garantir o equilíbrio do estuário e da biodiversidade.

Outro ponto importante é a promoção de ações de conservação ambiental a partir do tratamento dos efluentes lançados no rio Goiana, devido a presença de diferentes indústrias multinacionais nas suas áreas adjacentes. Além de estratégias de educação ambiental na região, intensificando a importância da RESEX Acaú-Goiana para a continuidade da pesca artesanal e conservação ecossistêmica.

Agradecimentos

Agradecemos ao Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO) pelo Apoio à Pesquisa (edital nº 012/021). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradecemos também à Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) pela disponibilidade dos dados de monitoramento da qualidade da água para as Bacias Hidrográficas do Estado.

Referências

Adams, J.B., Bate, G.C., Rddin, T., 2016. Ecology and biodiversity of estuaries. *South African Journal of Botany* 107, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.08.019>

Akter, S., Ahmed, K.R., Marandi, A., Schuth, C., 2020: Possible factors for increasing water salinity in an embanked coastal island in the southwest Bengal Delta of Bangladesh. *Science of the Total Environment* 713. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136668>

Alencar, V.E.S.A., Rocha, E.J.P., Júnior, J.A.S., Carneiro, B.S., 2019. Análise de parâmetros de qualidade da água em decorrência de efeitos da precipitação na baía de Guajará – Belém– PA. *Revista de Geografia Física* 12, 661-680. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p661-680>

Araújo-Júnior, J.C.M., 2021. Análise do monitoramento da qualidade da água de rios da Bacia Hidrográfica do Rio Goiana. *Revista*

Geociências 19, 24-34. [dx.doi.org/10.33947/1981-741X-v19n2-4450](https://doi.org/10.33947/1981-741X-v19n2-4450)

Baliarsingh, S.K., Lotiker, A.A., Srichandan, S., Roy, R., Sahu, B.K., Samanta, A., Nair, T.M.B., Acharyya, T., Parida, C., Singh, S., Jena, A.K., 2021. Evaluation of hydrobiological parameters in response to semi-diurnal tides in a tropical estuary. *Ecology & Hydrology* 21, 700-717. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.03.002>

Barcellos, D., Queiroz, H.M., Nóbrega, G.N., Oliveira-Filho, R.L., Santaella, S.T., Otero, X.L., Ferreira, T.O., 2019. Phosphorus enriched effluents increase eutrophication risks for mangrove systems in northeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 142, 58-63. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.031>

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. *Science of the Total Environment* 651, 1199-1218. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.276>

Brouwer, R.L., Schramkowski, G.P., 2018. Time Evolution of Estuarine Turbidity Maxima in Well-Mixed, Tidally Dominated Estuaries: The Role of Availability- and Erosion- Limited Conditions. *Journal of Physical Oceanography* 48, 1629-1650. <https://doi.org/10.1175/JPO-D-17-0183.1>

Bucci, M.H.S., Oliveira, L.F.C., 2014. Índices de qualidade da água e de Estado Trófico na Represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). *Revista Ambiente e Água* 9, 130-148. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1290>

Cai, W.J., Feely, A., Testa, J.M., Li, M., Evans, W., Alin, S.R., Xu, Y.Y., Pelletier, G., Ahmed, A., Greeley, D.J., Newton, J.A., Bednarsek, N., 2021. Natural anthropogenic drivers of acidification in large estuaries. *Annual Review of Marine Science* 13, 23-55. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010419-011004>

Carvalho, J.A.R., Oliveira, N.M.G.A., Silva, H.P.B., 2017. Identificação e avaliação de impactos ambientais em domínios urbanos e rurais do entorno do rio Tracunhaém, Município de Nazaré da Mata-PE. *Caderno Prudentino de Geografia* 39, 160-174.

Cesar-Ribeiro, C., Rosa, H.C., 2021. Effects of Seasonality on the Environmental Quality of the Itanhaém Estuary. *Thalassas: An*

- International Journal of Marine Sciences 37, 745-756. <https://doi.org/10.1007/s41208-021-00329-w>
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2020. Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo. São Paulo: 246p.
- Cidreira-Neto, I.R.G., Rodrigues, G.G., 2021. Productive chain of artisanal mollusk fishing and the role of fisherwomen. *Revista Etnobiologia* 19, 172-188.
- Cloern, J.E., 2019. Patterns, pace, and processes of water-quality variability in a long-studied estuary. *Limnology and Oceanography* 64, 192-208. <https://doi.org/10.1002/lno.10958>
- Costa, C.R., Costa, M.F., Barletta, M., Alves, L.H.B., 2017. Interannual water quality changes at the head of a tropical estuary. *Environmental monitoring and assessment*, 189. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6343-2>
- Costa, C.R., Costa, M.F., Dantas, D.V., Barletta, M., 2018. Interannual and Seasonal Variations in Estuarine Water Quality. *Frontiers in Marine Science* 5. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00301>
- CPRH. Companhia Pernambucana de Meio Ambiente. 2002. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2001. Recife, 101p.
- CPRH. Companhia Pernambucana de Meio Ambiente. 2003. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2002. Recife, 97p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente E Recursos Hídricos. 2004. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2003. Recife, 98p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente E Recursos Hídricos. 2005. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2004. Recife, 95p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente E Recursos Hídricos. 2006: “Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2005. Recife, 90p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente E Recursos Hídricos. 2007. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2006. Recife, 96p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente E Recursos Hídricos. 2009a. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2007. Recife, 97p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente E Recursos Hídricos. 2009b. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2008. Recife, 96p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente. 2010. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2009. Recife, 96p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente. 2011. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2010. Recife, 100p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente. 2014a. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2012. Recife, 104p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente. 2014b. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2013. Recife, 104p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente. 2015. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2014. Recife, 104p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente. 2017. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2016. Recife, 106p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente. 2018. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2017. Recife, 11p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente. 2020a. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2018. Recife, 141p.
- CPRH. Agência Estadual De Meio Ambiente. 2020b. Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2019. Recife, 200p.
- Ducrotoy, J.P., Michael, E., Cutts, N.D., Franco, A., Little, S., Mazik, K., Wilkinson, M., 2019. Temperate estuaries: their ecology under future environmental changes. In: *Coasts and Estuaries*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00033-2>
- Fadigas, A.B.M., Garcia, L.G., 2010. Uma análise do processo participativo para a conservação do ambiente na criação da Reserva Extrativista Acaú-Goiana. *Sociedade e Natureza* 22, 561-576. <https://doi.org/10.1590/S198245132010000300012>
- Fatema, K., Wan-Maznah, W.O., Isa, M.M., 2014. Spatial variation of water quality parameters in a mangrove estuary. *International Journal*

- of Environmental Science and Technology 12, 2091-2102. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0603-2>
- Freeman, L.A., Corbett, D.R., Fitzgerald, A.M., Lemley, D.A., Quigg, A., Steppe, C.N., 2019. Impacts of Urbanization and Development on Estuarine Ecosystems and Water Quality. *Estuaries and Coasts* 42, 1821-1838. <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00597-z>
- Freire-Silva, J., Gomes, M.B., Candeias, A.L.B., Rodrigues, G.G., 2020. Análise das dinâmicas vegetacionais e impactos na zona de borda da Reserva Extrativista Marinha Acaú-Goiana (Pernambuco/Paraíba - Brasil) e sua área de entorno. *GeoNordeste* 1, 188-207.
- Ghalambor, C.K., Gross, E.S., Grosholz, E.D., Jeffries, K.M., Largier, J.L., McCormick, S.D., Sommer, T., Velotta, J.P., Whitehead, A., 2021. Ecological Effects of Climate-Driven Salinity Variation in the San Francisco Estuary: Can We Anticipate and Manage the Coming Changes? *San Francisco Estuary and Watershed Science* 19.
- Giri, S., 2021. Water quality prospective in Twenty First Century: Status of water quality in major river basins, contemporary strategies and impediments: A review. *Environmental Pollution* 271. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116332>
- Habeeb, N.J., Weli, S.T., 2021. Combination of GIS with Different Technologies for Water Quality: An Overview. *HighTech and Innovation Journal* 2. <http://dx.doi.org/10.28991/HIJ-2021-02-03-10>
- Hewitt, J.E., Thrush S.F., 2019. Monitoring for tipping points in the marine environment. *Journal of Environmental Management* 234, 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.092>
- Karydis, M., Kitsiou, D., 2013. Marine water quality monitoring: A review. *Marine Pollution Bulletin* 77, 23-36. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.012>
- Kennish, M.J., 2019. Ecology of estuaries: physical and chemical aspects. Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781351071604>
- Kitsiou, D., Karydis, M., 2011. Coastal marine eutrophication assessment: A review on data analysis. *Environment International* 37, 778-801. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.02.004>
- Lestri, H.A., Samawi, M.F., Faizal, A., Moore, A.M., Jompa, J., 2021. Physical and chemical parameters of estuaries waters around South Sulawesi. *Indonesian Journal of Geography* 53, 373-387.
- Lima, M.C., Pereira, C.A.M., Araújo, M.S.L.C., Rodrigues, G.G., Nicacio, G., 2021. Seasonal variation in biometric parameters in a population of the endangered blue land crab (*Cardisoma guanhumi*): Indicators for assessment and management. *Regional Studies in Marine Science* 45. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101804>
- Mama, A.C., Bodo, W.K.A., Ghepdeu, G.F.Y., Ajonina, G.N., Ndam, J.R.N., 2021. Understanding Seasonal and Spatial Variation of Water Quality Parameters in Mangrove Estuary of the Nyong River Using Multivariate Analysis (Cameroon Southern Atlantic Coast). *Open Journal of Marine Science* 11, 103-128.
- Munoz, H., Orozco, S., Vera, Suárez, J., García, E., Neria, M., Jiménez, J., 2015. Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* 6, 59-74.
- Najafzadeh, M., Homaei, F., Farhadi, H., 2021. Reliability assessment of water quality index based on guidelines of national sanitation foundation in natural streams: integration of remote sensing and data-driven models. *Artificial Intelligence Review* 54, 4619-4651. <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10007-1>
- Nascimento, R.C.M., Costa, C.R., Margarotto, M.G., Silva-Calavcanti, J., Costa, M.F., 2020. Qualidade da água de três estuários tropicais expostos a diferentes níveis de urbanização. *Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada* 20, 169-178. <https://doi.org/10.5894/rgci-n284>
- Pavoni, E., Crosera, M., Petranich, E., Faganeli, J., Klun, K., Oliveri, P., Covelli, S., Adami, G., 2021. Distribution, Mobility and Fate of Trace Elements in an Estuarine System Under Anthropogenic Pressure: the Case of the Karstic Timavo River (Northern Adriatic Sea, Italy). *Estuaries and Coasts* 44, 1831-1847. <https://doi.org/10.1007/s12237-021-00910-9>
- Scane, E., Scane, P.R., Ross, P.M., 2020. Climate change rapidly warms and acidifies Australian estuaries. *Nature Communications* 11, 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15550-z>
- Silva-Cavalcanti, J.S., Costa, M.F., Alves, L.H.B., 2018. Seasonal variation in the abundance and distribution of *Anomalocardia flexuosa* (Mollusca, Bivalvia, Veneridae) in an

- estuarine intertidal plain. PeerJ. <https://doi.org/10.7717/peerj.4332/supp-1>
- Spietz, R.L., Williams, C.M., Rocap, G., Horner-Devine, M.C. 2015. A Dissolved Oxygen Threshold for Shifts in Bacterial Community Structure in a Seasonally Hypoxic Estuary. PLoS ONE 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.013573>
- Sun, X., Zhang, Y., Shi, K., Zhang, Y., Li, N., Wang, W., Huang, X., Qin, B., 2022. Monitoring water quality using proximal remote sensing technology. Science of The Total Environment 803. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149805>
- Vigiak, O., Grizzetti, B., Udias-Moinelo, A., Zanni, M., Dorati, C., Bouraoui, F., Pistocchi, A. 2019. Predicting biochemical oxygen demand in European freshwater bodies. Science of the Total Environment 666, 1089-1105. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.252>
- Wang, J., Tong, Y., Zhao, D., Zheng, C., Tang, J., 2021. Satellite-Observed Decreases in Water Turbidity in the Pearl River Estuary: Potential Linkage With Sea-Level Rise. JGR Oceans.