

DOI: 10.33947/1981-741X-v19n2-4450

ANÁLISE DO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GOIANA

ANALYSIS OF WATER QUALITY MONITORING OF RIVERS IN THE GOIANA RIVER BASIN

João Carlos Morais de Araújo Júnior¹

RESUMO .

O presente estudo teve como objetivo a avaliação da qualidade da água e a determinação do índice de estado trófico da bacia hidrográfica do rio Goiana, sobre a influência das modificações espaciais e temporais das variáveis físicas, químicas e biológicas (pH, OD, DBO, fósforo total e coliformes termotolerantes). Nesse contexto, foram avaliadas sete estações de monitoramento, entre os anos de 2016 a 2018, e os resultados foram comparados com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente n.º 357/2005. Os resultados obtidos sugerem que a sazonalidade possui influência no comportamento das variáveis analisadas e foram identificadas as menores concentrações durante o período chuvoso. As análises das variáveis físicas, químicas e biológicas indicam a deterioração da qualidade da água em todos os locais monitorados, particularmente aos elevados níveis de coliformes termotolerantes, fósforo total e baixas concentrações de oxigênio dissolvido. A caracterização do estado trófico indicou que a água da bacia hidrográfica do rio Goiana apresenta concentrações de moderada a elevada de nutrientes, sendo classificada como mesotrófico a hipereutrófico. Nesse contexto, torna-se necessário o contínuo monitoramento da qualidade da água e atividades de fiscalização ambiental para a devida manutenção deste ecossistema.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade da água. Índice de estado trófico. Recurso hídrico. Sazonalidade.

ABSTRACT.

The present study aimed to assess water quality and determine the trophic state index of the Goiana River basin, on the influence of spatial and temporal changes in physical, chemical, and biological variables (pH, DO, BOD, phosphorus total, and thermotolerant coliforms). In this context, seven monitoring stations were evaluated, between the years 2016 to 2018, and the results were compared with the Resolution of the National Environment Council n.º. 357/2005. The results obtained suggest that seasonality influences the behavior of the analyzed variables and the lowest concentrations were identified during the rainy season. The analysis of physical, chemical, and biological variables indicates the deterioration of water quality in all monitored locations, particularly the high levels of thermotolerant coliforms, total phosphorus, and low concentrations of dissolved oxygen. The characterization of the trophic state indicated that the water in the hydrographic basin of the Goiana River presents moderate to high concentrations of nutrients, being classified as mesotrophic to hypereutrophic. In this context, continuous monitoring of water quality and environmental inspection activities are necessary for the proper maintenance of this ecosystem.

KEYWORDS: Water quality. Trophic state index. Water resource. Seasonality.

¹ Possui graduação em geologia pela Universidade Federal de Pernambuco (2018). Atualmente faz parte do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Pernambuco, realizando Mestrado em Geociências na área de Geologia sedimentar e ambiental

INTRODUÇÃO

Os corpos hídricos próximos de áreas urbanas são frequentemente impactados pelas atividades antrópicas exercidas ao longo da bacia hidrográfica. Desta forma, atividades como o descarte inadequado de resíduos sólidos, lançamento de esgoto sanitário pelas indústrias e pessoas contribuem de forma ativa e passiva no processo de contaminação e degradação ambiental (ARAÚJO JÚNIOR, 2020; SANTOS et al., 2018).

A deterioração da qualidade da água pode ser causada por processos naturais, em menor escala, e principalmente pela pressão antrópica sobre o ambiente aquático (ALVES et al., 2012). Os impactos encontrados em corpos hídricos são considerados como um dos principais problemas ambientais mais significativos na atualidade (SHUKLA; VAGHELA; JAIN, 2017).

A qualidade inadequada da água resulta na diminuição ou perda da biodiversidade aquática, modificações físicas-químicas no ambiente e danos à saúde das pessoas que utilizam essa água (GARRISON, 2012).

O monitoramento das características físicas, químicas e biológicas de corpos hídricos contribui na avaliação da qualidade ambiental em que este ecossistema está submetido (SILVA; ARAÚJO, 2017). A supervisão das variáveis indicadoras da qualidade da água avalia os possíveis padrões de modificações ao longo dos locais e anos monitorados, além de fornecer informações essenciais para a compreensão dos corpos hídricos e identificar quais parâmetros encontram-se fora do limite estabelecido pela legislação (KARYDIS; KITSIOU, 2013; DERISIO, 2012).

Nesse contexto, o presente estudo possui como objetivo a avaliação da qualidade da água e do índice de estado trófico na bacia hidrográfica do rio Goiana, entre os anos de 2016 a 2018, considerando as variações espaciais e temporais.

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Goiana está inserida na costa leste brasileira, Pernambuco, entre as coordenadas 7°20'20" e 7°30'15" S, e 34°55'06" e 35°10'22" O (CPRH, 2018; APRILE; FARIAS, 2001). Dispõe de uma área com 2.863 km², com cerca de

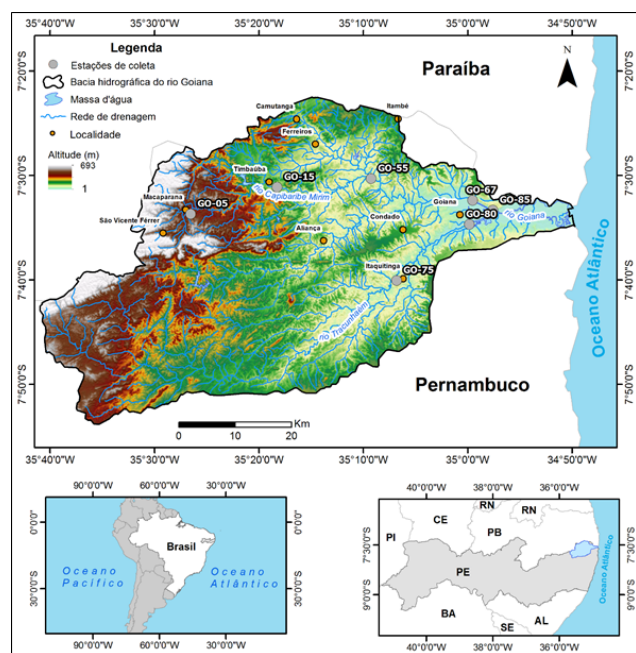
77% inserida na região Zona da Mata e 23% no Agreste, e com extensão de 17,5 km que serve de limite entre os estados de Pernambuco e Paraíba (CPRH, 1997) (Figura 1).

A rede hidrográfica é constituída principalmente pela confluência dos rios Capibaribe Mirim e Tracunhaém, que se encontram à jusante do município de Goiana e originam o rio de mesmo nome (CPRH, 1997).

O clima da região é caracterizado do tipo quente e úmido, com o período seco nos meses de setembro a fevereiro e período chuvoso nos meses de março a agosto (DANTAS et al., 2010).

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Goiana, principais rios e localidades, além da distribuição das estações de coleta.

Figure 1 - Location of the hydrographic basin of the Goiana river, main rivers and localities, in addition to the distribution of the collection stations.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A bacia hidrográfica do rio Goiana apresenta quatro compartimentos de relevo: Planícies Costeiras, os Tabuleiros Costeiros, as Colinas da Zona da Mata e parte da encosta do Planalto da Borborema (JATOBÁ, 2006). A geologia da região é caracterizada por rochas Pré-Cambrianas que são representadas pelo Complexo Vertentes (biotita xistos, paragnaisses, quartzitos, metadacitos, metavulcânicas e rochas calcissilicáticas), por sedimentos mal consolidados de idade Oligo-Mioceno composto pela Formação

Barreiras e sedimentos arenoargilosos inconsolidados do Quaternário (CPRM, 2001).

As atividades exercidas na região são compreendidas pela pecuária, policulturas, abastecimento, irrigação e principalmente, plantação da cana-de-açúcar, recebimento de efluentes agroindustriais e domésticos (COSTA et al., 2018; CPRH, 2016).

Aquisição de dados

As informações relativas à qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Goiana foram obtidas dos relatórios de monitoramento de bacias hidrográficas no estado de Pernambuco. O monitoramento da água nesta bacia hidrográfica foi realizado com frequência bimestral, pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) e as análises seguiram a metodologia proposta pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 th ed. (CPRH, 2018; APHA, 2017). Este estudo faz uma abordagem dos dados públicos, que ao decorrer do tempo, muitas vezes não se tem utilizado todo o seu potencial. Desta forma, a interpretação dos dados disponíveis pela CPRH contribui com a melhor compreensão do estado de saúde ambiental dos corpos hídricos ao longo dos anos (COSTA; COSTA; BARLETTA, 2019).

Neste estudo foram avaliadas as seguintes variáveis físicas, químicas e biológicas: pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total e coliformes termotolerantes. Posteriormente, os resultados obtidos foram comparados com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente n.º 357/2005 (CONAMA, 2005) para avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Goiana, que é predominantemente enquadrada como água doce de classe 2. Dessa maneira, são apresentados na tabela 1 os limites propostos pelo CONAMA n.º 357/2005 para os parâmetros utilizados neste estudo.

Tabela 1 - Limites estabelecidos segundo a Resolução do CONAMA n.º 357/2005.

Table 1 - Limits established according to CONAMA Resolution No. 357/2005

Águas doces – Classe 2	
Variáveis	Valor
pH	6 a 9
Oxigênio Dissolvido	≥ 5
Demanda bioquímica de oxigênio	≤ 5
Fósforo total	≤ 0,1
Coliformes Termotolerantes	≤ 1.000

Fonte: Elaborado pelo autor com os dados fornecidos pela Resolução do CONAMA n.º 357/2005.

O monitoramento da qualidade da água foi realizado em sete estações ao longo da bacia hidrográfica do rio Goiana, no período de junho de 2016 a setembro de 2018, sendo analisadas 68 amostras de água. A tabela 2 exibe a descrição das estações de monitoramento utilizadas para o presente estudo.

Tabela 2 - Estações de monitoramento na bacia hidrográfica do rio Goiana

Table 2 - Monitoring stations in the hydrographic basin of the Goiana river.

Estação de monitoramento	Corpo d'água	Localidade	Coordenadas	
			Latitude(S)	Longitude(O)
GO-05	Rio Capibaribe Mirim	Macaparana	7°33'42.06"	35°26'32.40"
GO-15	Rio Capibaribe Mirim	Timbaúba	7°31'7.77"	35°18'14.45"
GO-55	Rio Capibaribe Mirim	Ferreiros	7°30'18.47"	35°9'15.25"
GO-67	Rio Capibaribe Mirim	Goiana	7°32'24.22"	34°59'30.68"
GO-75	Rio Tracunhaém	Itaquitinga	7°40'4.12"	35°6'48.80"
GO-80	Rio Tracunhaém	Goiana	7°34'42.00"	34°59'49.94"
GO-85	Rio Goiana	Goiana	7°33'20.27"	34°57'34.77"

Fonte: Elaborado pelo autor com os dados fornecidos pela CPRH (2018).

Índice de Estado Trófico (IET)

O índice do estado trófico possui como objetivo a classificação dos corpos hídricos em níveis de trofia a partir da quantidade de nutrientes presentes em sua coluna d'água e sua relação com o crescimento excessivo de algas e macrófitas aquáticas (CETESB, 2018).

O uso do IET para fósforo total é adaptado para ambientes lóticos tropicais por Lamparelli

(2004). O cálculo do Índice de Estado Trófico (IET) da bacia hidrográfica do rio Goiana está de acordo com a equação 1 e o seu comportamento ambiental (Quadro 1).

$$IET(PT) = 10 * \left(6 - \frac{(0,42 - 0,36 * \ln(PT))}{\ln(2)} \right) - 20 \quad (1)$$

Onde:

PT: concentração de fósforo total em µg.L-1;

Ln: logaritmo natural.

Quadro 1 - Classificação para o estado trófico.

Table 1 - Classification for trophic status

Estado Trófico	IET	Características
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	Corpos d'água limpos, produtividade muito baixa e concentrações mínimas de nutrientes que não ocasiona prejuízo ao uso da água.
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	Corpos d'água limpos, com baixa produtividade, sem interferências indesejáveis sobre os usos da água, resultante da presença de nutrientes.
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, porém geralmente com níveis aceitáveis.
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	Corpos d'água com produtividade alta em relação às condições naturais, com diminuição da transparência, em geral, afetado por atividades antrópicas. Modificações indesejáveis na qualidade da água resultante da elevação do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus usos múltiplos.
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	Corpos d'água com elevada produtividade em relação às condições naturais, baixa transparência, em geral, ocasionado por atividades antrópicas, com alterações indesejáveis frequentes na qualidade da água e episódios de floração de algas.
Hipereutrófico	IET > 67	Corpos d'água significativamente afetados por elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com seu uso comprometido, episódios de florações de algas e mortalidade de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.

Fonte: Elaborado pelo autor com os dados disponibilizados pela Cetesb (2018).

Análise estatística e tratamento dos dados

A análise estatística descritiva foi utilizada aos resultados da estação chuvosa e seca na região da bacia hidrográfica do rio Goiana, onde foram obtidos os seguintes valores: mínimo, máximo, média, mediana e desvio padrão referentes aos parâmetros utilizados nesta pesquisa.

Posteriormente foram elaborados os gráficos de boxplot referentes aos períodos chuvoso e seco para cada variável. A análise de componentes principais (ACP) também foi utilizada para auxiliar na interpretação sobre a qualidade da água e o índice do estado trófico, além de indicar os locais mais impactados, sobre a influência da sazonalidade. Os gráficos e a ACP foram realizados através do software R (R Core Team, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados sintetizados das variáveis avaliadas ao longo da bacia hidrográfica do rio Goiana,

entre os anos de 2016 a 2018, são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Resultados das variáveis físicas, químicas e biológicas ao longo da bacia hidrográfica do rio Goiana, entre os anos de 2016 a 2018. Min.: mínimo; Max.: máximo; D.P.: Desvio Padrão; PT.: fósforo total; CT.: coliformes termotolerantes. Pluv.: pluviometria.

Table 3 - Results of physical, chemical and biological variables along the hydrographic basin of the Goiana River, between the years 2016 to 2018. Min.: minimum; Max.: maximum; D.P.: Standard Deviation; PT.: total phosphorus; CT.: thermotolerant coliforms. Pluv.: pluviometry

Parâmetros	Período chuvoso					Período seco				
	Min	Max	Média	Mediana	D.P.	Min	Max	Média	Mediana	D.P.
pH	6,8	7,9	7,47	7,4	0,24	6,7	8,4	7,32	7,3	0,32
OD	0,9	8,3	4,99	5,3	1,51	0,5	8,7	4,24	4,4	1,99
DBO	0,5	7,2	2,96	2,5	1,93	1,0	14,8	4,49	3,7	3,24
PT	0,02	0,85	0,31	0,3	0,17	0,03	1,92	0,44	0,23	0,55
CT	180	160.000	25.854	3.000	51.038	180	160.000	35.881	2.200	62.098
IET	49	69	62,6	63,5	4,29	52	73	62,04	62	6,20
Pluv	19	482	157,5	136	110,6	4	94	44,6	35	28,2

Fonte: Elaborado pelo autor com os dados disponibilizados pela CPRH (2016, 2017 e 2018).

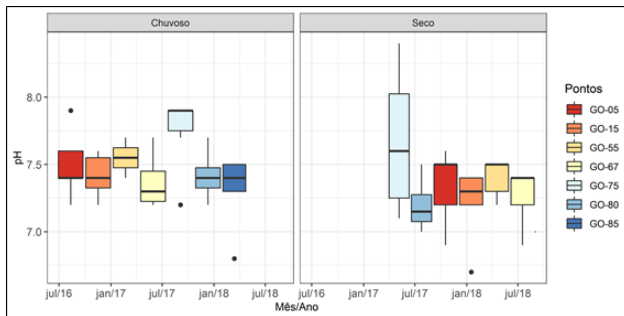
Variáveis físicas, químicas e biológicas

O pH indica a atividade do íon hidrogênio e a influência nas reações químicas e biológicas existentes nos corpos hídricos (EZZAT; MAHDY; ABO-STATE, 2012). As modificações de pH são associadas a influência de fontes naturais (dissolução de rochas e minerais) e/ou fontes antrópicas (lançamento de efluentes, por exemplo) (BRASIL, 2006).

Os valores das medianas de pH para o período chuvoso variaram de 7,3 a 7,9. Para o período seco são encontrados medianas com valores entre 7 a 7,6 (Figura 2). Neste estudo, o pH permaneceu de levemente ácido a alcalino. Dessa maneira, ao longo dos anos de 2016 a 2018 o pH está de acordo com os parâmetros exigidos pela Resolução do CONAMA n.º 357/2005 para rios de classe 2 (6 a 9). Comportamento semelhante foi observado por Costa et al. (2017) para a região estuarina do rio Goiana, entre os anos de 2006 a 2009, onde os menores valores de pH são encontrados no período chuvoso, além de indicar que pequenas alterações no pH sugerem que o ecossistema aquático se encontra protegido.

Figura 2 - Variação espaço temporal do pH.

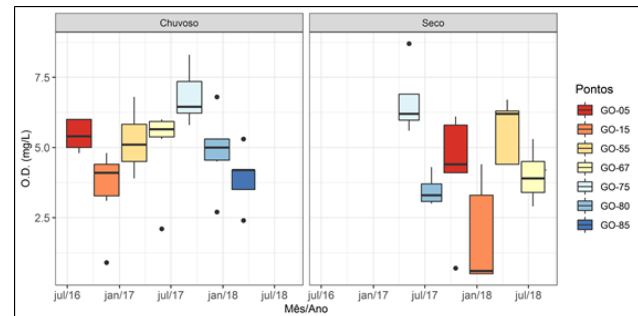
Figure 2 - Temporal variation of pH.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 3 - Variação espaço temporal de oxigênio dissolvido.

Figure 3 - Temporal variation of dissolved oxygen.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O oxigênio dissolvido é um importante parâmetro para a verificação do estado de saúde de um corpo hídrico. A concentração de oxigênio na água é relacionada com os processos físicos, químicos e biológicos existentes na coluna d'água, além de atividades antrópicas (lançamento de esgoto doméstico e industrial) (IORYUE; WUANA; AUGUSTINE, 2018).

São encontradas as maiores medianas de OD no período chuvoso (4,1 mg/L a 6,45 mg/L) quando comparado ao período seco (0,6 mg/L a 6,2 mg/L) (Figura 3). As maiores concentrações no período chuvoso são associadas a fatores como o aumento pluviométrico e ao maior fluxo das correntes que contribuem na difusão e mistura do oxigênio atmosférico na coluna d'água (IZONFUO; BARIWENI, 2001).

A legislação brasileira propõe que OD seja superior ou igual a 5 mg/L para águas de classe 2. O comportamento do OD ao longo da bacia hidrográfica do rio Goiana apresenta-se heterogêneo, contudo as estações de coleta GO-15 (4,1 mg/L) e GO-85 (4,2 mg/L) apresentam as menores medianas e são as mais impactadas para o período chuvoso. Por sua vez, para o período seco, as estações de coleta GO-05 (4,4 mg/L), GO-15 (0,6 mg/L), GO-67 (4 mg/L) e GO-80 (3,3 mg/L) apresentam as menores medianas nas concentrações de OD. Baixas concentrações de OD indicam o maior aporte de carga orgânica oriunda do lançamento de esgoto doméstico e industrial na região (COSTA et al., 2018).

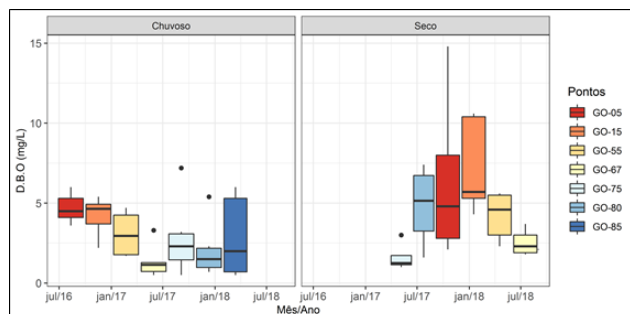
A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) indica a quantidade de oxigênio dissolvido na coluna d'água que é requerido por organismos aeróbios durante a oxidação de substâncias orgânicas na água. A elevação do DBO afeta diretamente a quantidade de OD disponível no corpo hídrico e pode ocasionar o empobrecimento do oxigênio dissolvido na água, provocando a morte da biota aquática (BHATERIA; JAIN, 2016). A diluição de efluentes ricos em matéria orgânica contribui consideravelmente com o aumento do DBO nos corpos hídricos (KENNISH, 1991).

Neste estudo, os menores valores das medianas de DBO (1,15 mg/L a 4,65 mg/L) foram encontrados no período chuvoso, em relação ao período seco (1,25 mg/L a 5,7 mg/L) (Figura 4). A influência da sazonalidade no DBO apresenta comportamento oposto do verificado com o oxigênio dissolvido (Figura 3). Este comportamento reflete o aumento do fluxo do rio durante o período chuvoso e melhora da difusão do oxigênio atmosférico na coluna d'água, o que contribui para a diminuição da concentração de DBO (APRILE; FARIAS, 2001).

A legislação brasileira sugere limite máximo de 5 mg/L para águas de classe 2. Observa-se na figura 4, para o período chuvoso, o DBO apresenta tendência na diminuição das medianas. Contudo, são encontrados valores discrepantes (outliers) maiores que o limite estabelecido, para o período chuvoso, para os pontos: GO-75 e GO-80. Para o período seco os locais mais impactados são: GO-05, GO-15 e GO-80.

Figura 4 - Variação espaço temporal da demanda bioquímica de oxigênio.

Figure 4 - Time-space variation of biochemical oxygen demand.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

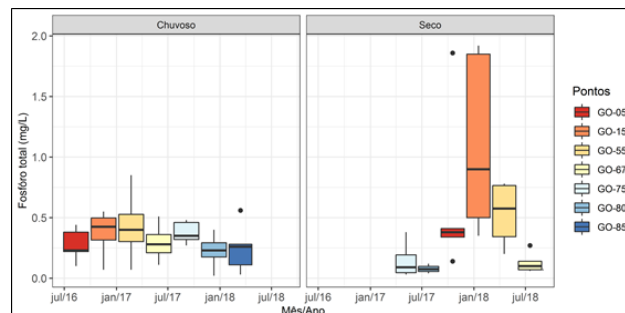
O fósforo é um dos nutrientes mais importantes para o desenvolvimento de plantas. Entretanto, o excesso desse nutriente ocasiona a proliferação elevada de algas que podem prejudicar a sobrevivência de peixes e a produção de bactérias que produzem toxinas que afetam adversamente a qualidade da água (JADHAV; SINGARE, 2015).

Os valores das medianas para fósforo total variaram entre 0,23 mg/L a 0,42 mg/L para o período chuvoso e 0,07 mg/L a 0,9 mg/L para o período seco (Figura 5). As maiores concentrações de fósforo são encontradas no período seco e pode sugerir a intensa atividade antrópica na região pelo uso de fertilizantes nas plantações de cana-de-açúcar e lançamento de efluentes da região (BARLETTA; COSTA, 2009). Comportamento oposto foi observado por Costa et al. (2017) para o estuário do rio Goiana, sendo encontradas as maiores concentrações para o período chuvoso, entre os anos de 2006 a 2009. Tal comportamento foi associado pelo maior índice pluviométrico e conseqüentemente ao maior escoamento superficial do solo que transporta parte dos fertilizantes (à base de fósforo) e matéria orgânica das plantações de cana-de-açúcar para o rio (NHIWATIWA; DALU; BRENDONCK, 2017).

A Resolução do CONAMA n.º 357/2005 sugere limite para rios de classe 2, devem possuir concentração máxima de 0,1 mg/L. A Bacia hidrográfica do rio Goiana, de forma geral, apresenta elevadas concentrações de fósforo total, e desta forma, não se encaixa no limite estabelecido pela legislação brasileira.

Figura 5 - Variação espaço temporal da fósforo total.

Figure 5 - Time variation of total phosphorus.



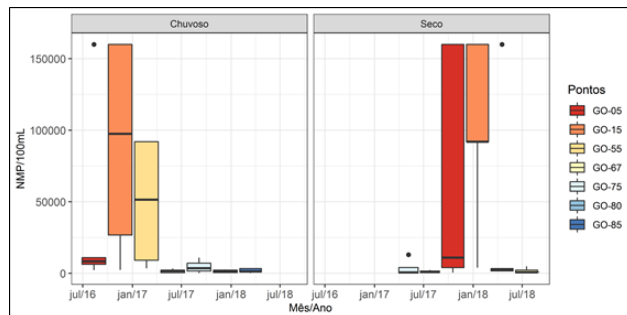
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os valores das medianas para coliformes termotolerantes variaram de 1.300 NMP/100mL a 97.500 NMP/100mL para o período chuvoso e 650 NMP/100mL a 92.000 NMP/100mL para o período seco (Figura 6). A Resolução do CONAMA n.º 357/2005 sugere limite de 1.000 NMP/100mL para águas de classe 2. Desta forma, percebe-se o intenso impacto no corpo hídrico para os pontos GO-15 e GO-55 para o período chuvoso e os pontos GO-05 e GO-15 para o período seco, sendo associado por fontes pontuais de lançamento de esgotos industriais e domésticos na região. Resultados semelhantes foram encontrados por Aprile e Farias (2001) para a bacia hidrográfica do rio Goiana. Os autores encontraram valores entre 562 NMP/100mL a 107.999 NMP/100mL e atribuem as elevadas concentrações de coliformes termotolerantes como fontes de poluição orgânica, sendo associada a carência do sistema de esgotamento sanitário durante os anos de 1990 a 1998. As elevadas concentrações de coliformes termotolerantes representam grande preocupação para a saúde pública, sendo primordial o contínuo monitoramento na região (JOVANOVIC et al., 2017).

Dessa maneira, percebe-se o aumento da quantidade de coliformes termotolerantes e a degradação da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Goiana, além de indicar o carente sistema de esgotamento sanitário após 20 anos e a necessidade urgente da atuação dos órgãos públicos para remediar tal situação.

Figura 6 - Variação espaço temporal dos Coliformes termotolerantes.

Figure 6 - Time-space variation of thermotolerant Coliforms.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Índice do estado trófico

A distribuição do IET mostra-se diversificado nos anos avaliados, contudo observa-se que no período chuvoso foram encontrados, na maioria dos anos, graus de trofia menores quando comparado ao período seco. As medianas obtidas para IET variaram entre 62 a 65,5 para o período chuvoso e 56 a 69 para o período seco (Figura 7).

O IET para a bacia hidrográfica do rio Goiana classifica a água com características eutrófica a supereutrófica para o período chuvoso, enquanto no período seco foi classificado como mesotrófico a hipereutrófico. Os graus de trofia de eutrófico a hipereutrófico indicam a elevada disponibilidade de fósforo na coluna d'água e podem ocasionar o crescimento excessivo de algas e macrófitas aquáticas, originados pela intensa atividade antrópica na região (ALVES et al., 2012). Entretanto, o estado mesotrófico indica concentrações intermediárias de nutrientes e possíveis impactos antrópicos nos corpos hídricos (CETESB, 2018).

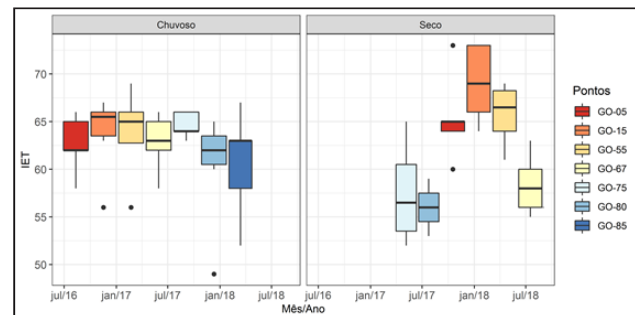
A diminuição dos valores de IET no período chuvoso está associada ao aumento do índice pluviométrico, devido à redução da intensidade de iluminação e o aumento da coluna d'água nos corpos hídricos (SOUZA et al., 2018). Resultados semelhantes foram encontrados por Souza, Costa e Costa (2019), Maia et al. (2015), Aguiar et al. (2014), onde atribuem a diminuição do grau de trofia para o período chuvoso.

De acordo com a figura 7, percebe-se o aumento da eutrofização das águas da bacia hidrográfica do rio Goiana ao longo dos anos. O comprometimento da qualidade da água ao decorrer dos anos possui influência da sazonalidade, sendo encontradas as

maiores concentrações no período seco, contudo o impacto antrópico exercido na região contribui de forma intensa e ativa em modificações negativas ao ecossistema (SOUZA; COSTA; COSTA, 2019).

Figura 7 - Variação espaço temporal do índice do estado trófico.

Figure 7 - Time-space variation of the trophic state index.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Análise multivariada

A análise dos componentes principais (ACP) dos parâmetros analisados para o período chuvoso, demonstrou que PC1 é responsável por 56,2% da variância dos dados e contém correlações fortemente positivas com coliformes termotolerantes, DBO, fósforo total e IET, enquanto a pluviometria apresenta correlação negativa (Tabela 4). PC2 explica 27,4% da variância dos dados e apresenta correlações fortemente positivas com oxigênio dissolvido e pH (Tabela 4). Os grupos formados nos eixos positivos de PC1 (GO-15 e GO-55) e PC2 (GO-55 e GO-75) destacam os locais que apresentam intenso impacto antrópico em suas águas, fato corroborado pela maior influência dos parâmetros indicadores da presença humana (fósforo total, coliformes termotolerantes, DBO e IET) e indicam fontes poluidoras originadas de esgoto doméstico com grande carga orgânica (SANTOS et al., 2020). A elevada carga orgânica encontrada nessa região produz efeitos indesejados para a saúde do corpo hídrico, onde pode ocasionar a mortandade de peixes, floração em excesso de algas e macrófitas aquáticas, classificando essa água com nível de trofia supereutrófico (CETESB, 2018).

O grupo formado no eixo negativo de PC1 (GO-05, GO-67, GO-80 e GO-85) indicam as regiões que possuem menor impacto em suas águas ao longo da bacia hidrográfica do rio Goiana, contudo tais locais são classificados com níveis tróficos variando de eutrófico a supereutrófico. Dessa maneira, este

grupo formado na ACP sugere locais com alta produtividade primária e com alterações indesejáveis na qualidade da água.

Para o período seco, a ACP apresentou que PC1 explica 57,6% da variância dos dados e possui correlações fortemente positivas com coliformes termotolerantes, DBO, fósforo total e IET, enquanto oxigênio dissolvido e pluviometria possuem correlações fortemente negativas (Tabela 4). PC2 explica 22,6% da variância dos dados e apresenta correlações fortemente positivas com oxigênio dissolvido e pH (Tabela 4). São formados dois grupos diferentes sobre a qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Goiana (Figura 8B). Os grupos formados nos eixos positivos de PC1 (GO-05, GO-15 e GO-55) e PC2 (GO-05 e GO-55) apresentam as regiões mais impactadas ao longo da bacia hidrográfica do rio Goiana e indicam águas com elevadas concentrações de nutrientes devido ao intenso lançamento de efluentes. O grau de trofia das águas variam de supereutrófico a hipereutrófico. Por sua vez, os grupos formados nos eixos negativos de PC1 (GO-67, GO-75, GO-80 e GO-85) e PC2 (GO-80 e GO-85) sugerem regiões com a qualidade da água ligeiramente melhor. A ACP apresentou que esses locais possuem menores concentrações de nutrientes e liberação de efluentes, contudo possuem baixos valores de OD, fato demonstrado pelas menores concentrações de fósforo total, DBO e coliformes termotolerantes. De acordo com o IET a água nesses locais possui produtividade intermediária, porém com possíveis complicações na qualidade de sua água, classificando-a no estado de trofia mesotrófico.

Através da análise multivariada foi possível a identificação de locais mais impactados ao longo dos anos, dentre eles os pontos GO-05, GO-15 e GO-55, respectivamente nas cidades de Macaparana, Timbaúba e próximo de Ferreiros. Resultados semelhantes foram encontrados por Aprile e Farias (2001), nos anos de 1990 a 1998, onde os autores atribuem a baixa qualidade na água nesses pontos devido à atividade das usinas de açúcar e álcool e dos municípios supracitados por não possuírem saneamento básico adequado.

Tabela 4 – Loading das variáveis físicas, químicas e biológicas nos primeiros dois componentes principais (PC1 e PC2) para os períodos chuvoso e seco. Valores em negrito significam correlação ($\geq 0,55$) com a componente principal correspondente.

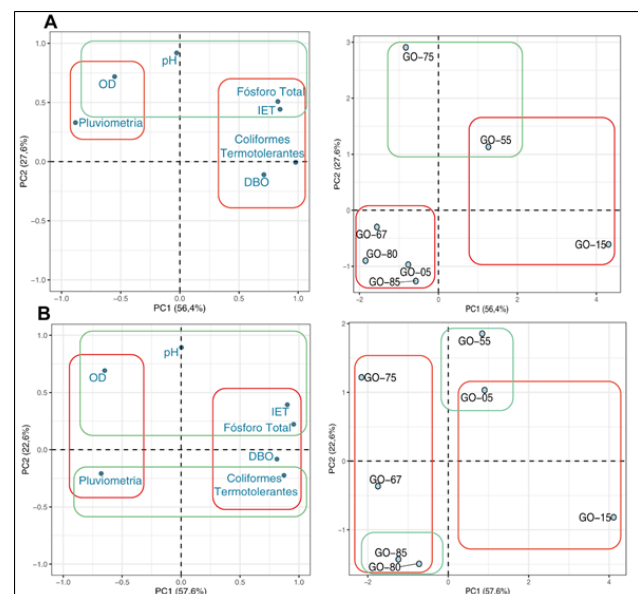
Table 4 - Loading of physical, chemical and biological variables in the first two main components (PC1 and PC2) for the rainy and dry periods. Bold values mean correlation (≥ 0.55) with the corresponding main component.

Variável	Período Chuvoso		Período Seco	
	PC1	PC2	PC1	PC2
Coliformes Termotolerantes	0,97	-0,01	0,87	-0,22
Oxigênio Dissolvido	-0,50	0,71	-0,64	0,69
Pluviometria	-0,88	0,33	-0,67	-0,21
pH	-0,02	0,91	0,00	0,89
DBO	0,71	-0,11	0,81	-0,08
Fósforo Total	0,84	0,51	0,95	0,22
IET	0,84	0,44	0,90	0,39

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 8 - Análise de componentes principais das variáveis da qualidade da água e estações de coleta. A) Período chuvoso. B) Período seco.

Figure 8 - Principal component analysis of water quality variables and collection stations. A) Rainy season. B) Dry period.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os parâmetros de qualidade da água avaliados sob o contexto da bacia hidrográfica do rio Goiana indicam deterioração na qualidade da água durante os anos analisados. Os impactos são decorrentes das atividades antrópicas, particularmente pelo lançamento de efluentes domésticos, industriais e

uso intenso de fertilizantes.

A determinação do índice do estado trófico revelou águas com elevadas concentrações de nutrientes. O IET variou de eutrófico a supereutrófico para o período chuvoso, enquanto para o período seco a água possui características mesotróficas a hipereutróficas ao longo da bacia hidrográfica.

A sazonalidade apresenta grande influência nas variáveis da qualidade da água e sobre o índice do estado trófico. Desta forma, são encontradas as menores concentrações para o período chuvoso, exceto para o oxigênio dissolvido.

O uso da análise de componentes principais demonstrou eficiência no agrupamento e distinção das regiões mais impactadas. Desta forma, percebe-se que os pontos GO-05, GO-15 e GO-55 são os mais impactados pelas atividades antrópicas ao longo da bacia hidrográfica do rio Goiana nos anos de 2016 a 2018.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) pela disponibilidade dos dados sobre o monitoramento da qualidade da água. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio científico concedido.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C.P.O.; PELEJA, J.R.P.; SOUSA, K.N.S. Qualidade da água em microbacias hidrográficas com agricultura nos municípios de Santarém e Belterra, Pará. **Revista Árvore**, v. 38, n. 6, p. 983-992. 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000600003>.

ALVES, I.C.C.; EL-ROBRINI, M.; SANTOS, M.L.S.; MONTEIRO, S.M.; BARBOSA, L.P.F.; GUIMARÃES, J.T.F. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do Rio Arari (Ilha de Marajó, norte do Brasil). **Acta Amazonica**, v. 42, n. 1, p. 115-124. 2012. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000100014>

AMIRA, A.A.; YASSIR, M.E. Bacteriological quality of drinking water in Nyala, South Darfur, Sudan. **Environ. Monit. Assess**, v. 175, p. 37-43. 2011. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1491-7>

APHA - American Public Health Association.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. WATER ENVIRONMENT FEDERATION. 23 th Edition. 2017.

APRILE, F.M.; FARIAS, V.P. Avaliação da Qualidade da Água da Bacia do Rio Goiana, Pernambuco - Brasil. **Bioikos (Campinas)**, v. 15, n. 2, p. 109-114, 2001.

ARAÚJO-JÚNIOR, J.C.M. Impactos da presença humana no ecossistema do Riacho Doce, litoral norte do estado de Pernambuco. **Educação Ambiental (Brasil)**, v. 1, n. 2, p. 51-63. 2020. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3969190>

BARLETTA, M.; COSTA, M.F. Living and non-living resources exploitation in a tropical semi-arid estuary. **Journal of Coastal Research**, v.1, n. 1, p. 371-375. 2009.

BHATERIA, R.; JAIN, D. Water quality assessment of lake water: a review. **Sustainable Water Resources Management**, v. 2, n. 2, p. 161-173. 2016. <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0014-7>

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, p. 212. 2006.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo, SP, Brasil. 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2019/10/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-SP-2018.pdf>> Acesso em: 30 jul. 2020.

CONAMA - Conselho nacional do meio ambiente. Resolução n ° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, n. 53, 18 mar., p. 58-63. 2005.

COSTA, C.R., COSTA, M.F.; BARLETTA, M. Análise integrada da qualidade da água na bacia e no

- complexo estuarino do Rio Goiana, Pernambuco, Brasil. *Revista Costas*, v. 1, n. 1, p. 133-146. 2019. <http://dx.doi.org/10.26359/costas.0107>
- COSTA, C.R.; COSTA, M.F.; BARLETTA, M.; ALVES, L.H.B. Interannual water quality changes at the head of a tropical estuary. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 189, n. 12. 2017. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6343-2>
- COSTA, C.R.; FERREIRA, M.F.; DANTAS, D.V.; BARLETTA, M. Interannual and seasonal variations in estuarine water quality. *Front. Mar. Sci.*, v. 1, n. 1. 2018. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00301>
- CPRH - Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. **Relatório bacias hidrográficas**. 2018. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/Controle_Ambiental/monitoramento/qualidade_da_agua/bacias_hidrograficas/relatorio_bacias_hidrograficas/41786%3B63044%3B4803010202%3B0%3B0.asp> Acesso em: 26 abr. 2020.
- CPRH - Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. **Relatório bacias hidrográficas**. 2017. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/bacias2017/D_Relat17-GO.pdf> Acesso em: 30 jun. 2020.
- CPRH - Companhia Pernambucana do Meio Ambiente. **Relatório bacias hidrográficas**. 2016. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/bacias2014/D_Relat16-GO%20.pdf> Acesso em: 26 maio 2020.
- CPRH. **Monitoramento da qualidade da água das bacias hidrográficas do estado de Pernambuco**. Ger. Recursos Hídricos, CPRH. Relatório Anual, Recife, PE. 1997.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Estado de Pernambuco. 2001. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/2422/1/Geologia_Rec_Min_PE.pdf> Acesso em: 05 ago. 2020.
- DANTAS, D.V.; BARLETTA, M.; COSTA, M. F.; BARBOSA-CINTRA, S.C.T.; POSSATTO, F.E.; RAMOS, J.A.A.; LIMA, A.R.A.; SAINT-PAUL, U. Movement patterns of catfishes (Ariidae) in a tropical semi-arid estuary. *Journal of Fish Biology*, v. 76, n. 10, p. 2540–2557. 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02646.x>
- DERISIO, J.C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- EZZAT, S.M.; MAHDY, H.M.; ABO-STATE, M.A. Water Quality Assessment of River Nile at Rosetta Branch: Impact of Drains Discharge. *Middle-East Journal of Scientific Research*, v. 12, n. 4, p. 413-423. 2012. DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2012.12.4.1694
- GARRISON, T. **Essentials of oceanography**. Cengage Learning, 2012.
- IORYUE, I.S; WUANA, R.A; AUGUSTINE, A.U. Seasonal variation in water quality parameters of river mkomon kwande local government area, Nigeria. *International Journal of Recent Research in Physics and Chemical Sciences (IJRRPCS)*, v. 5, n. 1, p. 42-62. 2018.
- IZONFUO, L.W.A; BARIWENI, A.P. The Effect of Urban Runoff Water and Human Activities on some physico-chemical parameters of the Epie Creek in the Niger Delta. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, v. 5, n. 1, p. 47-55. 2001. <https://doi.org/10.4314/jasem.v5i1.54941>
- JADHAV, A.M.; SINGARE, P.U. Studies on Sediment Physico-Chemical Properties of the Ulhas River Flowing along Dombivli City near Mumbai. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy*, v. 52, p. 11-21. 2015. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILCPA.52.11>
- JATOBÁ, L. Compartimentos regionais do relevo. In: **Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco**. Recife: Secretaria de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente do estado de Pernambuco, 2006, p. 14-15.
- JOVANOVIC, D.; HATHAWAY, J.; COLEMAN, R.; DELETIC, A.; MCCARTHY, D. T. Conceptual modelling of E. coli in urban stormwater drains, creek sand rivers. *Journal of Hydrology*, v. 555, n.1, p. 129–140. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.022>

- KARYDIS, M.; KITSIOU, D. Marine water quality monitoring: a review. **Mar. Pollut. Bull.** v. 77, n. 2, p. 23–36. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.012>
- KENNISH, M.J. **Ecology of estuaries: anthropogenic effects.** CRC Press, 1991.
- LAMPARELLI, M.C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento.** 2004. 238 f. Tese de Doutorado. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-20032006-075813/publico/TeseLamparelli2004.pdf>> Acesso em: 22 mar. 2020.
- MAIA, A.A.D.; CARVALHO, S.L.; CARVALHO, F.T. Comparação de dois índices de determinação do grau de trofia nas águas do Baixo Rio São José dos Dourados, São Paulo, Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 20, n. 4, p. 613-622. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020040121258>
- MENGESHA, A.; MAMO, W.; BAYE, G. (2004). A survey of bacteriological quality of drinking water in North Gondar. **Ethiopian Journal of Health Development**, v. 18, n. 2, p.112-115. <https://doi.org/10.4314/ejhd.v18i2.9946>
- NHIWATIWA, T.; DALU, T.; BRENDONCK, L. Impact of irrigation based sugarcane cultivation on the Chiredzi and Runde Rivers quality, Zimbabwe. **Sci Total Environ**, v. 587–588, p. 316–325. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.155>
- R CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2020.
- SANTOS, G.B.; VALENTINI, M.H.K.; SILVA, L.A.; FRANZ, H.S.; CORRÊA, B.L.; DUARTE, V.H.; SILVA, M.A.; CORRÊA, M.G.; VIEIRA, B.M.; NADALETI, W.C.; VIEIRA, B.M. Análise da qualidade das águas do Arroio Moreira/Fragata (RS) através de métodos estatísticos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 4, p. 217-226, 2020. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.004.0019>
- SANTOS, S.A.; GASTALDINI, M.C.C.; PIVETTA, G.G.; FILHO, O.S. Qualidade da água na bacia hidrográfica urbana Cancela Tamandá, Santa Maria/RS. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 2, p. 23-44. 2018. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018-2>
- SHUKLA, D.P.; VAGHELA, K.B.; JAIN, N. Assessment of Physico-chemical and Bacteriological Water Quality Parameters: A Review. **International Journal of Pharmacy and Integrated Life Sciences**, v. 5, n. 2. p. 1-17. 2017.
- SILVA, M.A.; ARAÚJO, R.R. Análise temporal da qualidade da água no córrego limoeiro e no rio Pirapozinho no estado de São Paulo – Brasil. **Revista Formação (ONLINE)**, v. 1, n. 24, p. 182-203. 2017.
- SOUZA, P.F.G.; COSTA, C.R.; COSTA, M.F. Diagnóstico da qualidade da água da bacia do Rio Goiana. **Revista brasileira de meio ambiente**, v. 6, n. 1, p. 2–15. 2019. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3066566>
- SOUSA, B.L.M., PELEJA, J.R.P., SOUSA, B.L.M., GOCH, Y.G.F., RIBEIRO, J.S., PEREIRA, B.S., LIMA, F.C.C., LEMOS, E.J.S. Índice de Estado Trófico de Lagos de Águas Claras Associados ao Baixo Rio Tapajós, Amazônia, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 7, p. 76-89. 2018. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.007.0008>