

A DINÂMICA DA QUALIDADE DA ÁGUA NO AÇUDE GAVIÃO: IMPACTOS E DESAFIOS NO SEMIÁRIDO

Cristiano Dantas Araújo¹
Humberto Ícaro Pinto Fontinele²

RESUMO

O presente estudo avaliou a qualidade da água do açude Gavião entre 2011 e 2020, considerando parâmetros como a concentração de fósforo, nitrogênio, clorofila A e cianobactérias. A análise utilizou dados trimestrais para identificar tendências, sazonalidades e fatores explicativos. A concentração de fósforo, nitrogênio, clorofila A e cianobactérias explicam as variáveis turbidez e cor. Os resultados indicaram estabilidade nos níveis de fósforo, nitrogênio e clorofila A, enquanto as cianobactérias apresentaram uma tendência de redução ao longo dos anos, possivelmente relacionada ao tempo de detenção hidráulica e condições climáticas. Já a turbidez e a cor exibiram tendências crescentes ao longo do ano, influenciadas por poluição difusa e sazonalidades marcantes encontradas principalmente entre os meses de junho e setembro. A regressão linear múltipla revelou que o fósforo e as cianobactérias são responsáveis por 51% da turbidez e 89% da cor, evidenciando a relevância desses fatores na variabilidade da qualidade da água. O estudo reforça a necessidade de monitoramento contínuo desses parâmetros e estratégias de manejo hídrico integradas, para mitigar impactos e garantir a segurança hídrica na região.

Palavras-chave: Qualidade da água; Açude Gavião; Monitoramento hídrico.

THE DYNAMIC OF WATER QUALITY IN THE GAVIÃO RESERVOIR: IMPACTS AND CHALLENGES IN THE SEMI-ARID REGION

ABSTRACT

This study assessed the water quality of Gavião reservoir from 2011 to 2020, considering parameters such as phosphorus and nitrogen concentrations, chlorophyll A, and cyanobacteria. The analysis used quarterly data to identify trends, seasonality, and explanatory factors, with phosphorus, nitrogen, chlorophyll A, and cyanobacteria explaining the turbidity and color variables. The results indicated stability in the levels of phosphorus, nitrogen, and chlorophyll A, while cyanobacteria showed a decreasing trend over the years, possibly related to hydraulic detention time and climatic conditions. Meanwhile, turbidity and color exhibited increasing trends throughout the year, influenced by diffuse

¹ Discente da Especialização em Gestão de Recursos Hídricos Ambientais e Energéticos, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), crdantas87@gmail.com

² Docente do Programa de Pós-graduação, PGEA da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), icarofontinele@unilab.edu.br

pollution and marked seasonality, especially from June to September. Multiple linear regression revealed that phosphorus and cyanobacteria account for 51% of the turbidity and 89% of the color, highlighting the significance of these factors in water quality variability. The study emphasizes the need for continuous monitoring of these parameters and integrated water management strategies to mitigate impacts and ensure water security in the region.

Keywords: Water quality; Gavião Reservoir; Cyanobacteria; Eutrophication; Water monitoring.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma vasta disponibilidade de recursos hídricos, com cerca de 12% da água doce mundial (Rodriguez, 2016). No entanto, essa distribuição é bastante desigual entre as regiões do país, o que gera desafios significativos para a gestão e o abastecimento de água. A região Nordeste, por exemplo, concentra 27,8% da população, mas dispõe de apenas 3,3% dos recursos hídricos, enquanto a região Norte, que abriga apenas 8,3% da população, concentra cerca de 80% da água disponível no país (ANA, 2017; IBGE, 2010). Essa disparidade resulta em dificuldades particulares para regiões mais áridas, como o Nordeste, que enfrenta desafios contínuos na gestão hídrica e no abastecimento populacional.

O uso de reservatórios na região Nordeste é crucial para garantir a segurança hídrica. No estado do Ceará, existem quase 5.600 reservatórios, com área de inundação inferior a 5 hectares, sendo a maioria pequenos reservatórios artificiais (FUNCEME, 2008). Esses reservatórios desempenham um papel fundamental no abastecimento de água para a população local. No entanto, devido às características climáticas adversas, como baixa precipitação, alta evaporação e longo tempo de detenção da água, os reservatórios da região estão sujeitos a processos de eutrofização, que afetam diretamente a qualidade da água (Brasil, 2016). A eutrofização é caracterizada pelo aumento da concentração de nutrientes, como o fósforo, que favorece a proliferação de algas, reduzindo a transparência da água e comprometendo a sua qualidade (Wiedgand *et al.*, 2021).

Outro aspecto fundamental para a avaliação da qualidade da água é a turbidez, que está relacionada à presença de sólidos em suspensão na água. Esses sólidos podem ser decorrentes de processos como a erosão do solo e o escoamento superficial (FUNASA, 2014). A turbidez não apenas compromete a estética da água, mas também afeta a eficiência dos processos de tratamento. Atividades humanas, como mineração e o lançamento de esgoto em corpos d'água, também contribuem significativamente para o aumento da turbidez. A presença de partículas

em suspensão interfere na penetração da luz solar, afetando a fotossíntese de plantas submersas e, conseqüentemente, alterando o equilíbrio ecológico do ambiente aquático.

A qualidade da água também pode ser influenciada pela presença de metais pesados e outros poluentes químicos, que são introduzidos nos corpos d'água por meio de atividades industriais, agrícolas e urbanas. O uso de pesticidas e fertilizantes na agricultura, por exemplo, pode resultar na contaminação de rios e reservatórios, causando impactos negativos na saúde dos ecossistemas aquáticos e na qualidade da água destinada ao consumo humano (Tyagi *et al.*, 2013). Conforme Montagner *et. al.* (2017), a presença de poluentes emergentes, como resíduos de medicamentos e produtos de cuidado pessoal, tem se tornado uma preocupação crescente, pois muitos desses compostos não são completamente removidos pelos sistemas de tratamento convencionais e podem causar efeitos adversos em organismos aquáticos e na saúde humana.

Nos reservatórios a alta concentração de nutrientes promove o crescimento de organismos que podem liberar toxinas na água, colocando em risco a saúde humana e animal. Esse cenário é agravado pela limitação dos sistemas convencionais de tratamento, que muitas vezes não são capazes de remover essas toxinas de maneira eficiente (Vidal; Capelo Neto, 2014). Estudos em estações de tratamento revelam a presença de protozoários patogênicos, como *Cryptosporidium spp.* e *Giardia spp.*, em mananciais contaminados, representando um risco adicional à qualidade da água e à segurança do abastecimento (Kumar *et al.*, 2016). Esses protozoários são resistentes aos processos de desinfecção convencionais, como a cloração, o que torna essencial o uso de técnicas de tratamento mais avançadas, como a filtração em membranas e a ultrafiltração, para garantir a segurança da água (Michalan *et al.*, 2019).

A variabilidade da qualidade da água bruta é influenciada por diversos fatores, incluindo o regime de chuvas, as atividades humanas e as características naturais dos mananciais (Wiedgand *et al.*, 2021). Durante o período chuvoso, por exemplo, há um aumento no escoamento superficial, que transporta sedimentos, nutrientes e poluentes para os corpos d'água, resultando em uma piora temporária da qualidade da água. Por outro lado, durante os períodos de seca, a concentração de poluentes na água tende a aumentar devido à menor diluição, o que também impacta negativamente a qualidade da água. Essa variabilidade sazonal impõe desafios adicionais para a gestão dos recursos hídricos, pois exige estratégias de monitoramento e tratamento que sejam capazes de se adaptar às mudanças nas condições da água ao longo do ano.

A adoção de tecnologias de tratamento de água adequadas às condições locais também é crucial para garantir a qualidade da água distribuída à população. Em áreas rurais e comunidades isoladas, onde o acesso a sistemas de tratamento convencionais pode ser limitado, tecnologias de tratamento descentralizadas, como a filtração lenta em areia e o uso de coagulantes naturais, têm se mostrado eficazes para melhorar a qualidade da água. Essas tecnologias apresentam baixo custo e simplicidade operacional, sendo adequadas para comunidades com recursos financeiros e infraestrutura limitados (Arantes *et al.*, 2015).

Por fim, a variabilidade da qualidade da água no Nordeste brasileiro destaca a necessidade de uma gestão integrada e adaptativa dos recursos hídricos, que leve em consideração as características específicas de cada manancial e as condições ambientais da região. A cooperação entre órgãos governamentais, instituições de pesquisa, organizações não governamentais e a sociedade civil é fundamental para desenvolver e implementar soluções que garantam a sustentabilidade dos recursos hídricos e a segurança hídrica para as gerações futuras. Somente por meio de uma abordagem integrada e colaborativa é possível enfrentar os desafios impostos pela variabilidade da qualidade da água e assegurar o acesso a água de qualidade para todos (Braga *et al.*, 2018; Francisco; Arica, 2018).

Esse artigo tem como objetivo geral realizar uma caracterização da variabilidade da qualidade da água no açude Gavião através de uma análise estatística com os dados fornecidos pela COGERH e CAGECE, utilizando regressão linear múltipla para identificar correlação entre as variáveis e como objetivo específico, caracterizar a variabilidade interanual e sazonal da qualidade da água no açude Gavião.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Ammar *et al.* (2017), o crescimento populacional nas regiões semiáridas tem aumentado a demanda por recursos hídricos. Para gerenciar essa demanda, a construção de reservatórios surge como uma medida estratégica essencial para mitigar os impactos das altas temperaturas e da escassez de chuvas, ampliando o desafio de equilibrar a oferta e a demanda de água nessa área.

Reservatórios, além do abastecimento humano, também podem suportar o desenvolvimento de práticas sustentáveis de manejo de ecossistemas, como a introdução de espécies para pesca esportiva e atividades recreativas. Para isso, é crucial manter a qualidade da

água em níveis que cumpram os padrões exigidos por lei para seus diversos usos. Entretanto, é comum que reservatórios em zonas tropicais apresentem condições eutróficas ou hipertróficas, o que gera preocupações significativas para a gestão desses ambientes, como indicam estudos de Lima *et al.* (2018), Lacerda *et al.* (2018), Lira *et al.* (2020), Raulino *et al.* (2021), Rocha e Lima Neto (2021) e Wiegand *et al.* (2021).

Estes corpos d'água são particularmente vulneráveis à manipulação da qualidade devido não apenas às condições climáticas, mas também a fatores antrópicos, conforme descrito por Lacerda *et al.* (2018). Wiegand *et al.* (2016) destacam que o elevado Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) nos reservatórios potencializa reações químicas, biológicas e físicas que podem desestabilizar os ambientes lacustres. Os mesmos autores apontam a dificuldade de controlar impactos antrópicos, como o lançamento de efluentes residuais e o descarte inadequado de resíduos sólidos, que agravam a gestão da qualidade da água em regiões com deficiência hídrica crítica (Sharifinia, 2017).

Neste contexto, especialmente no semiárido brasileiro, torna-se imperativo implementar um monitoramento contínuo e sistemático, que forneça dados atualizados sobre a qualidade da água e suas variações nos reservatórios, ao longo do tempo. Segundo Andrietti *et al.* (2016), a adoção de índices, como o Índice de Qualidade de Água (IQA) e o Índice de Estado Trófico (IET) é fundamental para avaliar a condição dos recursos hídricos (CETESB, 2017).

2.1 Qualidade da água

Conforme destacado por Medeiros *et al.* (2015), as intervenções humanas têm um impacto específico sobre a qualidade dos recursos hídricos, especialmente em regiões de alta densidade populacional, urbanização intensa e atividades de mineração. Esses fatores aceleram a manipulação das bacias hidrográficas através do escoamento de efluentes domésticos e industriais e do assoreamento de corpos d'água, esse último como consequência da remoção das matas ciliares. Além disso, o uso de produtos químicos em atividades mineradoras contribui significativamente para esse quadro. Essas alterações ambientais resultam no aumento de nutrientes como nitrogênio e fósforo nos ecossistemas aquáticos, levando ao desmatamento e à redução da biodiversidade aquática, incluindo a morte de fauna e flora. Estes são fatores preponderantes para a eutrofização dos mananciais, segundo Dupasa *et al.* (2015), exacerbando os desafios para a gestão sustentável da água.

Antonioun *et al.* (2010) relatam que o aumento da flora aquática e a eutrofização dos mananciais resultam em procedimentos de microrganismos fotossintetizantes tóxicos, como as cianotoxinas. Esses organismos estão presentes nas florações nocivas de microalgas e

cianobactérias, que formam camadas espessas e densas abaixo da superfície da água. Esse crescimento excessivo evita a passagem da luz solar nas camadas mais profundas da água, criando condições propícias anaeróbicas da matéria orgânica e a consequente depleção do oxigênio dissolvido, como documentado por Weirich *et al.* (2014).

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2016), este processo é particularmente preocupante e se torna ainda mais relevante diante das projeções para 2050, que indicam que um terço da população mundial poderá ser afetada por problemas associados à qualidade da água exacerbada por aparências, como a eutrofização. Esta situação alarmante exige uma atenção urgente para mitigar os impactos ambientais e proteger os recursos hídricos globais.

Cianobactérias do gênero *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, *Cylindrospermopsis* e *Nodularia* figuram entre as mais comuns e possuem elevada capacidade de produzir toxinas, causando impactos negativos ao ambiente e comprometendo outros microrganismos que ali vivem, de acordo com Coetzee *et al.* (2011).

De acordo com Song *et al.* (2018), a hidrodinâmica dos reservatórios desempenha papel fundamental na variabilidade da qualidade da água, sendo essencial compreender essas flutuações para uma gestão eficiente dos recursos hídricos. Inúmeros estudos já abordaram essa variabilidade e seus impactos (Pacheco *et al.*, 2016; Calmon *et al.*, 2016). Entre as variáveis que podem afetar a qualidade da água em reservatórios, destaca-se o Tempo de Detenção Hidráulica (TDH), pois está diretamente relacionado à retenção de fósforo, assim como a retenção de outros elementos tóxicos, causando a toxicidade no corpo hídrico. Esse processo favorece a manutenção da flora aquática e, consequentemente, eleva o risco de eutrofização (Jones; Elliott, 2007; Koiv *et al.*, 2011; Wiegand *et al.*, 2016).

Durante períodos extensos de escassez de água, o TDH tende a aumentar, resultando em alterações notáveis em parâmetros como a profundidade da zona eufótica e a transparência da água, além de intensificar o processo de eutrofização, segundo Bouvy *et al.* (1999). Em geral, as características físicas de um reservatório, como sua profundidade, afetam diretamente a qualidade da água. Reservatórios mais rasos são particularmente suscetíveis ao crescimento exponencial de cianobactérias, conforme observado em estudos de Coveney *et al.* (2005), Jones e Elliott (2007), Dantas *et al.* (2011), Koiv *et al.* (2011) e Londe *et al.* (2016). Rocha e Lima Neto (2018) argumentam que um aumento em 80% da carga afluenta ao reservatório pode reduzir a concentração de clorofila a, prevenindo o crescimento exponencial das cianobactérias. Varol e Şen (2012) ressaltam que uma sobrecarga de nutrientes pode causar vários problemas ambientais, incluindo a supervisão de fitoplâncton, a sobrecarga do desequilíbrio, alterações no

sabor e no odor da água, e a morte da fauna e flora aquáticas.

Jouravlev (2004) explica que em bacias situadas em localidade de alta densidade demográfica, as impurezas descarregadas nos corpos d'água frequentemente estão localizadas próximas às áreas de captação de água de outras cidades. Essa proximidade não permite tempo suficiente para que as impurezas se decomponham e se dispersem. A situação se torna mais crítica em períodos de escassez hídrica, especialmente durante a estação seca ou anos de seca hidrológica. Isso é um dos principais fatores que elevam os custos de tratamento para tornar a água desses mananciais adequadas para o consumo humano, além de impactar outros usos da água.

2.2 Tratamento de água

Ainda segundo Dantas *et al.* (2017), embora a pré-cloração no tratamento complementar traga benefícios, sua aplicação requer um controle operacional rigoroso devido à potencial formação de subprodutos nocivos à saúde humana. Estes incluem citotoxicidade, danos ao material genético e riscos carcinogênicos. Os principais subprodutos da cloração incluem trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA), halocetonas e haloacetnitrilos, que se formam principalmente pela reação da cloração com a matéria orgânica presente na água, especialmente substâncias húmicas e fúlvicas, como relatado por Mao *et al.* (2016).

Mananciais superficiais são vitais para o abastecimento das Estações de Tratamento de Água (ETAs), ressaltando a importância de sua preservação e da aplicação rigorosa das leis de uso do solo. Cerca de 60% dos municípios brasileiros possuem legislação específica para proteger e recuperar esses mananciais, visando manter sua qualidade. A vulnerabilidade dessas águas à contaminação, seja por processos naturais ou atividades humanas como efluentes industriais e pesticidas, justifica tais medidas. Contudo, a qualidade da água dos mananciais raramente é pura e sua deterioração aumenta a necessidade de produtos químicos no tratamento, elevando os resíduos gerados e as perdas de água no processo, segundo Achon *et al.* (2011).

O estudo de Andreoli e Leite (2005), analisou 38 ETAs no Paraná. Entrevistas destacaram a importância da conservação dos mananciais para o uso das águas brutas nas estações. Contudo, foi constatado que apenas 11 dos 38 sistemas avaliados possuíam projetos de conservação de mananciais. A pesquisa também revelou que, embora as empresas reconheçam a necessidade de conservar os mananciais e a importância de programas específicos para isso, frequentemente falta investimento para a implementação desses projetos, seja por recursos próprios ou por incentivos de políticas públicas, como observado por Oliveira (2014).

2.3 Poluição dos recursos hídricos

Portanto, é evidente que a quantidade de resíduos gerados em uma ETA está diretamente relacionada à qualidade da água bruta que é tratada. A Tabela 1, baseada em um estudo de Reali (1999), ilustra a relação entre os tipos de mananciais e a quantidade de lodo seco gerado, medida em gramas, mostrando como diferentes qualidades de água influenciam diretamente na geração de resíduos nas ETAs.

Tabela 1 – Produção de resíduos conforme o tipo de manancial

Tipo de Manancial	Faixa de Produção de Resíduos
	[g de sólidos secos por m3 de água tratada]
Água de reservatório com boa qualidade	12 – 18
Água de reservatório com média qualidade	18 – 30
Água de rios com qualidade média	24 - 36
Água de reservatório com qualidade ruim	30 - 42
Água de rios com qualidade ruim	42 – 54

Fonte: Reali, 1999.

Segundo Reali (1999), a poluição dos recursos hídricos é uma realidade na maioria das cidades brasileiras, o que complica a situação para as indústrias de tratamento de água, devido aos altos custos associados. A deterioração da qualidade da água implica a necessidade de maior utilização de Iodo no processo de tratamento, resultando, consequentemente, em custos mais elevados.

Consequentemente, o lodo gerado nas Estações de Tratamento de Água (ETAs) representa cerca de 0,3 a 1% do volume total de água tratada. Adicionalmente, a qualidade das águas brutas que são submetidas ao tratamento varia com a sazonalidade. Por exemplo, durante períodos de chuva, a cor e a turbidez da água aumentam, exigindo maiores doses de coagulantes. Em contraste, em períodos de seca, as necessidades de tratamento químico são reduzidas, conforme relatado pela American Water Works Association - AWWA em 1987.

As águas brutas destinadas a novas estações de tratamento são analisadas em laboratório durante um ano, para determinar a quantidade necessária de Iodo e avaliar as variações de volume e parâmetros da água, focando nas mudanças sazonais, como chuvas intensas ou secas prolongadas. De acordo com Katayama (2015), esses resultados são específicos e não podem ser universalizados, pois dependem de constantes e coeficientes que variam conforme as particularidades de cada cenário.

É essencial que a água bruta captada seja rigorosamente analisada em seus aspectos físicos, químicos e microbiológicos, pois, sendo captada superficialmente, está mais exposta a contaminações. Segundo um estudo de Agostini *et al.* (2014), a maior parte do lodo produzido nas ETAs no Brasil ainda é liberada em corpos d'água. O Brasil possui cerca de 7500 ETAs, das quais 70% praticam esse tipo de descarte.

À medida que a população de uma cidade ou metrópole aumenta, cresce também a necessidade por água potável, elevando a vazão necessária para suprir essa demanda. No entanto, quando a água bruta está contaminada ou deteriorada, é necessário o uso intensificado de coagulantes. A qualidade da água em bacias hidrográficas está intrinsecamente ligada ao uso e ocupação do solo, como apontam Brites e Gastaldini (2007) e Zafanni (2021). Segundo Silva & Porto (2015), a poluição pode ser categorizada de duas formas: pontual e difusa. A poluição pontual tem fontes localizáveis e controláveis, como o despejo de esgoto doméstico de uma estação de tratamento em um corpo hídrico. Por outro lado, a poluição difusa é mais complexa de gerenciar por não ter uma origem específica e ser resultado de múltiplas fontes, incluindo descarte irregular de esgoto, infiltração de agrotóxicos no solo e escoamento de chorume de aterros.

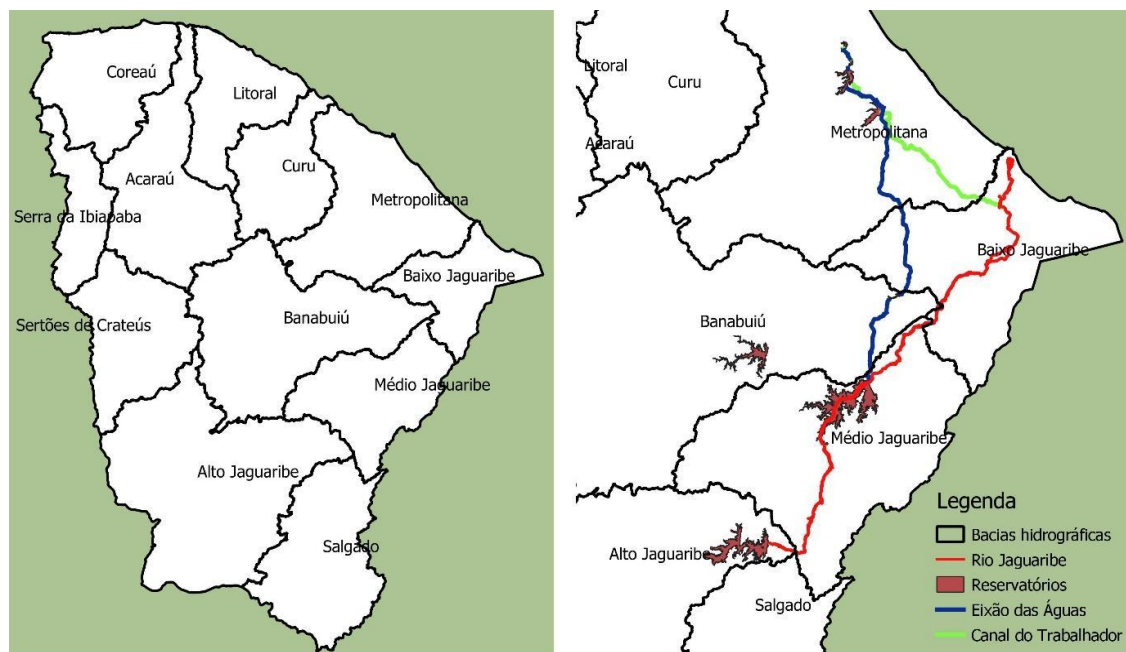
A poluição difusa em bacias hidrográficas resulta do processo de acúmulo, denominado *build-up*, no qual os poluentes acumulados na superfície são transportados para os corpos d'água por lixiviação durante os eventos de chuva (Barco; Ciaponi; Papiri, 2003). Durante os períodos chuvosos, essa poluição é uma das principais responsáveis pelo aumento da carga de nutrientes nos corpos hídricos, sendo sua intensidade diretamente influenciada pela quantidade e força das precipitações.

3 METODOLOGIA

As fontes de abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) provém, em sua maioria, de reservatórios localizados fora de sua bacia hidrográfica (Figura 01). A gestão desses recursos hídricos é responsabilidade da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do

Estado do Ceará (COGERH). Conforme as variações no volume armazenado em cada reservatório, a COGERH redireciona suas águas para a RMF. O açude Orós, por exemplo, pode transferir água para o açude Castanhão, que regula o fluxo do Rio Jaguaribe a jusante. Da mesma forma, o açude Banabuiú também pode liberar água para o Rio Jaguaribe. Quando o Rio Jaguaribe atinge Itaíçaba, suas águas podem ser desviadas pelo Canal do Trabalhador até os reservatórios interligados da RMF (Pacajus, Pacoti, Riachão e Gavião). Por fim, essas águas chegam à ETA Gavião por gravidade, onde passam pelo tratamento necessário, antes de serem distribuídas para o consumo da população.

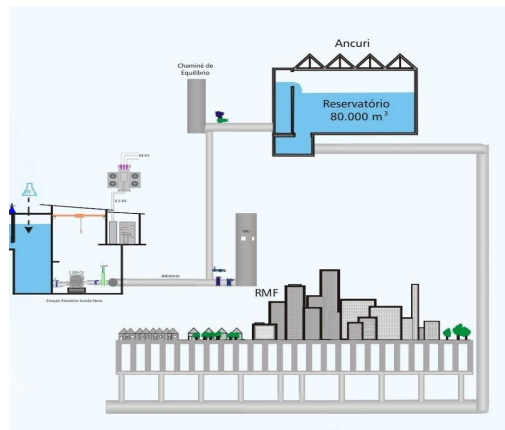
Figura 1 - Sistema de abastecimento de água para a RMF



Fonte: O autor, 2024

A água que foi tratada na ETA Gavião é transportada até o reservatório do Ancuri, situado a aproximadamente 5 km de distância e a cerca de 100 metros de altitude. Com capacidade máxima de 80.000 m³, o Ancuri distribui a água por gravidade para a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). A partir deste reservatório, a água tratada é encaminhada por adutoras de macrodistribuição para reservatórios menores, que realizam a distribuição final por meio de adutoras de microdistribuição, conforme demonstrado na Figura 2 abaixo.

Figura 2 - Abastecimento para a RMF



Fonte: CAGECE 2020

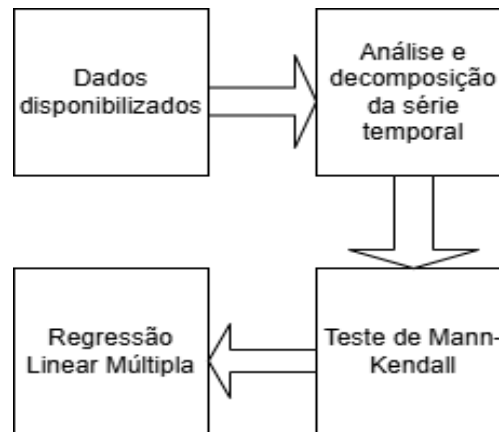
3.1 Dados utilizados

Inicialmente, com os dados da malha hídrica fornecidos pela COGERH e CAGECE, foi possível mapear toda a infraestrutura hidráulica, a malha hídrica e o percurso da água até a ETA Gavião. A partir disso, realizou-se um levantamento de dados de qualidade junto à COGERH, incluindo informações sobre a qualidade da água nos reservatórios. Posteriormente, foi feita uma análise temporal da qualidade da água no período de 2010 a 2021. A CAGECE forneceu ainda dados específicos sobre a qualidade da água afluente à ETA Gavião, como turbidez e cor no período de 2011 a 2020.

3.2 Análise estatística dos dados

Para a análise dos dados, foram utilizadas ferramentas estatísticas específicas. Inicialmente, os componentes Tendência, Efeito Sazonal e Resíduo de cada série temporal foram calculados utilizando o método de decomposição de séries temporais do Microsoft Excel. Em seguida, o componente de tendência da série foi avaliado para avaliar se existia tendência de aumento, diminuição ou ausência de tendência temporal, por meio do teste não paramétrico de Mann-Kendall, utilizando a versão gratuita do software XLSTAT. Posteriormente, foi realizada uma Regressão Linear Múltipla, através do método de Mínimos Quadrado Ordinário, para investigar a relação entre os componentes de tendência da qualidade da água nos mananciais da RMF e da Bacia do Jaguaribe, e a qualidade da água afluente à ETA Gavião. A análise estatística dos dados seguiu o fluxograma da Figura 3 abaixo.

Figura 3 - Fluxograma da análise estatística dos dados



Fonte: O autor, 2025

A análise de autocorrelação e autocorrelação parcial foi conduzida utilizando o software gratuito de estatística e previsão WESSA (www.wessa.net). Essa etapa visou verificar se os erros da regressão linear apresentavam correlação. Para todas as análises estatísticas realizadas, foi adotado um nível de significância de 5%, como forma de validação da relevância estatística do modelo, garantindo rigor na interpretação dos resultados e na validação dos modelos.

3.2.1 Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall é amplamente utilizado para avaliar a tendência de séries temporais ambientais, principalmente pelo fato de não exigir que os dados sigam uma distribuição normal. Esse método verifica se existe uma tendência significativa na série temporal, rejeitando ou não a hipótese nula (H_0), que postula a ausência de tendência. A análise é conduzida com base em um nível de significância (α), que representa a probabilidade de cometer um erro do tipo I, ou seja, rejeitar a hipótese nula mesmo quando ela é verdadeira. O teste de Mann-Kendall é definido pela Equação 1.

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \cdot \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(X_j - X_i)$$

Equação 1

Onde X_i e X_j representam os valores da série temporal; i e j são os índices de tempo; n é o quantitativo de elementos da série. Já o termo $\text{sinal}(X_j - X_i)$ é determinado pela Equação 2.

$$sina(Xj - Xi) = \begin{cases} 1, se (Xj - Xi) < 0 \\ 0, se e (Xj - Xi) = 0 \\ -1, se e (Xj - Xi) > 0 \end{cases}$$

Equação 2

A significância do teste Mann-Kendall é verificada através de um teste bilateral, com estatística padronizada Z_{MK} , definida pela Equação 3 a seguir.

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{Var(s)}}, se S > 0 \\ 0, se S = 0 \\ S + \frac{1}{\sqrt{Var(s)}}, se S < 0 \end{cases}$$

Equação 3

O sinal positivo ou negativo de Z_{MK} é o indicativo da tendência crescente ($Z_{MK} > 0$) ou decrescente ($Z_{MK} < 0$), respectivamente. O p-value indica tendência para a rejeição H_0 , em que H_0 significa que não há tendência nos dados analisados e H_1 , significa que existe tendência nos dados analisados. Os resultados do Teste de Mann Kendall, são analisados da seguinte forma: O p-value menor que 0,05 indica que existe tendência. O Sen Slope positivo indica que a tendência é crescente enquanto for um número negativo a tendência é decrescente. Kendall's tau nos indica a correlação, Rumsey (2016) sugere a seguinte classificação:

- 0,30 - > correlação fraca
- 0,50 - > correlação moderada
- 0,70 - > correlação forte
- O p-value menor que 0,05 indica que existe tendência.

3.2.2 Regressão linear múltipla

A regressão linear é uma técnica estatística multivariada utilizada para examinar a relação entre uma variável dependente de duas ou mais variáveis independentes, de forma não determinística, que alcança bons resultados quando com correlação entre as variáveis é significativamente linear (DEVORE, 2006). Especificamente, a regressão linear múltipla estabelece uma relação matemática entre uma variável dependente, que é o foco do estudo, e as variáveis independentes, que são os fatores utilizados para explicar ou prever o comportamento

da variável dependente. Essa abordagem permite modelar e interpretar como as variáveis independentes influenciam a variável dependente, através de uma equação ordinária, conforme mostrado na Equação 4.

$$y_i = \alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- α é o valor esperado de Y quando todas as variáveis independentes forem nulas;
- β_k é a influência que k-esima variável preditora tem na saída estimada, y_i , para a amostra i;
- x_{ki} é a k-esima variável preditora (independente), na amostra i;
- ε_i é o erro não capturado pelo modelo, para a i-esima variável dependente;
- y_i é a i-esima variável dependente;

A avaliação do ajuste de um modelo de regressão linear múltipla é realizada por meio de indicadores, como o coeficiente de correlação (R) entre as variáveis independentes, o coeficiente de correlação ajustado (R ajustado) entre as variáveis independentes e a análise de resíduos, que avalia a significância do modelo e a contribuição das variáveis predictoras. Além disso, o ajuste do modelo pode ser validado através da análise de variância da regressão (ANOVA), conforme destacado por Gaudio e Zandonade (2001)..

A equação matemática gerada pelo modelo de regressão é utilizada para prever os valores da variável dependente com base nas variações das variáveis independentes (ou predictoras). O método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) é comumente empregado para estimar os parâmetros do modelo, assumindo que os erros são independentes e identicamente distribuídos, sem correlação entre si. Nesse trabalho, as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial são calculadas para verificar se os erros das regressões ajustadas podem ser considerados independentes e de distribuição idêntica, garantindo assim a validade dos pressupostos do modelo.

3.2.3 Correlação

O coeficiente de correlação mede o grau de relação entre duas variáveis e pode assumir valores entre -1 e +1. Valores próximos aos extremos desse intervalo indicam uma forte correlação entre as variáveis, enquanto valores próximos de 0 sugerem uma correlação fraca ou inexistente. O sinal do coeficiente indica a direção da relação: um valor positivo representa uma correlação direta (quando uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar), e um valor

negativo indica uma correlação inversa (quando uma variável aumenta, a outra tende a diminuir) (Devore, 2006).

As hipóteses do teste são:

- 1) Hipótese 1, se X e Y são independentes, ou seja, com correlação (ρ) zero;
- 2) Hipótese 2, se e somente se $y = b + ax$, para quaisquer números a e b, sendo $a \neq 0$, podendo ter correção positiva ($\rho = +1$) ou negativa ($\rho = -1$).

O coeficiente de correlação linear de Pearson (r) é uma medida estatística que quantifica a força e direção de uma relação linear entre as variáveis conforme Mukaka (2012), que é calculado conforme a Equação 5.

$$r_{xy} = \frac{cov(x, y)}{\sqrt{var(x), var(y)}} \quad \text{Equação 5}$$

Variância refere-se à dispersão de uma única variável em torno da média, e é calculada conforme mostrado na Equação 6. A covariância examina como duas variáveis se movem em relação uma à outra.

$$Var(x) = \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{X})^2}{N - 1} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

- $\bar{X}$ é a média amostral da variável;
- N é o tamanho amostral;

O coeficiente de correlação de Spearman (ρ) é uma medida não paramétrica que avalia a relação monotônica entre duas variáveis, sejam elas contínuas ou ordinais. Ele verifica se, à medida que os valores de uma variável aumentam ou diminuem, os valores da outra variável seguem uma tendência consistente, independentemente da linearidade. Como uma alternativa ao coeficiente de correlação de Pearson, o coeficiente de Spearman é especialmente útil quando os dados não atendem aos pressupostos de normalidade ou apresentam outliers significativos, conforme Mukaka (2012). O coeficiente de Spearman é calculado conforme mostrado na equação 7.

$$\rho_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad \text{Equação 7}$$

Onde $d_i = x_i - y_i$.

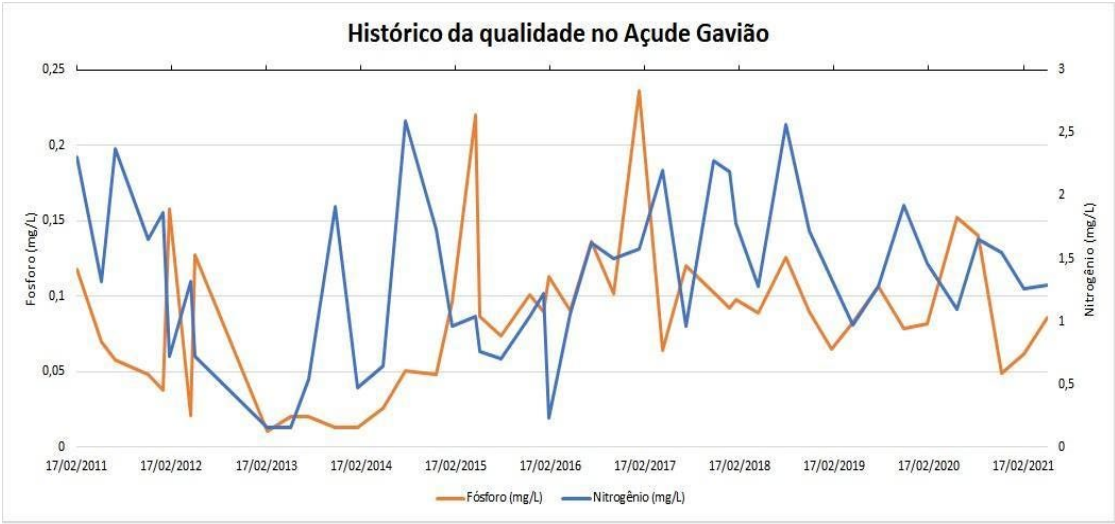
Para avaliar a regressão aplicada nessa pesquisa, são utilizados o teste de Mann-Kendall, coeficiente de correlação (R), coeficiente de correlação ajustado (R_2) a análise de resíduos dos modelos construídos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Qualidade da água no açude Gavião

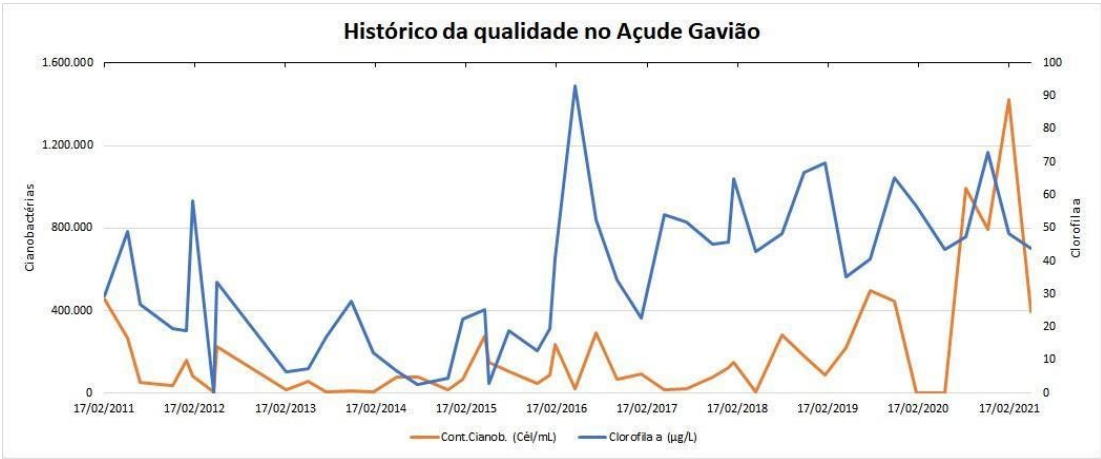
Este estudo analisou a qualidade da água do açude Gavião no período de 2011 a 2021, com foco em avaliar a série temporal da concentração de fósforo, nitrogênio e contagem de células de cianobactérias e clorofila A. Os dados, monitorados trimestralmente, de concentração de fósforo e de nitrogênio, em mg/L, são apresentados nas Figuras de 3 e 4, respectivamente.

Figura 4 - Concentração de fósforo e nitrogênio da água na bacia hidrográfica do açude Gavião.



Fonte: O autor, 2024

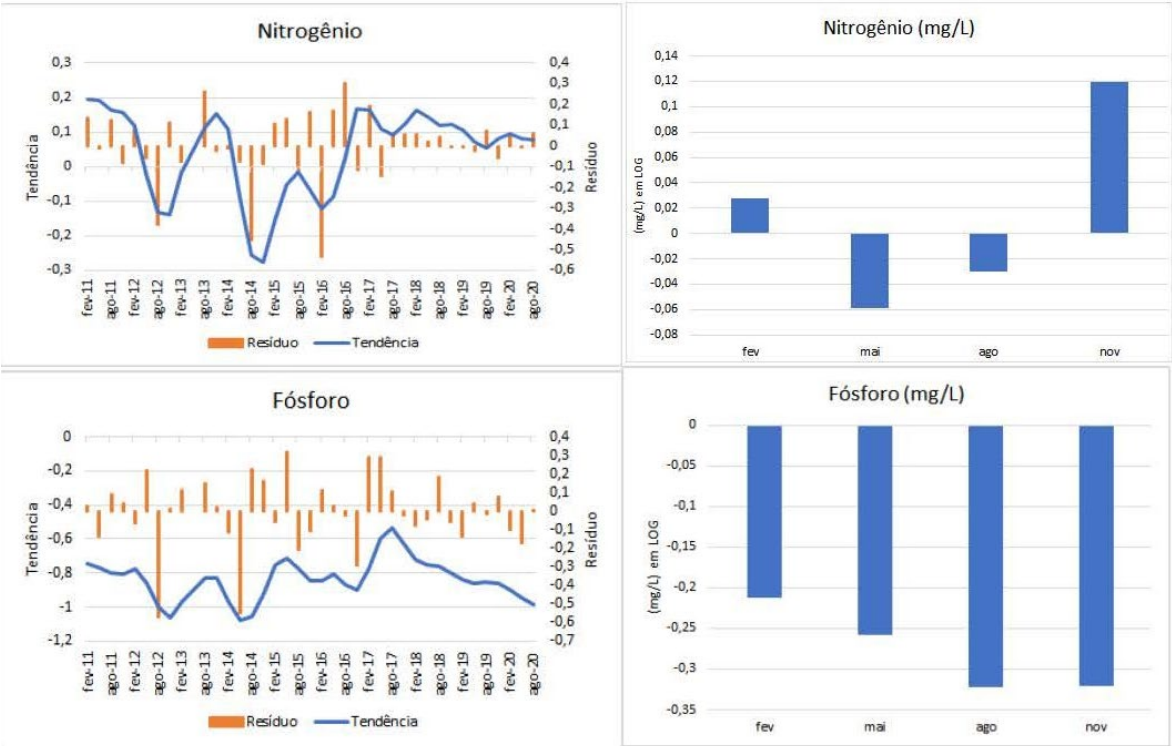
Figura 5 - Concentração de cianobactérias e clorofila A na bacia hidrográfica do açude Gavião.



Fonte: O autor, 2024

De posse desses dados, foram decompostas as séries temporais para que se pudesse encontrar as tendências, sazonalidades e resíduos de cada variável. A decomposição das séries temporais de nitrogênio e fósforo são mostrados na Figura 6.

Figura 6 - Tendência, resíduo e sazonalidade do nitrogênio e fósforo na bacia hidrográfica do açude Gavião.

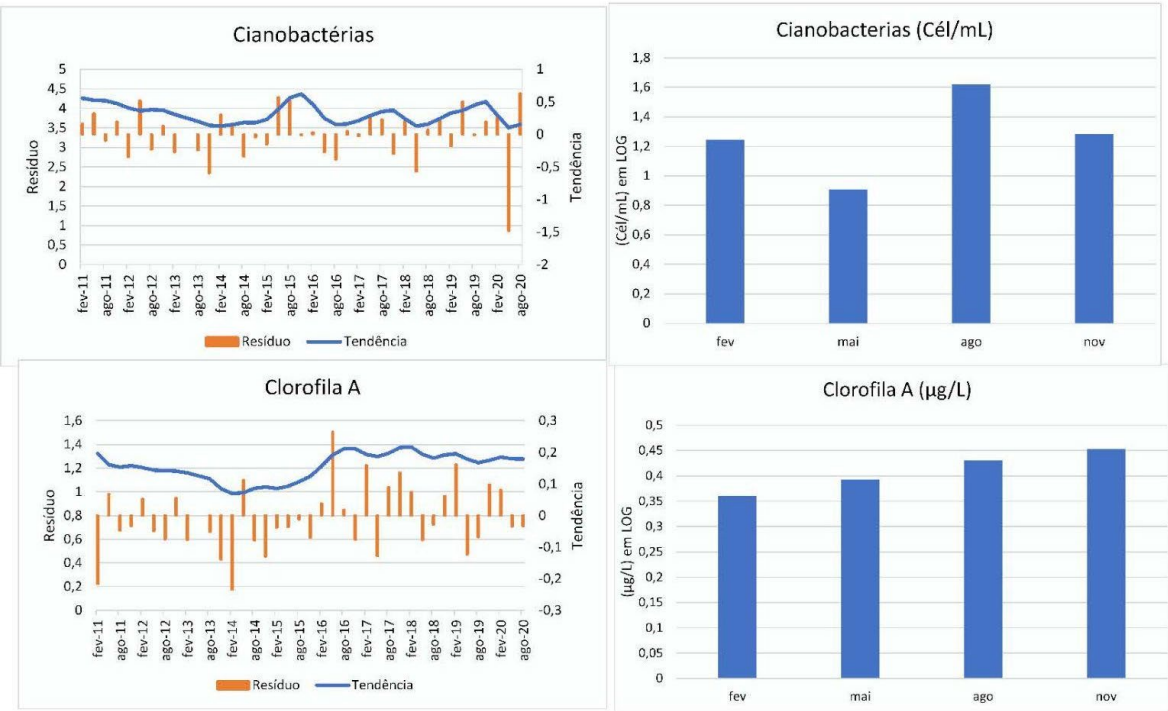


Fonte: O autor, 2024

A análise detalhada das séries temporais das concentrações de fósforo, nitrogênio, mostram a tendência positiva em alguns momentos para o nitrogênio, enquanto o fósforo sugere uma tendência negativa e ainda sugere um aumento gradual da concentração de nitrogênio,

apesar das flutuações nesta série, enquanto que o fósforo demonstra uma queda, em especial do segundo semestre de 2017 a 2020. Isso pode estar relacionado a práticas agrícolas intensivas, urbanização e outras atividades antropogênicas na bacia. Os resíduos, mostrando variações fora das tendências e sazonalidades, indicam eventos pontuais que podem incluir descargas industriais ou eventos de chuva extrema. Quanto à sazonalidade do fósforo e do nitrogênio, foi identificada para o nitrogênio, uma sazonalidade positiva e maior no mês de novembro, enquanto que no mês de fevereiro, apesar de positiva, foi pequena. Já para o fósforo, foi verificado uma sazonalidade negativa. A tendência, resíduo e sazonalidade de cianobactérias e clorofila A são mostradas na Figura 7.

Figura 7 - Tendência, resíduo e sazonalidade do nitrogênio e fósforo na bacia hidrográfica do açude Gavião.



Fonte: O autor, 2024

temperatura, juntamente com a disponibilidade de nutrientes.

Os padrões identificados nos componentes das séries temporais são vitais para a formulação de estratégias de gestão da qualidade da água para o Açude Gavião. A compreensão das tendências de longo prazo e das variações sazonais ajuda no planejamento de ações de controle de poluição e na previsão de eventos de florações de algas nocivas. Além disso, esses dados podem fundamentar políticas públicas para a conservação da qualidade da água e gestão sustentável dos recursos hídricos da região.

4.2 Teste de tendências (MANN-KENDALL)

O teste de Mann-Kendall foi aplicado para quantificar as tendências nas variáveis analisadas. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 - Mann-Kendall Test nas variáveis de fósforo, nitrogênio, clorofila A e cianobactérias

Variável	Kendall's tau	p-value	Sen Slope	Tendência
Fósforo	0,051	0,642	0,063	Nula
Nitrogênio	-0,028	0,806	0,001	Nula
Clorofila A	0,138	0,221	0,166	Nula
Cianobactérias	-0,284	0,01	-0,405	Negativa

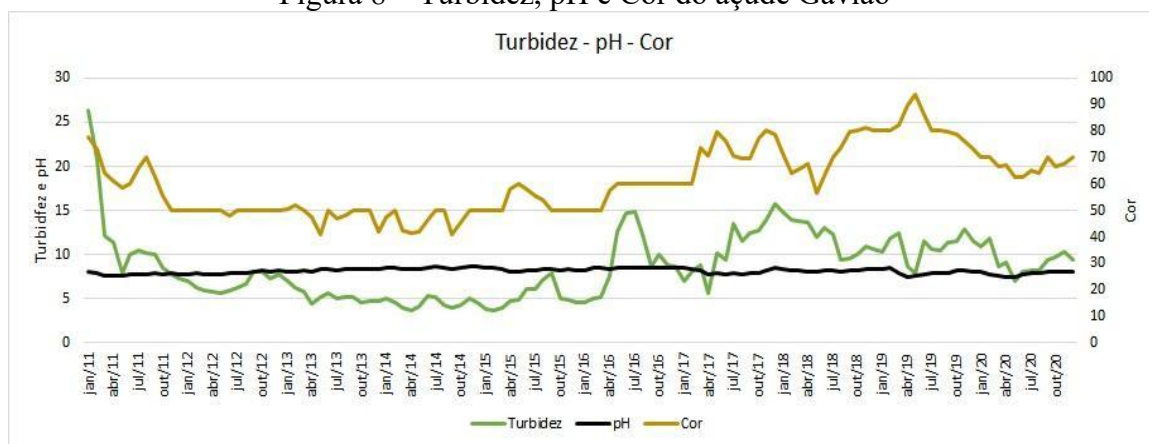
Fonte: O autor, 2024

Tomando como base a classificação do Mann-Kendal Test, foi possível perceber a ausência de tendências temporal no fósforo, nitrogênio e clorofila A e sugere que esses parâmetros têm sido relativamente constantes no período analisado, indicando um possível equilíbrio nos aportes externos e no consumo interno desses nutrientes. Por outro lado, a tendência negativa observada nas cianobactérias pode estar associada a um reduzido tempo de detenção hidráulica (TDH) e às condições climáticas, como foi o mesmo resultado encontrado por Fernandes et al. (2015), num trabalho em que se investigava a presença de metais totais e dissolvidos na região de Sorocaba-SP.

4.2.1 Cor e Turbidez

A cor e turbidez são variáveis importantes a serem analisadas numa ETA, pois elas são propriedades físicas da água que indicam a qualidade da mesma. A CAGECE disponibilizou os dados de turbidez, cor e pH da água afluenta da ETA Gavião. Esses dados são mostrados na figura 8.

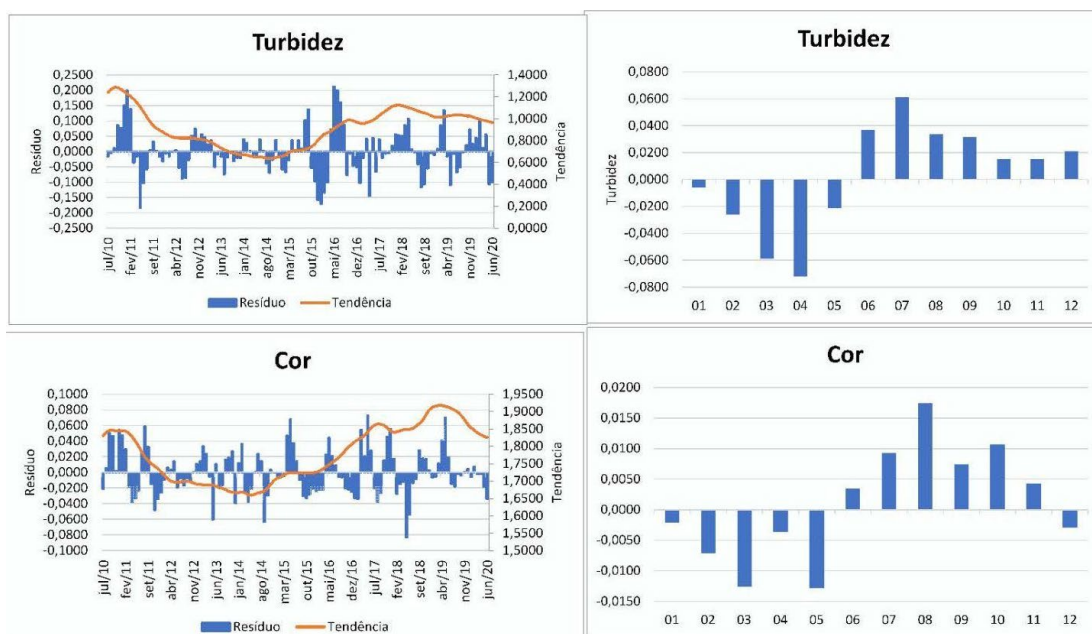
Figura 8 – Turbidez, pH e Cor do açude Gavião



Fonte: O autor, 2024

Conhecendo a série temporal da turbidez e cor, foi possível decompor a série em tendência, resíduo e sazonalidade. Os resultados dessa decomposição são mostrados na Figura 9.

Figura 9 - Tendência, resíduo e sazonalidade da turbidez e cor da água do Açude Gavião



Fonte: O autor, 2024

A decomposição das séries temporais de turbidez e cor no Açude Gavião revelou padrões de tendência, sazonalidade e resíduos, conforme ilustrado na Figura 9. A análise destas componentes nos fornece informações sobre os processos dinâmicos que influenciam a qualidade da água neste reservatório.

A presença de uma tendência pode indicar mudanças de longo prazo nos níveis desses parâmetros, possivelmente devido a alterações antropogênicas na bacia hidrográfica ou mudanças climáticas prolongadas. Os resíduos, por sua vez, representam variações não explicadas pelos componentes de tendência e sazonalidade, sugerindo a influência de eventos aleatórios ou não periódicos, como eventos extremos de precipitação elevada ou descargas pontuais.

A turbidez apresentou picos entre junho e dezembro, coincidindo com o período seco na região, o que pode ser atribuído à diminuição das precipitações e à sedimentação dos sólidos em suspensão. A redução observada de janeiro a abril pode ser verificada que as chuvas na bacia hidrográfica não estão influenciando a qualidade da água no Açude Gavião.

A cor da água, embora siga uma tendência sazonal similar à da turbidez, mostra uma variação de intensidade em menor proporção. Isso pode ser explicado pelo fato de que os compostos responsáveis pela cor na água podem ser influenciados não apenas pela erosão e escoamento superficial, mas também por processos biológicos dentro do reservatório, como o desenvolvimento de algas e outros microrganismos, que podem variar em resposta a uma complexidade de fatores.

Os testes de Mann-Kendall indicaram tendências positivas para ambas as variáveis, conforme pode ser visto na tabela 3.

Tabela 3 - Mann-Kendall Test nas variáveis de Turbidez e Cor

Variável	Kendall's tau	p-value	Sen Slope	Tendência
Turbidez	0,129	0,038	0,129	Positiva
Cor	0,405	<0,001	0,166	Positiva

Fonte: O autor, 2024

Essas tendências estão diretamente relacionadas à intensificação da poluição difusa e à recirculação de nutrientes, como observado em um estudo realizado por Wang et al. (2016) na bacia hidrográfica do rio Hanjiang, localizado no sul da China.

4.3 Regressão linear múltipla dos parâmetros de qualidade da água

A regressão linear múltipla foi usada para avaliar as relações entre fósforo e cianobactérias e as variáveis turbidez e cor. Foram utilizadas tais variáveis por conta da correlação entre elas. Os resultados estatísticos são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Indicadores estatísticos da regressão linear para turbidez e cor

Variável Alvo	<i>R</i> ²	<i>R</i> ² ajustado	Estatística F	p-value
Turbidez	0,52	0,51	39,62	<0,001
Cor	0,89	0,89	292,71	<0,001

Fonte: O autor, 2024

Após o ajuste dos parâmetros do modelo, a relação entre o nível de turbidez e cor para o fósforo e as cianobactérias é dada pela Equação 8 e 9 respectivamente:

$$\text{Turbidez} = 1,419563 + 0,208669 \text{ Fósforo} + 0,597492 \text{ Cianobactérias} \text{ (Equação 8)}$$

$$\text{Cor} = 3,688413 + 0,658189 \text{ Fósforo} + 0,375192 \text{ Cianobactérias} \text{ (Equação 9)}$$

Depois de verificar os resíduos das regressões lineares, é empregada a função de autocorrelação, para verificar o grau de independência dos erros, que muito embora as regressões tenham apresentado bons resultados em termos de ajuste, a análise revelou que os erros são correlacionados. Esse comportamento indica a necessidade de um ajuste mais adequado, utilizando o método de Mínimos Quadrados Generalizados (GLS), que é capaz de lidar com a correlação dos erros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado no açude Gavião mostrou a importância de monitorar continuamente a qualidade da água em reservatórios localizados em regiões semiáridas, onde os desafios relacionados à disponibilidade hídrica e à poluição difusa são amplificados por condições climáticas adversas, como a falta de chuvas, alta insolação e consequentemente maior evaporação. Os resultados revelaram constância na concentração de alguns parâmetros-chave, como fósforo, nitrogênio e clorofila A, indicando um possível equilíbrio entre os volumes de aportes externos e o volume de consumo interno de nutrientes. Por outro lado, a redução na presença de cianobactérias sugere que um reduzido tempo de detenção hidráulica pode ter desempenhado um papel positivo.

A identificação de tendências crescentes em turbidez e cor ressalta a necessidade de uma gestão mais eficaz para mitigar os impactos da poluição difusa e do aporte de nutrientes no sistema. A regressão linear múltipla destacou o fósforo e as cianobactérias como fatores críticos para a variabilidade das variáveis de cor e turbidez, reforçando a relevância de ações direcionadas à redução desses contaminantes.

Os resultados deste trabalho reforçam a necessidade de adoção de estratégias integradas de gestão e conservação hídrica, incluindo práticas de controle de poluição, recuperação de matas ciliares e educação ambiental. Essas medidas são fundamentais para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e a segurança hídrica da Região Metropolitana de Fortaleza, como também em outras bacias hidrográficas que possuem reservatórios destinados ao abastecimento humano, especialmente em potenciais cenários futuros de escassez hídrica.

Por fim, os resultados deste estudo fornecem subsídios valiosos para gestores públicos e órgãos ambientais, contribuindo no desafio de formatar políticas e ações que promovam a melhoria da qualidade da água e a sustentabilidade dos recursos hídricos na região.

Para avançar nessa pesquisa no sentido de identificar quais ações antrópicas desenvolvidas dentro da bacia do açude Gavião estão ocasionando um aumento dos parâmetros pesquisados, como também, para um melhor ajuste dos resultados alcançados utilizar o método dos Mínimos Quadrados Generalizados (GLS) pois ele é capaz de lidar com a correlação dos erros que foi observada nos modelos construídos através dos mínimos quadrados ordinários (MQO).

REFERÊNCIAS

- ACHON, C.L BARROSO, M.M.; CORDEIRO, J.S. Avaliação do uso da água em sistema de tratamento de recurso com proposta de uso de indicadores. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 19., 2011. *Anais [...]*. Maceió: ABRHidro, 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: informe 2021*. Brasília, 2021.
- AGOSTINI, M.; KUKAKOWSKI, M.P.; BREHM, F.A. A influência da pluviometria na edição de Iodo de estação de tratamento de água em cerâmica vermelha. *In: Fórum Nacional de Resíduos Sólidos*, 5, São Leopoldo. *Anais [...]*. São Leopoldo, 2014. Disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/596>. Acesso em: 20 out. 2024.
- AMMAR, R.; KAZPARD, V.; EL SAMRANI, A. G.; AMACHA, N.; SAAD, Z.; CHOU, L. Hydrodynamic influence on reservoir sustainability in semi-arid climate: A physicochemical and environmental isotopic study. *Journal of Environmental Management*, v. 197, p. 571-581, 2017.
- ANDRADE, C.F.; SILVA, C.M.; OLIVEIRA, F.C. Geração ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do Iodo de ETA e seus impactos na qualidade das águas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL*, 5, 2014. *Anais [...]*. Belo Horizonte: IBEAS, 2014.
- ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A.G.; ALMEIDA, F.T.; BONGIOVANI, M.C.; SCHNEIDER, R.M. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. *Rev. Ambiental. Água*, v. 11, n. 1, p. 162-175, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambiagua.1769>. Acesso em: 20 out. 2024.
- ANDREOLI, C.V.; LEITE, B.Z. Relação entre o consumo de produtos químicos e a qualidade da água distribuída em diversos sistemas de tratamento de água do Paraná. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 23., 2005. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: ABES, 2005.
- ANTONIOU, M. G; CRUZ, A.A; DUINYSUIU, D.D. Cyanotoxins: New Generation of Water Contaminants. *Journal of Environmental Engineering*, v. 131, p. 1239-1243, 2010.
- ARANTES, F. et al. Uso de coagulantes naturais em tratamento descentralizado de água para pequenas comunidades. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2015.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA. *Handbook of water treatment plant waste management*. Denver: American Water Works Association, 1987.
- BARCO, O. J., CIAPONI, C. PAPIRI, S. Quantitative and qualitative analysis of storm water runoff in an urban experimental catchment. *In: WORLD WIDE WORKSHOP FOR YOUNG ENVIRONMENTAL SCIENTIST*, 2., 2003. *Anais [...]*. Paris, France, 2003.
- BOUVY, M., MOLICA, R., DE OLIVEIRA, S., MARINHO, M., BEKER, B. Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in a shallow reservoir in the

semi-arid region of northeast Brazil. *Aquatic Microbial Ecology*, v. 20, p. 285- 297, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/ame020285>. Acesso em: 05 nov. 2024.

BRAGA, F. M. G. ; MELO, A. E. S. ; FERREIRA, M. A. ; BRANDAO, C. C. S. . Comparação de Custos de Tratamento de Água por Técnica Avançada e Convencional no Distrito Federal - Brasil. In: XXXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2018, Guayaquil. LIBRO DE TRABAJOS TÉCNICOS ORALES, 2018. p. 77.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Plano Nacional de Recursos Hídricos*. Brasília, 2016.

BRITES, A. P.; GASTALDINI, M. C. C. Avaliação da Carga Poluente no Sistema de Drenagem de Duas Bacias Hidrográficas Urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, n. 4, p. 211-221, out/dez, 2007.

CALMON, A. P. S., SOUZA, J. C., DOS REIS, J. A. T., MENDONÇA, A. S. F. Uso combinado de curvas de permanência de qualidade e modelagem da autodepuração como ferramenta para suporte ao processo de enquadramento de cursos d'água superficiais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 1, p. 118-133, 2016.

CETESB. *Apêndice D – 2017*. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Apendice-D-Indices-de-Qualidade-das-Aguas.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

COETZEE, L.A. A Trophic State Index for Tropical/subtropical Reservoirs. *Ecological Engineering*, v. 60, p. 126-1340, 2011.

COVENEY, M. F., LOWE, E. F., BATTOE, L. E., MARZOLF, E. R., CONROW, R. Response of a eutrophic, shallow subtropical lake to reduced nutrient loading. *Freshwater Biology*, v. 50, p. 1718-1730, 2005.

DANTAS, E. W., MOURA, A. N., BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. do C. Cyanobacterial blooms in stratified and destratified eutrophic reservoirs in semi-arid region of Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 83, n. 4, p. 1327-1338, 2011.

DANTAS, A. D. B., DI BERNARDO, L., VOLTAN. P. E. N., KOYAMA, M. H. Avaliação da eficiência do cloro gerado a partir de sal nas etapas de pré e pós-cloração da água do rio Piracicaba. In: CONGRESSO ABES FENASAN, 2017. *Anais [...]*, São Paulo, 2017.

DEVORE, J. L. *Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências*; tradução Joaquim Pinheiro Nunes da Silva. São Paulo: Cengage Learning, 2006.

DUPASA, R.; DELMASC, M.; DORIOZD, J. M.; GARNIERE, J.; MOATARF, F.; GASCUEL-ODOUXA, C. Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk. *Rev. Ecological Indicators*, v. 48, 2015, p. 396-407, 2015. Disponível em: DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.08.007. Acesso em: 15 abr. 2024.

FERNANDES, A. M., CONCEIÇÃO, F. T., SARDINHA, D. S., GODOY, L. H., MORAES PEDRAZZI, F. J. Influência sazonal no transporte específico de metais totais e dissolvidos nas águas fluviais da bacia do Alto Sorocaba (SP). *Geochimica Brasiliensis*, v. 29, n. 1, 2023.

Disponível em: <https://geobrasiliensis.emnuvens.com.br/geobrasiliensis/article/view/410>. Acesso em: 21 jul. 2024.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. *Relatório Técnico*, 2008.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. *Manual de Saneamento*. Brasília, 2014.

GAUDIO, A. C.; ZADONADE, E. Proposição, Validação E Análise Dos Modelos Que Correlacionam Estrutura Química E Atividade Biológica. *Química Nova*, v. 24, n.5, p.658-671, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/bmMxk68vrMfHVzLqsbBbjdF/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 19 out. 2024.

JONES, I. D., ELLIOTT, J. A. Modelling the effects of changing retention time on abundance and composition of phytoplankton species in a small lake. *Freshwater Biology*, v. 52, p. 988-997, 2007.

JOURAVLEV, A. Drinking Water Supply and Sanitation Services on the Threshold of the XXI Century. *Rev. Recursos Naturais y Infraestructura*, série 74. Santiago de Chile: Cepal, 2004.

KATAYAMA, V.T.; MONTES, C.P. FERRAZ, T.H.; MORITA, D.M. Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica. *Rev.Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 4, p. 559-569, 2015.

KOIV, T., NÖGES, T., LAAS, A. Phosphorus retention as a function of external loading, hydraulic turnover time, area and relative depth in 54 lakes and reservoirs. *Hydrobiologia*, v.660, p. 105-115, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0411-8>. Acesso em: 18 out. 2024.

KUMAR, M. et al. Monitoramento de protozoários patogênicos em estações de tratamento de água. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016.

LACERDA, L.D., SANTOS, J.A. MARINS, R.V., DA SILVA, F.A.T.F. Limnology of the largest multi-use artificial reservoir in NE Brazil: the Castanhão reservoir, Ceará state. *An. Acad. Bras. Cienc.*, v. 90, 2018, p. 2073-2096, 10.1590/0001-3765201820180085

LIMA, B.P., MAMEDE, G.L., LIMA NETO, I.E. Monitoring and modeling of water quality in a semiarid watershed. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 23, n. 1, 2018, p. 125- 135. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018167115>. Acesso em: 10 ago. 2024.

LIRA, C.C.S., MEDEIROS P.H.A., LIMA NETO I.E. Modelling the impact of sediment management on the trophic state of a tropical reservoir with high water storage variations *An. Acad. Bras. Cienc.*, v.92, n. 1, 2020. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181169>. Acesso em: 15 ago. 2024.

LONDE, L. R., NOVO, E. M. L. M. BARBOSA, C., ARAÚJO, C. A. S. Water residence time affecting phytoplankton blooms: study case in Ibatinga Reservoirs (São Paulo, Brazil) using Landsat/TM images. *Braz. J. Bio.*, v. 76, n. 3, p. 664-672, 2016.

MAO, Y.-Q. et al. Characterization of haloacetaldehyde and trihalomethane formation potentials during drinking water treatment. *Chemosphere*, v. 159, p. 378-384, 2016.

MEDEIROS, L.C.; MATTOS, A.; LÜRLING, M.; BECKER, V. The effects of extreme events on phytoplankton dynamics in a semi arid man-made lake. *Rev. Aquatic Ecology*, v. 49, p. 293–307, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10452-0159524-5>. Acesso em: 10 jun. 2024.

MICHELAN, R. et al. Tecnologias avançadas para tratamento de água. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 2019.

MONTAGNER, C. C., VIDAL, C., & ACAYABA, R. D. Contaminantes emergentes em natrizes aquáticas do Brasil: Cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. *Química Nova*, v. 40, n. 9, p. 1094–111, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170091>. Acesso em: 02 out. 2024.

MUKAKA, M. M. (2012). Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*, v. 24, n. 3, p. 69-71.

OLIVEIRA, M.D.; REZENDE, O.L.T.; OLIVEIRA, S.M.A.C.; LIBÂNIO, M. Nova abordagem do Índice de Qualidade de Água Bruta utilizando a Lógica Fuzzy. *Rev.Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 4, p. 361-372, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522014019000000803>. Acesso em: 11 set. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *A ONU e a água*. [S. l], 2018. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/mundo-nao-pode-ver-agua-como-garantida-afirma-chefe-da-84-onu-aolancar-decada-global-de-acao/>. Acesso em: 18 nov. 2024.

PACHECO, C. H. A., DE CEBALLOS, B. S. O., LIMA NETO, I. E. Uma análise de regressão para determinação do nível de eutrofização de um reservatório do semiárido brasileiro. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, v. 9, n. 2, p. 274-289, 2016.

RAULINO, J.B., SILVEIRA, C.S., LIMA NETO, I.E. Assessment of climate change impacts on hydrology and water quality of large semiarid reservoirs in Brazil *Hydrol. Sci. J.*, v. 66, n. 8, 2021. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1933491>. Acesso em: 12 set. 2024

REALI, M.A.P. Principais características quantitativas e qualitativas do Iodo de ETAs. In: REALI, M.A.P (coord.). *Noções gerais de tratamento e disposição final de iodios de estação de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 240p. (Projeto PROSAB).

ROCHA, M.J.D., LIMA NETO, I.E. Modeling flow-related phosphorus inputs to tropical semiarid reservoirs. *Journal of Environmental Management.*, v. 295, 2021. Article 113123, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113123>. Acesso em: 12 set. 2024

ROCHA, M. J. D. ; LIMA NETO, I. E.. Internal phosphorus loading and its driving factors in the dry period of Brazilian semiarid reservoirs. *Journal of Environmental Management*, v. 312, p. 114983, 2022.

RODRIGUEZ, D. A. et al, *Variabilidade climática das vazões em bacias brasileiras*. [S.L.]: Centro de Ciência do Sistema Terrestre; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CCST/INPE); Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. (CEMADEN), 2016. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/Rodriguezetal.pdf>> Acesso em: 09 nov. 2024.

SHARIFINIA, M.; ADELI, B.; NAFARZADEGAN, A. R. Evaluation of water quality trends in the Maroon River Basin, Iran, from 1990 to 2010 by WQI and multivariate analysis. *Environmental Earth Sciences*, v. 76, n. 2., p. 1-13, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7132-5>. Acesso em: 11 set. 2024.

SILVA, J. C. A. DA; PORTO, M. F. A. Recuperação de córregos urbanos através do controle de cargas pontuais e Difusas. Córrego Ibiraporã, SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. 1, p. 82 – 90, jan./mar., 2015.

SONG, Y., ZHANG, L. -L., LI, J., CHEN, M., ZHANG, Y. -W. Mechanism of the influence of hydrodynamics on Microcystit aeruginosa, a dominant bloom species in reservoirs. *Science of the Total Environment*, v. 636, p. 230-239, 2018.

TYAGI, S. et al. Indicadores de qualidade da água e sua importância para a gestão de recursos hídricos. *Environmental Science and Pollution Research*, 2013.

VAROL, M.; E ŞEN, B. (2012) Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. *Catena*, v. 92(July), p. 1-10. Disponível em: doi:10.1016/j. Catena. 2011.11.011. Acesso em: 22 set. 2024.

VIDAL, T.; CAPELO NETO, J. Toxinas de algas em sistemas de abastecimento. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2014.

WANG, Y. A.; ZHANG, W. A.; ZHAO, Y. B.; PENG, HONG. C.; YINGYUAN, S. Modelling water quality and quantity with the influence of inter-basin water diversion projects and cascade reservoirs in the Middle-lower Hanjiang River. *Journal of Hydrology*, v. 541, p. 1348–1362, 2016.

WEIRICH, C.A; MILLER, T.R. Freshwater Harmful Algal Blooms: Toxins and Children's Health. Current Problems in Pediatric and Adolescent. *Health Care*, v.44, p. 2-24, 2014. Disponível em: Doi.: 10.1016/j.cppeds.2013.10.007. Acesso em: 28 out. 2024.

WIEGAND, M.G.; PIEDRA, J.I.G.; ARAÚJO, J.C. Vulnerabilidade à eutrofização de dois lagos tropicais de climas úmido (Cuba) e semiárido (Brasil). *Rev. Eng. Sanit. Ambient*, v. 21, n. 2, p. 415-424, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016139527>. Acesso em: 13 set. 2024.

WIEDGAND, C. et al. Efeitos da eutrofização na qualidade da água em reservatórios do semiárido. *Limnology*, 2021.

ZAFFANI, A. G. *Poluição difusa da drenagem urbana com base ecohidrológica: diagnóstico atual e cenários de longo prazo em bacias urbanas em São Carlos, SP*. 2012. 174f. Dissertação

(Mestrado em Ciências-Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.