



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**

**NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS**

**CLEIDE CRUZ SOARES**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO**  
**RESERVATÓRIO DE SOBRADINHO ATRAVÉS DA ANÁLISE**  
**DE COMPONENTES PRINCIPAIS**

**SÃO CRISTÓVÃO – SE**

**2022**

**CLEIDE CRUZ SOARES**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DE  
SOBRADINHO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE COMPONENTES  
PRINCIPAIS**

Dissertação apresentada ao Núcleo de Pós-Graduação em Recursos Hídricos como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos.

**Orientador:** Prof. Dr. Carlos

Alexandre Borges Garcia

**Co-Orientador:** Prof. Dr. Silvânio

Silvério Lopes da Costa

**SÃO CRISTÓVÃO – SE**

**2022**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S676a                      Soares, Cleide Cruz  
                                Avaliação da qualidade da água do reservatório de  
Sobradinho através da análise de componentes principais / Cleide  
Cruz Soares ; orientador Carlos Alexandre Borges Garcia. – São  
Cristóvão, SE, 2022.  
50 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade  
Federal de Sergipe, 2022.

1. Recursos hídricos. 2. Água – Qualidade – Medição. 3. Limnologia.  
4. Reservatórios – Bahia. 5. Sobradinho, Barragem de (BA). 6. Análise  
multivariada. I. Garcia, Carlos Alexandre Borges, orient. II. Título.

CDU 556.18(813.8)

**CLEIDE CRUZ SOARES**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DE  
SOBRADINHO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS**

Dissertação apresentado ao Núcleo de  
Pós- Graduação em Recursos Hídricos  
como um dos requisitos para obtenção  
do título de Mestre em Recursos  
Hídricos.

APROVADA: 30 de agosto de 2022



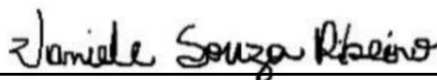
Prof. Dr. Carlos Alexandre Borges Garcia

Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos  
Orientador



Profa. Dra. Adnivia Santos Costa Monteiro  
Programa de Pós-Graduação em Recursos  
Hídricos

Examinador Interno



Profa. Dra. Vaniele Souza Ribeiro  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Campus  
Guanambi  
Examinador Externo

**SÃO CRISTÓVÃO – SE**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço àqueles que insistiram em mim e tornaram possível que esta etapa se finalizasse: meu orientador Carlos Alexandre e Co-orientador Silvânio, meu muito obrigada.

A minha família, por ser alicerce e incentivo, meus pais, irmãos, sobrinhas e avós (*in memoriam*).

Ao meu companheiro Rafael, pelo amor, apoio e otimismo.

Aos professores e funcionários do PRORH pelos aprendizados e contribuições.

Aos colegas de turma pelo companheirismo e apoio sempre que necessário.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

Aos amigos e incentivadores, minha gratidão.

## RESUMO

Dentre as várias formas de uso das águas tem-se a construção de reservatórios artificiais que além de objetivar o bem-estar social, algumas vezes geram energia hidrelétrica, também podem produzir efeitos negativos. Nesse sentido, é de extrema relevância o monitoramento adequado e periódico da qualidade das águas nessas regiões de abrangência. Assim, o objetivo do presente estudo foi aplicar análise multivariada para extrair informações de um conjunto de dados de qualidade de água do reservatório de Sobradinho, para sugerir potenciais fatores que alterem a qualidade da água, considerando uma série histórica. A metodologia consistiu em aplicar a análise estatística multivariada em um dos pontos do conjunto de pontos de coleta do 1º Programa de Monitoramento do Rio São Francisco sob vazão reduzida entre os anos de 2016 e 2021, considerando variáveis físico-químicas, fitoplantônicas além de dados de precipitação e vazão. Através da matriz de correlação de Pearson fica explícita, especialmente, a influência das alterações drásticas de precipitação e do controle de vazão do reservatório. Para os parâmetros físico-químicos as variações em destaque foram da condutividade elétrica, que não seguiu tendências sazonais; da alcalinidade, que tem aumentado ao passar dos anos, provavelmente por conta da decomposição de matéria orgânica, especialmente em períodos com baixas trocas de águas; da tendência de ocorrência do processo de nitrificação entre 2016 e 2018 e da tendência da ocorrência do processo de amonificação entre 2019 e 2021, neste último com redução da disponibilidade de oxigênio na água. Dessa forma, foi possível concluir que não ocorreram diferenças sazonais quanto à avaliação dos parâmetros estudados, contudo percebe-se que ao passar dos anos a qualidade da água vem sofrendo transformações negativas que podem inviabilizar o uso para fins nobres. Portanto, é de suma importância que além do monitoramento sejam adotadas medidas de prevenção e recuperação das águas da bacia do rio São Francisco, especialmente das águas que compõem o reservatório de Sobradinho.

**Palavras-chave:** Monitoramento. Qualidade de Água. Limnologia. Análise Multivariada.

## ABSTRACT

Among the various forms of water use, there is the building of dams which, in addition to aiming at social well-being, sometimes it generates hydroelectric power, and can also produce negative effects. In this sense, it is extremely important to monitor the quality of water properly and periodically in these regions. This study aims at applying multivariate analysis to extract information from a set of water quality data collected from the Sobradinho dam, to assess potential factors that alter water quality, considering a historical series. The methodology consisted of applying the multivariate statistical analysis at one of the collection points of the 1st São Francisco River Monitoring Program, under reduced flow, between the years 2016 and 2021, considering physicochemical and phytoplankton variables in addition to data from precipitation and flow. The influence of drastic precipitation changes and the water reservoir flow control is made especially salient through Pearson's correlation matrix. Considering the physical-chemical parameters, there were outstanding variations in electrical conductivity, which did not follow seasonal trends; in alkalinity, which has increased over the years, probably due to the decomposition of organic matter, especially in periods with low water exchange; in the trend of occurrence of the nitrification process, between 2016 and 2018, and the occurrence of the ammonification process, between 2019 and 2021, the latter with reduced availability of oxygen in the water. In this way, it was possible to conclude that there were no seasonal differences regarding the evaluation of the parameters studied, however, over the years, it is clear that the quality of the water has undergone negative changes that can make unfeasible its use for noble purposes. Therefore, it is extremely important that, in addition to monitoring, preventive measures must be taken to recover the waters of the São Francisco River basin, especially the waters that make up the Sobradinho dam.

**Keywords:** Monitoring. Water Quality. Limnology. Multivariate analysis.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b> Classes de enquadramento das águas-doces e usos respectivos .....                                                                                            | 14 |
| <b>Figura 2:</b> Esquema de funcionamento de uma usina hidrelétrica.....                                                                                                      | 16 |
| <b>Figura 3:</b> Fluxo de entrada nos reservatórios .....                                                                                                                     | 19 |
| <b>Figura 4:</b> Localização do ponto de coleta.....                                                                                                                          | 29 |
| <b>Figura 5:</b> Distribuição de vazão e precipitação no período entre 2016 e 2021 no reservatório de Sobradinho. ....                                                        | 32 |
| <b>Figura 6:</b> Representação gráfica de medidas dos parâmetros temperatura, pH e condutividade, para o reservatório de Sobradinho, Rio São Francisco.....                   | 33 |
| <b>Figura 7:</b> Distribuição das concentrações de Nt, NH <sub>3</sub> e NO <sub>3</sub> em amostras de água do reservatório de Sobradinho, entre os anos de 2016 e 2021..... | 34 |
| <b>Figura 8:</b> Concentrações de P e PO <sub>4</sub> nas águas do reservatório de Sobradinho, entre 2016 e 2021. ....                                                        | 35 |
| <b>Figura 9:</b> Distribuição da concentração dos parâmetros OD e DBO, no reservatório de Sobradinho, no período de vazões reduzidas. ....                                    | 35 |
| <b>Figura 10:</b> Disposição de COT e alcalinidade no reservatório de sobradinho, em período de baixa vazão. ....                                                             | 36 |
| <b>Figura 11:</b> Distribuição da concentração de clorofila a e transparência, nas águas do reservatório de Sobradinho, entre 2016 e 2021. ....                               | 37 |
| <b>Figura 12:</b> Análise de componentes principais aplicada às variáveis do monitoramento da qualidade da água do reservatório de Sobradinho (PC1 x PC2).....                | 39 |
| <b>Figura 13:</b> Análise de componentes principais aplicada às variáveis do monitoramento da qualidade da água do reservatório de Sobradinho (PC1 x PC3).....                | 40 |



## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1:</b> Vantagens e Desvantagens dos Diferentes Tipos de Monitoramento da Qualidade da Água.....                | 20 |
| <b>Tabela 2:</b> Parâmetros do Índice de Qualidade de Água (IQANSF) e seus respectivos pesos.....                        | 23 |
| <b>Tabela 3:</b> Classificação dos valores de IQANSF. ....                                                               | 24 |
| <b>Tabela 4:</b> Variáveis do IQAR de acordo com as classes de qualidade.....                                            | 25 |
| <b>Tabela 5:</b> Parâmetros do IQAR e seus respectivos pesos. ....                                                       | 25 |
| <b>Tabela 6:</b> Classificação dos valores de IQAR.....                                                                  | 26 |
| <b>Tabela 7:</b> Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos das águas do reservatório de Sobradinho. .... | 30 |
| <b>Tabela 8:</b> Matriz de correlação de Pearson para as variáveis, de 2016 a 2021, no reservatório de Sobradinho. ....  | 37 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                    |                                                               |
|--------------------|---------------------------------------------------------------|
| AC                 | Análise Cluster                                               |
| ACP                | Análise dos Componentes Principais                            |
| AD                 | Análise Discriminante                                         |
| AF                 | Análise Fatorial                                              |
| ANA                | Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico                 |
| CBHSF              | Comitê da Bacia do Rio São Francisco                          |
| CGH                | Centrais Geradoras Hidrelétricas                              |
| CHESF              | Companhia Hidro Elétrica do São Francisco                     |
| CONAMA             | Conselho Nacional do Meio Ambiente                            |
| DBO                | Demanda bioquímica de oxigênio                                |
| FADURPE            | Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional       |
| IAP                | Instituto Ambiental do Paraná                                 |
| IBAMA              | Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| IET                | Índice de Estado Trófico                                      |
| INMETRO            | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia      |
| IQA                | Índice de Qualidade de Água                                   |
| IQA <sub>NSF</sub> | Índice de Qualidade de Água da National Sanitation Foundation |
| IQAR               | Índice de Qualidade de Água em Reservatórios                  |
| N                  | Nitrogênio                                                    |
| OD                 | Oxigênio dissolvido                                           |
| OMS                | Organização Mundial da Saúde                                  |
| PCH                | Pequenas Centrais Hidrelétricas                               |
| PH                 | Potencial hidrogeniônico                                      |
| SISNAMA            | Sistema Nacional de Meio Ambiente                             |
| STD                | Sólidos totais dissolvidos                                    |
| UHE                | Usinas Hidrelétricas de Energia                               |
| UNT                | Unidades nefelométricas de turbidez                           |

## SUMÁRIO

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                                                    | <b>9</b>  |
| <b>2. OBJETIVOS.....</b>                                                     | <b>11</b> |
| 2.1. OBJETIVO GERAL .....                                                    | 11        |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                             | 11        |
| <b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                          | <b>12</b> |
| 3.1. USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA EFETIVADOS NA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA.....         | 12        |
| 3.2. CENÁRIO ENERGÉTICO DO BRASIL.....                                       | 14        |
| 3.3. RESERVATÓRIOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS.....                              | 16        |
| 3.3.1. Hidráulica e morfologia de reservatórios .....                        | 18        |
| 3.4. MONITORAMENTO DAS ÁGUAS .....                                           | 19        |
| 3.4.1. Parâmetros utilizados na avaliação da qualidade de água.....          | 20        |
| 3.5. O USO DE ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA .....                             | 22        |
| 3.5.1. Índice de Estado Trófico (IET).....                                   | 23        |
| 3.5.2. Índice de Qualidade de Água (IQA).....                                | 23        |
| 3.5.2.1. $IQA_{NSF}$ .....                                                   | 23        |
| 3.5.2.2. $IQA_R$ .....                                                       | 24        |
| 3.6. A ESTATÍSTICA COMO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS..... | 26        |
| <b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                           | <b>27</b> |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....                                   | 27        |
| 4.2. MÉTODOS UTILIZADOS .....                                                | 29        |
| 4.2.1 Determinação de variáveis <i>in situ</i> .....                         | 29        |
| 4.2.2 Determinação de variáveis em laboratório .....                         | 30        |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                        | <b>30</b> |
| <b>6. CONCLUSÃO .....</b>                                                    | <b>41</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                       | <b>41</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A existência de vida na Terra é totalmente dependente da água, recurso este essencial para o equilíbrio dos ecossistemas bem como da sociedade humana. O crescimento populacional juntamente com a crescente exploração de recursos naturais acabaram aumentando de forma gradativa a demanda pela água, tendo em vista seus usos múltiplos, tais como, abastecimento público, irrigação, geração de energia, entre outros (TUNDISI, 2006).

De acordo com Tundisi (2009) além dessa demanda crescente, a ausência e ineficácia de gestão, a degradação proveniente de diversas fontes, o não reconhecimento deste recurso como um bem econômico, e os incontáveis problemas relacionados ao tratamento isolado dos aspectos sociais, financeiros e ambientais tem levado à degradação dos recursos hídricos, tornando-os um bem finito e muitas vezes limitado.

As principais atividades antrópicas que promovem a degradação da qualidade das águas são: o lançamento de cargas poluentes nos corpos hídricos; modificações no uso do solo e mudanças nos sistemas fluviais. Tudo isso leva ao assoreamento de corpos d'água, episódios de eutrofização, contaminação, mudança ou morte de comunidades biológicas, comprometendo assim os usos múltiplos que são assegurados por lei (BRASIL, 1997; LOPES, 2019).

A exemplo de atividades que modificam as condições naturais das águas, tem-se a construção de reservatórios artificiais, que apesar de objetivar a promoção do bem-estar social também produzem efeitos negativos. Estes alteram o fluxo das águas e o seu tempo de residência, interrompem as rotas migratórias de peixes, provocando assim diversas alterações nas propriedades limnológicas da água represada bem como a jusante dela (MAAVARA *et al.* 2015; LU *et al.* 2016; COURA, 2020).

No que diz respeito a estes meios artificiais, elementos como: sedimentação, carreamento de nutrientes, temperatura da água, dentre outros, sofrem interferência direta de sua formação, podendo dessa maneira levar a alterações nas comunidades biológicas que ali existiam. Essas alterações então influenciam na qualidade da água, já que houveram mudanças na relação desta com a bacia de drenagem local por conta da modificação da dinâmica natural do ambiente preexistente (ZARFL *et al.*, 2015; LOPES, 2019).

Considerando os potenciais impactos negativos que a implantação desse tipo de empreendimento pode gerar para os corpos d'água, torna-se necessário realizar o monitoramento periódico e adequado da qualidade das águas no local e na região de abrangência das atividades, a montante e a jusante (COURA, 2020).

Nesse sentido, o monitoramento da qualidade das águas é parte integrante das condicionantes presentes nas licenças ambientais desta modalidade de empreendimento. O principal objetivo do monitoramento é a avaliação do ecossistema, sendo os dados convertidos em relatórios técnicos e encaminhados ao órgão ambiental competente (ARRUDA, RIZZI, MIRANDA, 2015; TRINDADE *et al.*, 2017).

Dessa maneira os índices de qualidade de água são métodos frequentemente utilizados para expressar as condições de qualidade dos ambientes aquáticos. Assim, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP) criou o Índice de Qualidade de Água em Reservatórios (IQAR), que analisa a degradação da qualidade da água de reservatórios, selecionando variáveis significativas e conferindo-lhes pesos conforme sua importância (IAP, 2004; PNQA, 2016).

A Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), por intermédio da Fundação Apolônio Salles de Desenvolvimento Educacional (FADURPE), é a responsável pelo monitoramento dos ecossistemas aquáticos do reservatório da Usina Hidrelétrica de Sobradinho e demais reservatórios dos trechos Submédio e Baixo do Rio São Francisco. Esse monitoramento teve início em agosto de 2016 e ocorre no período de restrição de vazão, envolvendo além de vários parâmetros de qualidade de água os seguintes aspectos: introdução da cunha salina, desenvolvimento de macrófitas aquáticas, monitoramento de processos erosivos degradantes, resgate de ictiofauna aprisionada e acompanhamento da pesca artesanal na área de abrangência (CHESF, 2021).

De acordo com Coura (2020) as diversas técnicas estatísticas multivariadas existentes vem sendo largamente aceitas e empregadas na análise e compreensão de bancos de dados de qualidade das águas, incluindo variações temporais e espaciais, como também na identificação de eventuais fontes de poluição dos corpos d'água.

Como se trata de um conjunto de dados considerável a utilização de métodos de estatística multivariada podem ajudar no estudo das matrizes, desde seu agrupamento, interpretação à sua divisão em conjuntos menores de informações,

oferecendo assim uma ferramenta extremamente útil para a gestão confiável dos recursos hídricos (WANG *et al.*, 2013; LOPES, 2019).

Estudos que avaliam e monitoram reservatórios de usinas hidrelétricas, assim como a qualidade das águas destes e de seu entorno, a vazão, a precipitação da região, dentre outros fatores, são essenciais para melhor entender a relação destes ecossistemas com o meio em que estão inseridos. Ademais, também possibilitam compreender a influência da formação do reservatório, bem como os impactos das atividades antrópicas sobre os recursos hídricos locais e regionais. Assim, a observação espaço-temporal das variáveis de qualidade da água, da vazão e da precipitação podem viabilizar um diagnóstico plausível do cenário ecológico além de possibilitar fazer uma predição utilizando dados de longo prazo (TRINDADE *et al.*, 2017; CARDOSO-SILVA *et al.*, 2018).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Aplicar análise multivariada para extrair informações de um conjunto de dados de qualidade da água do reservatório de Sobradinho afim de sugerir potenciais fatores que alteram a qualidade da água, considerando uma série histórica.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Interpretar a variação sazonal e espacial da qualidade de água dos pontos estudados, através de ferramentas estatísticas;
- Analisar a correlação entre as variáveis nos respectivos pontos ao longo do período estudado;
- Identificar os principais fatores que influenciam em alterações na qualidade da água;
- Sugerir possíveis fontes de contribuição, responsáveis por influenciar os parâmetros de qualidade da água estudados.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. USOS MÚLTIPLOS DA ÁGUA EFETIVADOS NA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA**

O início da gestão dos recursos hídricos no Brasil foi marcado por instrumentos burocráticos, tendo como principais características a centralização e a setorização. A criação das primeiras legislações tinha por objetivo controlar as atividades de exploração que vinham sendo desenvolvidas sem qualquer moderação desde a época colonial, muitas destas acabaram, posteriormente, se tornando princípios constitucionais (ROSA; GUARDA, 2019).

A crise econômica na virada do século XIX para o XX por conta da troca do modelo econômico, de agrário para industrial, acabou demandando uma maior utilização de energia elétrica para a produção industrial. Nesse contexto, em 10 de julho de 1934, foi publicado o Decreto 24.643 aprovando o Código de Águas Brasileiro, onde foram determinadas as formas de aproveitamento da água, as ações em caso de contaminação de determinado corpo hídrico, classificados os tipos de água, dentre outros (CETESB, 2020).

Para Thomas (2002) o Código das Águas era considerado avançado para aquela época, já que continha princípios que são usados na atualidade, como usuário-pagador, poluidor-pagador e o uso múltiplo. Por outro lado, a falta de regulamentação de inúmeros pontos acabou impedindo que esta legislação fosse realmente eficaz, com exceção somente dos interessados do setor hidrelétrico.

Em 1981 foi aprovada a Lei n. 6.938 que deu origem à Política Nacional de Meio Ambiente, com o objetivo de gerir e preservar os recursos naturais de forma única e completa. Em seu artigo 3º, a Lei 6.938 reconhece expressamente a água como um recurso ambiental. A mesma lei instituiu o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) a ser gerido por entidades municipais, estaduais e federais. O órgão superior do SISNAMA é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que inaugurou no país a gestão da qualidade das águas (ROSA; GUARDA, 2019).

Dessa maneira, os recursos hídricos passaram a ganhar um tratamento mais protecionista somente em 1988, com a promulgação da Constituição Federal, que modificou o Código das Águas de 1934, acabando com as águas particulares e tornando as águas bens de uso comum da população, sendo que a incumbência de legislar sobre estas passou a ser da União, portanto continuou com o poder centralizado e a gestão passou a ser compartilhada (ALMEIDA, 2018).

De acordo com Ioris (2009) a justificativa para as novas configurações institucionais da gestão das águas ao redor do mundo seria a escassez dos recursos hídricos, entretanto também permite uma justificativa mais capitalista que preservacionista, já que a escassez seria proveniente de um “processo exploratório a serviço de um desenvolvimento totalmente desigual instaurado ao longo dos anos”, em outras palavras, dificuldade de se realizar uma gestão adequada.

O Estado de São Paulo foi o primeiro a instituir a Política Estadual de Recursos Hídricos em 1991, adotando os princípios da descentralização, da bacia hidrográfica como unidade gestora e do reconhecimento do valor econômico da água. Depois disso outros estados foram instituindo suas leis estaduais de recursos hídricos: Ceará (1992), Santa Catarina (1994), Bahia (1995), Rio Grande do Norte (1996) e Paraíba (1996) (SILVA, 1998).

À vista disso, em 1997 a promulgação da Lei n. 9.433, a Lei das Águas, veio para consolidar o avanço da valoração e valorização da água através dos anos. Com os princípios básicos similares aos da lei estadual paulista, a lei federal tem como fundamentos a água como um bem de domínio público, dotado de valor econômico, com usos prioritários voltados para o abastecimento humano e a dessedentação animal e com gestão descentralizada e participativa, sendo a bacia hidrográfica a unidade territorial de gestão (BRASIL, 1997; ALMEIDA, 2018).

De acordo ainda com a Lei das Águas, o gerenciamento dos recursos hídricos deve sempre propiciar os usos múltiplos das águas, a depender da finalidade pretendida, tais como: abastecimento público, uso industrial, dessedentação animal, recreação, geração de energia elétrica, irrigação. Esses usos diversos podem ser influenciados pela densidade populacional, pelo grau de urbanização e ainda pelo desenvolvimento social e industrial de uma região. Assim, o aumento populacional juntamente com as atividades antrópicas tendem a pressionar a disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas, podendo comprometer esses usos (BRASIL, 1997; TUNDISI, 2014).

Para isso a referida lei também traz o enquadramento dos corpos de água em classes, de acordo com os usos preponderantes. Esse enquadramento visa garantir a qualidade da água em consonância com os usos mais exigentes, além de diminuir os gastos com poluição das águas, como exposto na Figura 1 (BRASIL, 1997).



**Figura 1:** Classes de enquadramento das águas-doces e usos respectivos

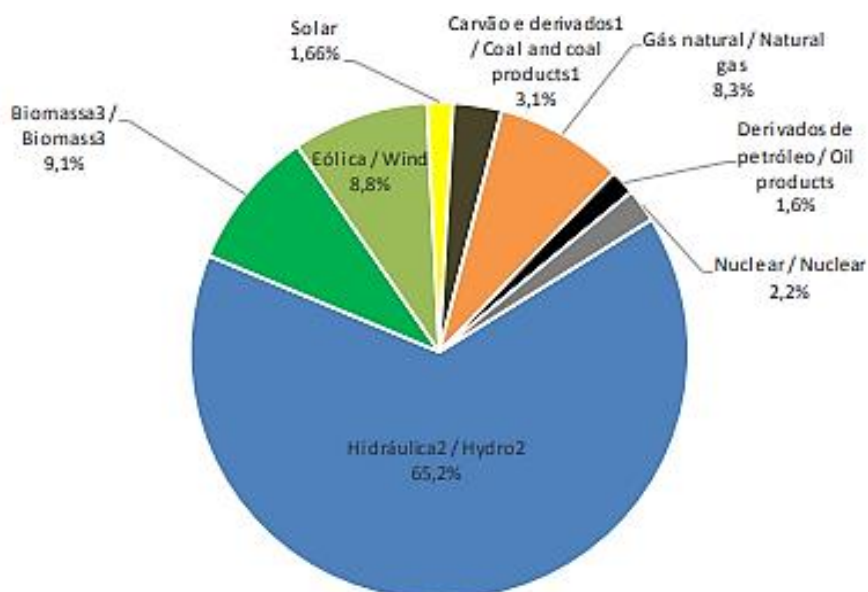
| USOS DAS ÁGUAS DOCES                                        |                                                                                   | ESPECIAL                                                          | 1                                                                                                                         | 2                                                                   | 3                                        | 4 |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---|
| Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas |  | Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral |                                                                                                                           |                                                                     |                                          |   |
| Proteção das comunidades aquáticas                          |  |                                                                   | Classe mandatória em Terras Indígenas                                                                                     |                                                                     |                                          |   |
| Recreação de contato primário                               |  |                                                                   |                                                                                                                           |                                                                     |                                          |   |
| Aquicultura                                                 |  |                                                                   |                                                                                                                           |                                                                     |                                          |   |
| Abastecimento para consumo humano                           |  | Após desinfecção                                                  | Após tratamento simplificado                                                                                              | Após tratamento convencional                                        | Após tratamento convencional ou avançado |   |
| Recreação de contato secundário                             |  |                                                                   |                                                                                                                           |                                                                     |                                          |   |
| Pesca                                                       |  |                                                                   |                                                                                                                           |                                                                     |                                          |   |
| Irrigação                                                   |  |                                                                   | Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película | Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer, | Culturas arbóreas, cereais e forrageiras |   |
| Dessedentação de animais                                    |  |                                                                   |                                                                                                                           |                                                                     |                                          |   |
| Navegação                                                   |  |                                                                   |                                                                                                                           |                                                                     |                                          |   |
| Harmonia paisagística                                       |  |                                                                   |                                                                                                                           |                                                                     |                                          |   |

Fonte: ANA (2019).

### 3.2. CENÁRIO ENERGÉTICO DO BRASIL

Quando se trata geração de energia o Brasil se destaca dentre os outros países do mundo, já que é um dos que mais produz energia utilizando fontes renováveis, o destaque do país nesse setor é a geração de energia hidroelétrica, com mais de 65%. Por outro lado, o destaque das fontes não renováveis é o gás natural, com a parcela de 8,3%, seguido da energia nuclear com 2,2% e dos derivados de petróleo com 1,6%, de acordo com o Gráfico 01 (BRASIL, 2021).

**Gráfico 1:** Oferta Interna de Energia Elétrica por fonte no Brasil



1

Fonte: BRASIL (2021).

Em comparação com os demais países, o Brasil ocupa a terceira colocação dentre os 10 países que mais produzem energia hidrelétrica no mundo, com aproximadamente 360 TWh, o equivalente a 9,0% do total da produção mundial, atrás somente da China com 1.130 TWh (28,4%) e do Canadá com 381,06 TWh (9,4%) (BRASIL, 2018).

Essa parcela elevada de participação da energia hidrelétrica do país é proveniente principalmente do fato que o Brasil possui uma boa conjuntura para o uso dos recursos hídricos, possuindo rios de planaltos, altos índices de pluviosidade e significativas bacias hidrográficas, tornando-o dessa maneira o maior potencial hidrelétrico do mundo (NEOENERGIA, 2013; ARRUDA; RIZZI; MIRANDA, 2015).

Em contrapartida, o país acaba ficando dependente dessa fonte de energia que apresenta alguns desafios, a exemplo dos longos períodos de seca que afetam os reservatórios e consequentemente a geração de energia. Outro desafio é o novo cenário do setor, já que era a capacidade dos reservatórios que auxiliavam na estabilidade da geração de energia, atualmente essa capacidade vêm sendo reduzida por conta da menor disponibilidade de água, levando a inseguranças na categoria (JUAREZ *et al*, 2014; CASTRO *et al*, 2018).

<sup>1</sup>Inclui gás de coqueria

<sup>2</sup>Inclui importação de eletricidade

<sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações

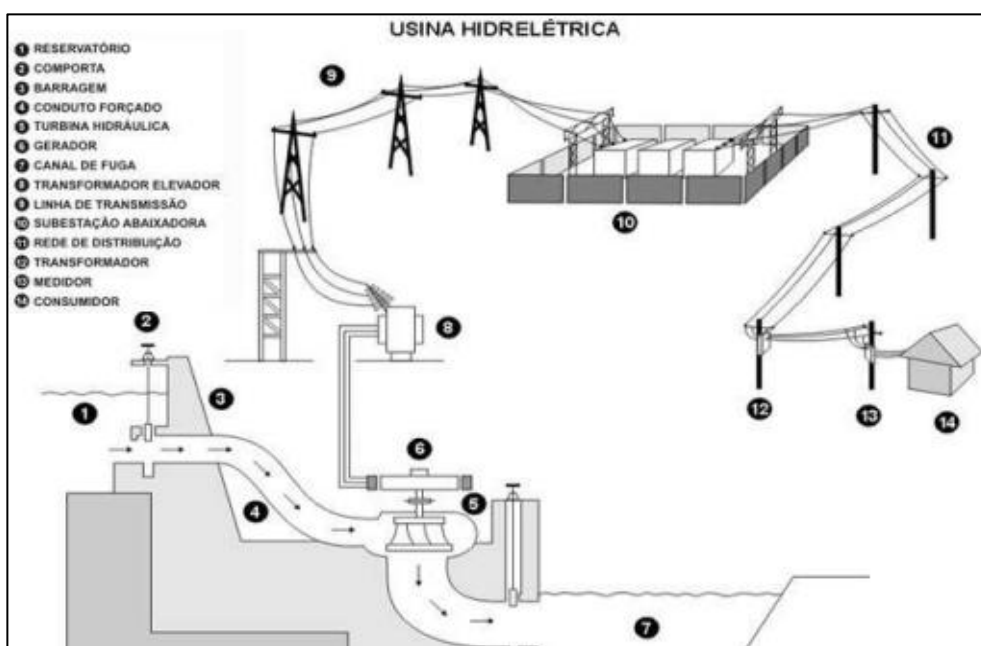
Nesse sentido, há a necessidade de mudar o cenário energético atual, com maior participação das fontes eólica, solar e de biomassa por exemplo. Assim, com a expansão de outras formas de geração de energia, principalmente as renováveis, a geração distribuída teve um crescimento expressivo, e com o avanço na regulamentação juntamente com os incentivos previstos na Resolução Normativa nº 482/2012 houve uma redução dos preços de painéis solares, estimulando dessa maneira o uso da energia fotovoltaica (CASTRO *et al*, 2018; PINTO, 2020).

### 3.3. RESERVATÓRIOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS

De acordo com Siqueira (2021), a função dos reservatórios hidrelétricos, independentemente do seu tamanho, é armazenar água suficiente para que seja possível gerar energia elétrica, bem como atender outras necessidades dos usuários quando este é idealizado com esse intuito. Estes são construídos na forma de barramento de determinado curso d'água, de modo a controlar as vazões afluentes.

Segundo Freitas (2017) para converter energia hidráulica em energia elétrica é necessário idealizar usinas em locais com volume de água abundante e com desníveis de relevo ao longo do curso d'água. Os componentes básicos de uma usina são: reservatório; canal; turbinas; geradores; transformador; fluxo de saída e linhas de transmissão, de acordo com a Figura 2.

**Figura 2:** Esquema de funcionamento de uma usina hidrelétrica.



Fonte: FURNAS (2016).

A área do reservatório e a potência são os fatores determinantes para a classificação das usinas, dessa maneira existem: as Centrais Geradoras Hidrelétricas – CGH, com até 1 MW de potência instalada e com área da barragem somente para realizar o desvio do curso de água; as Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH, entre 1,1 MW e 30 MW e área de no máximo 3 km<sup>2</sup>; e as Usinas Hidrelétricas de Energia – UHE, com mais de 30 MW de potência e reservatórios de mais de 3 km<sup>2</sup> de área (ANEEL, 2005).

No setor de recursos hídricos o órgão responsável pela regulamentação desse tipo de empreendimento é a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, que de acordo com as características prescreve a operação em consonância com dois ou mais propósitos (SIQUEIRA, 2021).

Dessa maneira, normalmente os reservatórios são construídos visando o caráter público-social, já que os benefícios abrangem uma parcela considerável da população, isso quando não abrange o todo, a exemplo da geração de energia que interliga várias regiões. Também beneficiam a população facilitando a navegação, controlando as cheias, viabilizando a irrigação e o abastecimento público (ANA, 2018).

Por outro lado, diversos aspectos socioambientais podem ser impactados com a edificação desses empreendimentos, necessitando assim de análise, mensuração e discussão. Alguns exemplos desses impactos são: remoção de moradores da zona de inundação; danos à fauna e flora do corpo hídrico e suas respectivas margens por conta da modificação do regime de vazões; interrupção do transporte de uma parcela de nutrientes e sedimentos; e maior perda de água por conta da maior evaporação do espelho d'água (ANA, 2018).

Assim, a construção de reservatórios impacta diretamente a dinâmica natural de determinado sistema aquático, modificando-a, e dessa maneira alterando a velocidade com que a água flui, além de separar o gradiente longitudinal do corpo hídrico em: fluvial, intermediária e lacustre (RYCHTECKY; ZNACHOR, 2011; STRAŠKRABRA; TUNDISI, 2013).

Para Calijuri *et al.* (2002), ainda existem outros fatores que podem intervir no material, nutrientes em suspensão e sua ciclagem, a exemplo das diferenças hidrodinâmicas provenientes da localização, da morfometria e do tempo de retenção da água naquele sistema hidrológico.

Estima-se que quando em operação, os reservatórios consigam reter cerca de 50% do material particulado que teria como destino final os oceanos. Desse modo,

o assoreamento fica evidente como um dos desafios que merece atenção especial da equipe de gestão de reservatórios, já que pode influenciar na vida útil destes e diminuir a capacidade de armazenamento de água, causando danos econômicos (ZARFL; LUCÍA, 2018).

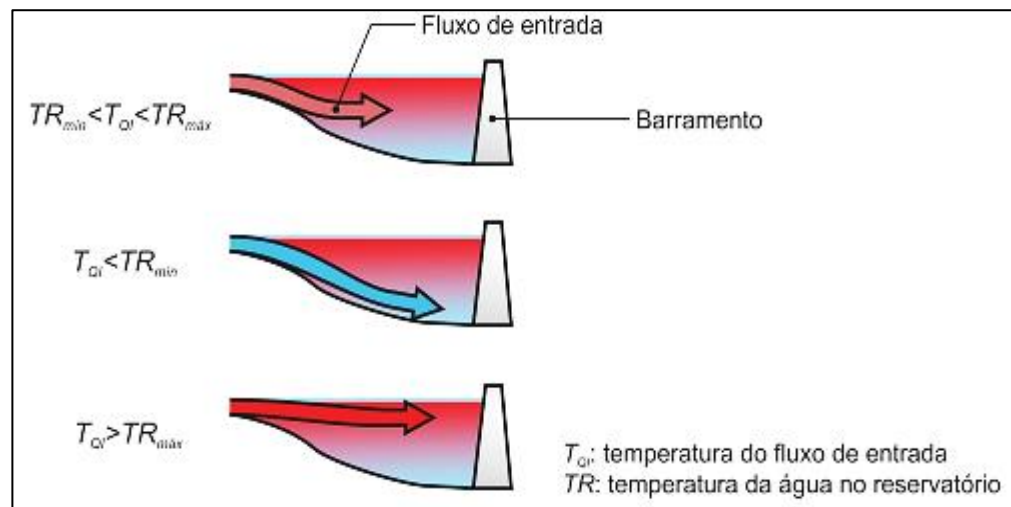
Os sedimentos também possuem a função de portadores de poluentes, estes se depositam com facilidade nos reservatórios por conta da velocidade de fluxo reduzida. Assim sendo, os sedimentos com contaminantes podem atuar como uma fonte a longo prazo de poluição, por exemplo quando alterações físico-químicas na coluna de fundo causam o redirecionamento dos poluentes concentrados diretamente para a coluna d'água (FANNY *et al.*, 2013; ZARFL; LUCÍA, 2018).

### 3.3.1. Hidráulica e morfologia de reservatórios

O tempo de residência em um reservatório é o tempo que a massa d'água leva para percorrer todo o sistema, desde o momento que afluí até a saída. É importante conhecer esse conceito pois ele é essencial para compreender as oscilações dos parâmetros de qualidade de água dos reservatórios, bem como processos naturais, a exemplo da eutrofização, causada pelo aporte de água com alta concentração de nutrientes, levando a um crescimento desequilibrado de plantas e algas (ANA, 2018).

Estes ambientes são considerados como uma zona de transição entre rios e lagos já que as características hidráulicas dos dois ambientes estão presentes. Próximo ao barramento, os reservatórios se assemelham aos lagos e estão submetidos à mesma ação dos ventos, de correntes de densidade e estratificação. Por outro lado, as diferentes profundidades e o formato em planta induzem à grande circulação de água, assim como ocorre nos rios (RYCHTECKY; ZNACHOR, 2011; ANA, 2018)

Quando a corrente de água chega ao reservatório há a tendência que esta acomode-se nos mesmos níveis de massa específica ali presentes (temperatura). Dessa maneira, essa entrada apresenta uma distribuição parabólica, por exemplo, caso a temperatura da água de entrada seja maior que a da massa de água do reservatório, esta irá se acomodar na parte mais superior, e por outro lado se a temperatura do fluxo de entrada é menor irá se acomodar junto ao fundo do reservatório, como é possível visualizar na Figura 3 (ANA, 2018).

**Figura 3:** Fluxo de entrada nos reservatórios

Fonte: ANA (2018)

Essa diferença de temperatura e de densidade forma barreiras físicas que impedem a circulação, principalmente quando o vento não consegue sozinho fazer a mistura das camadas, e dessa maneira o calor não é distribuído de maneira uniforme causando a estratificação térmica duradoura (ESTEVES, 2011; MAGEE *et al.*, 2017).

A estratificação térmica é vista como um aspecto limnológico de grande importância em lagos e reservatórios, já que influencia desde a heterogeneidade e disposição dos elementos químicos ao longo da coluna d'água a formação de sua comunidade biológica. O estudo desse processo é importante já que combinado com alterações físicas e químicas no corpo hídrico, favorecem eventos de eutrofização, através de acúmulo de carga interna (BENEDETTI; TUCCI, 2006; TUNDISI; TUNDISI, 2008; PADIAL *et al.*, 2009; ESTEVES, 2011; CRUZ, 2015).

### 3.4. MONITORAMENTO DAS ÁGUAS

O monitoramento da qualidade das águas busca fazer o acompanhamento da situação ambiental de certo corpo hídrico, para gerar dados que permitam analisar se as ações previstas em planos de recuperação e prevenção vêm sendo efetivadas (AMARO, 2009).

Para os reservatórios de usinas hidrelétricas esse monitoramento mostra-se extremamente necessário, por conta das condicionantes das licenças ambientais, bem como os fatores que influenciam na qualidade das águas, a exemplo do processo de envelhecimento, caracterizado pelo aumento da concentração de nutrientes após

o enchimento, seguido da estabilização e posteriormente da eutrofização (CUNHA *et al.*, 2016).

Dessa maneira é possível distinguir as técnicas de monitoramento da qualidade das águas em dois grupos fundamentais: monitoramento sistemático tradicional, envolvendo monitoramento convencional, e monitoramento automático, com uso de sondas e equipamentos de aferição (HANISCH; FREIRE-NORDI, 2015).

A Tabela 1 diferencia e traz vantagens e desvantagens das duas metodologias.

**Tabela 1:** Vantagens e Desvantagens dos Diferentes Tipos de Monitoramento da Qualidade da Água

| <b>Tipos</b>                                                          | <b>Características</b>                                                                                                                                             | <b>Vantagens</b>                                                                                                                                                                                   | <b>Desvantagens</b>                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sistemático Tradicional/<br/>Convencional</b>                      | Permite acompanhar a evolução das condições da qualidade das águas ao longo do tempo, fornecendo séries temporais de dados.                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior abrangência em termos de parâmetros;</li> <li>• Maior abrangência em termos de área de estudo (distribuição das estações de amostragem).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geralmente dispendioso e demanda muito tempo;</li> <li>• Defasagem em tempo entre a coleta e o resultado de análise;</li> <li>• Menor possibilidade na detecção de dados atípicos.</li> </ul> |
| <b>Sistema Automático<br/>(sondas e equipamentos<br/>de medição).</b> | Realização de uma avaliação contínua da qualidade da água, o que permite detectar alterações instantâneas, tornando possível agilizar as providências necessárias. | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maior possibilidade na detecção de dados atípicos;</li> <li>• Resultados em tempo real.</li> </ul>                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Número limitado de parâmetros analisados;</li> <li>• Impossibilidade de coleta de dados quando o equipamento sofre algum dano mecânico ou elétrico.</li> </ul>                                |

**Fonte:** SILVA (2020)

#### 3.4.1. Parâmetros utilizados na avaliação da qualidade de água

Mesmo parecendo complexo, pode-se ter uma amostra de água tida ao mesmo tempo como de boa e de má qualidade, bastando simplesmente associar o adjetivo a palavra qualidade, o que dependerá das especificidades previstas no indicador. Em outros termos, a qualidade da água vai depender do que aponta o indicador (GONÇALVES *et al.*, 2016).

Nesse sentido, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO diz que a qualidade abrange um grau de conformidade de um produto, serviço, ou profissional a requisitos mínimos definidos em normas ou regulamentos,

com os menores gastos possíveis para a sociedade. Assim, os principais parâmetros considerados para indicar a qualidade das águas serão descritos a seguir (BRASIL, 2015).

A temperatura muda nos mais variados corpos de água, influenciada por latitude, altitude, sazonalidade, período do dia e profundidade. Tudo isso pode acontecer de forma gradual, já que ao mesmo tempo que pode ganhar a água também pode perder calor sem necessidade de muitas mudanças. Esta pode influenciar em processos biológicos, modificações químicas e bioquímicas que ocorrem na água e em outros processos, a exemplo da solubilidade dos sais minerais (ESTEVES, 1998; MELO; NEPOMUCENO, 2017).

Os sólidos totais dissolvidos (STD) dizem respeito ao conjunto de todos os constituintes minerais que integram a água, para o padrão de potabilidade da Organização Mundial da Saúde – OMS o limite máximo permitido para esse parâmetro nas águas é de  $1000 \text{ mg L}^{-1}$ . Altas concentrações desse parâmetro podem trazer transtornos aos sistemas de captação e tratamento de água, além dos reservatórios de usinas hidrelétricas (SANTOS, 1997; LIMA, 2001).

Já o potencial hidrogeniônico (pH) indica a intensidade da condição ácida ou básica de certa solução, além de demonstrar a concentração do íon hidrogênio. Na água dita pura quimicamente os íons de  $\text{H}^+$  estão equilibrados com os  $\text{OH}^-$  e, portanto, o pH é neutro, igual a 7, o que irá determinar esse valor na água são o gás carbônico dissolvido e a alcalinidade. A Resolução CONAMA nº 357/2005 determina para o pH a faixa entre 6,0 e 9,0 para todas as Classes (SAWYER *et al.*, 1994; BRASIL, 2005).

A turbidez é a modificação da penetração de luz pelas partículas em suspensão, provocando sua disseminação e absorção. Sua presença não costuma trazer prejuízos sanitários diretos, porém é importante lembrar que os sólidos em suspensão podem ser usados como abrigo por microrganismos, deixando o processo de desinfecção menos eficiente. A Resolução CONAMA nº 357/2005 determina o limite de 40 unidades nefelométricas de turbidez (UNT) para a Classe 1 e 100 UNT para as Classes 2 e 3 (SANTOS, 1997; MACÊDO, 2004; BRASIL, 2005).

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) expressa o consumo de oxigênio (em  $\text{mg L}^{-1}$ ) fundamental para as bactérias na estabilização da matéria orgânica decomposta aerobicamente por via biológica. Como indica a existência de matéria orgânica é um importante indicador de qualidade das águas. A Resolução CONAMA



nº 357/2005 determina o limite para DBO 5 dias a 20°C de 3 mg/L O<sub>2</sub>, 5 mg/L O<sub>2</sub> e 10 mg/L O<sub>2</sub> para as Classes 1, 2 e 3, respectivamente (MOTA, 1995; BRASIL 2005).

A avaliação do teor de oxigênio dissolvido (OD) mostra a capacidade do corpo hídrico manter a vida aquática, possui grande instabilidade, necessitando de análise imediata com a utilização de equipamentos previamente calibrados. A determinação do oxigênio dissolvido além de viabilizar a avaliação das condições naturais da água também detecta impactos ambientais, a exemplo da eutrofização. A Resolução CONAMA nº 357/2005 determina o limite para OD não inferior a 6 mg/L O<sub>2</sub>, 5 mg/L O<sub>2</sub> e 4 mg/L O<sub>2</sub> para as Classes 1, 2 e 3, respectivamente. (BRASIL, 2005; GONÇALVES, *et al.*, 2009).

O nitrogênio (N) possui diversas fontes, com destaque para o nitrito e o nitrato, podendo ser associados à idade de poluição. As fontes principais de lançamento de nitrogênio orgânico nas águas são os esgotos sanitários e algumas indústrias, como as químicas, matadouros, siderúrgicas, farmacêuticas e frigoríficos. Níveis elevados desse parâmetro indicam toxicidade, levando ao desenvolvimento de uma doença conhecida por meta-hemoglobinemia, letal em crianças. A Resolução CONAMA nº 357/2005 determina o limite de 10 mg/L N para nitrato, e de 1 mg/L N para o nitrito, para todas as Classes. Já para o nitrogênio amoniacal total, estipula-se o valor entre 0,5 e 3,7 mg/L N para as Classes 1 e 2, e entre 1,0 e 13,3 mg/L N para a Classe 3. (BRASIL, 2005; CETESB, 2020; CAMPOS 2015).

### 3.5. O USO DE ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA

Um índice é o resultado final de todo um processo de cálculo onde se utilizam ferramentas, inclusive os indicadores, como variáveis que o integra. Em outras palavras um índice é um indicador de padrão mais elevado. A utilização desse instrumento ajuda no planejamento e gestão dos recursos hídricos e costumam sintetizar as informações em somente um número (SICHE *et al.*, 2007).

Mesmo facilitando o entendimento do público em geral, durante a construção do Índice de Qualidade das Águas (IQA) pode acontecer perda de informações acerca dos parâmetros examinados, nesse sentido uma análise mais profunda deve levar em consideração cada parâmetro individualmente (LIMA, 2019).

Por outro lado, um IQA costuma ser muito específico para uma localidade ou ainda para uma modalidade de poluição, dificultando o uso universal. Assim, adaptações vêm sendo feitas nos parâmetros, no cálculo do IQA e nos pesos das

variáveis para evidenciar com eficiência a qualidade da água de acordo com os parâmetros que a estão influenciando (MENDONÇA *et al.*, 2018).

Os índices mais utilizados na atualidade são: o Índice de Estado Trófico (IET) e o Índice de Qualidade de Água (IQA). A seguir é apresentada uma síntese sobre esses índices.

### 3.5.1. Índice de Estado Trófico (IET)

De acordo com Lima (2019), este índice foi desenvolvido visando fazer a classificação de corpos de água em níveis de trofia variados, melhor dizendo, fazer a avaliação da qualidade de água em relação ao enriquecimento por nutrientes e os respectivos impactos da proliferação excessiva de algas. Proposto por Carlson (1977) é um dos índices mais usados para estimar o estado trófico de corpos lênticos, ele associa concentrações de fósforo total, com clorofila *a* e com a transparência da água para analisar o cenário de ambientes lacustres.

Em regra, quando outros índices são propostos costumam seguir a metodologia desenvolvida por Carlson, com seus respectivos parâmetros. Como o dinamismo trófico sofre interferência do clima e provenientes há a necessidade de analisar minuciosamente cada caso (LIMA, 2019).

### 3.5.2. Índice de Qualidade de Água (IQA)

#### 3.5.2.1. IQA<sub>NSF</sub>

Desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF), o Índice de Qualidade de Água (IQA<sub>NSF</sub>) contou com a participação e opinião de vários especialistas da área. Possui nove variáveis de qualidade com seus respectivos pesos, conforme a Tabela 2 (BROWN *et al.*, 1970).

**Tabela 2:** Parâmetros do Índice de Qualidade de Água (IQANSF) e seus respectivos pesos

| Parâmetros                 | Pesos (w) |
|----------------------------|-----------|
| Oxigênio Dissolvido        | 0,17      |
| Coliformes Termotolerantes | 0,16      |
| pH                         | 0,11      |
| DBO                        | 0,11      |

|                |      |
|----------------|------|
| Temperatura    | 0,10 |
| Nitrato        | 0,10 |
| Fosfato Total  | 0,10 |
| Turbidez       | 0,08 |
| Sólidos Totais | 0,07 |

Fonte: BROWN *et al.* (1970)

O  $IQA_{NSF}$  é calculado utilizando o produto ponderado dos pesos de cada parâmetro, conforme a equação:

$$IQA_{NSF} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

O índice é uma grandeza adimensional compreendendo um número de 0 a 100, os valores finais obtidos no  $IQA_{NSF}$  são classificados em classes de acordo com a Tabela 3.

**Tabela 3:** Classificação dos valores de  $IQA_{NSF}$ .

| Faixas de Qualidade       | Qualidade da Água |
|---------------------------|-------------------|
| $79 < IQA_{NSF} \leq 100$ | Ótima             |
| $51 < IQA_{NSF} \leq 79$  | Boa               |
| $36 < IQA_{NSF} \leq 51$  | Regular           |
| $19 < IQA_{NSF} \leq 36$  | Ruim              |
| $IQA_{NSF} \leq 19$       | Péssima           |

Fonte: BROWN *et al.* (1970)

### 3.5.2.2. $IQA_R$

Com o objetivo de analisar a degradação da qualidade das águas de reservatórios, o IAP criou o Índice de Qualidade de Água em Reservatórios ( $IQA_R$ ), com seis classes de qualidade de água determinadas com base no cálculo dos percentis da respectiva variável, conforme a Tabela 4.

**Tabela 4:** Variáveis do IQAR de acordo com as classes de qualidade.

| Variáveis                | Classes de Qualidade (q) |             |              |               |                |          |
|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------|---------------|----------------|----------|
|                          | 1                        | 2           | 3            | 4             | 5              | 6        |
| OD <sub>d</sub> (%)      | ≤ 5                      | 6 - 20      | 21 - 35      | 36 - 50       | 51 - 70        | > 70     |
| Cla (µg/L)               | ≤1,5                     | 1,6 - 3,0   | 3,1 - 5,0    | 5,1 - 10,0    | 10,1 - 32,0    | > 32,0   |
| P <sub>T</sub> (µg/L P)  | ≤10                      | 11 - 25     | 26 - 40      | 41 - 85       | 86 - 210       | > 210    |
| SD (m)                   | ≥3,0                     | 3,0 - 2,3   | 2,2 - 1,2    | 1,1 - 0,6     | 0,5 - 0,3      | < 0,3    |
| DQO (mg/L)               | ≤ 3                      | 3 - 5       | 6 - 8        | 9 - 14        | 366 - 550      | > 30     |
| t <sub>R</sub> (dias)    | ≤ 10                     | 11 - 40     | 41 - 120     | 121 - 365     | 366 - 550      | > 550    |
| N <sub>IT</sub> (mg/L N) | ≤ 0,15                   | 0,16 - 0,25 | 0,26 - 0,60  | 0,61 - 2,00   | 2,01 - 5,00    | > 5,00   |
| CB (cel/mL)              | ≥1000                    | 1001 - 5000 | 5001 - 20000 | 20001 - 50000 | 50001 - 100000 | > 100000 |
| H <sub>M</sub> (m)       | ≥ 35,0                   | 34,0 - 15,0 | 14,0 - 7,0   | 6,0 - 3,1     | 3,0 - 1,0      | <1,0     |

OD<sub>d</sub> - déficit de oxigênio dissolvido; Cla - clorofila a; P<sub>T</sub> - fósforo total; SD - profundidade do disco de Secchi; DQO - demanda química de oxigênio; t<sub>R</sub> - tempo de residência; N<sub>IT</sub> - nitrogênio inorgânico total; CB - cianobactérias; H<sub>M</sub> - profundidade média.

**Fonte:** IAP (2004).

Para cada parâmetro referido é atribuído um peso correspondente a seu nível de importância, conforme a Tabela 5.

**Tabela 5:** Parâmetros do IQAR e seus respectivos pesos.

| Parâmetros                                        | Pesos (w) |
|---------------------------------------------------|-----------|
| Déficit de Oxigênio Dissolvido (OD <sub>d</sub> ) | 0,17      |
| Clorofila a (Cla)                                 | 0,15      |
| Fósforo Total (P <sub>T</sub> )                   | 0,12      |
| Profundidade do Disco de Secchi (SD)              | 0,12      |
| Demanda Química de Oxigênio (DQO)                 | 0,12      |

|                                          |      |
|------------------------------------------|------|
| Tempo de Residência ( $t_R$ )            | 0,10 |
| Nitrogênio Inorgânico Total ( $N_{IT}$ ) | 0,08 |
| Cianobactérias (CB)                      | 0,08 |
| Profundidade Média ( $H_M$ )             | 0,06 |

**Fonte:** IAP (2004)

O cálculo é feito pela soma dos valores das classes de qualidade multiplicado por seus respectivos pesos, de acordo com a equação:

$$IQA_R = \sum_{i=1}^n w_i q_i$$

Assim, o resultado é uma média ponderada das classes relativas aos valores de cada parâmetro, gerando seis classificações, como é possível visualizar na Tabela 6.

**Tabela 6:** Classificação dos valores de IQAR.

| <b>IQAR</b> | <b>Classificação</b>                       |
|-------------|--------------------------------------------|
| $\leq 1,50$ | Não impactado a muito pouco degradado (NI) |
| 1,51 - 2,50 | Pouco degradado (PD)                       |
| 2,51 - 3,50 | Moderadamente degradado (MD)               |
| 3,51 - 4,50 | Criticamente degradado a poluído (CD)      |
| 4,51 - 5,50 | Muito poluído (MP)                         |
| $>5,50$     | Extremamente poluído (EP)                  |

**Fonte:** IAP (2004).

### 3.6. A ESTATÍSTICA COMO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS

De acordo com Arruda; Rizzi & Miranda (2015) a análise de sistemas aquáticos, por serem complexos e dinâmicos, compreende vários indicadores de qualidade de água e conseqüentemente um conjunto de resultados muito grande. Para isso a estatística descritiva vem para auxiliar na descrição e abreviação de um grupo de dados. Desse modo é viabilizada a identificação de variações de valores,

além da disposição e descrição dos dados na forma de tabelas, gráficos e medidas de dispersão e variabilidade (GUEDES *et al.*, 2010).

Fazem parte da estatística descritiva: média, mediana, moda, desvio padrão, variância, valor máximo e mínimo. Estes dados podem ser interpretados e apresentados por meio de gráficos, principalmente os *Box Plot* (GUEDES *et al.*, 2010; TRINDADE *et al.*, 2017).

Por outro lado, a estatística multivariada busca analisar ao mesmo tempo várias medidas para cada objeto de estudo. As técnicas de estatística multivariada são aplicadas em estudos que possuem extensas matrizes de dados, facilitando a interpretação, sintetizando informações originais e construindo classes com elementos amostrais parecidos, possibilitando localizar padrões, dependências e interrelações entre as variáveis (HAIR *et al.*, 2009; FRANÇA, 2009).

Considerando tudo isso, a estatística multivariada tornou-se muito usual no entendimento da qualidade das águas, por conta principalmente de sua capacidade de lidar com grandes quantidades de dados espaciais e temporais ao mesmo tempo. No meio acadêmico e científico, diversas são as técnicas estatísticas multivariadas utilizadas, a exemplo da Análise *Cluster* (AC), da Análise dos Componentes Principais (ACP), da Análise Fatorial (AF) e da Análise Discriminante (AD), amplamente utilizadas nesse ramo, já que avaliam a variabilidade da qualidade das águas como também identificam possíveis fontes de contaminação existentes (BARAKAT *et al.*, 2016).

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

##### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

De acordo com o Comitê da Bacia do Rio São Francisco (CBHSF, 2020) o Rio São Francisco nasce na Serra da Canastra em Minas Gerais, apresenta cerca de 2.700 km de extensão, 639.219 km<sup>2</sup> de área de drenagem e vazão média de 2.850m<sup>3</sup>/s.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2020), o regime de vazões do Rio São Francisco é controlado pela operação de vários complexos hidrelétricos instalados ao longo do seu curso, são eles: reservatórios de Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso I, II, III, IV e Xingó.

O reservatório de Sobradinho é o objeto de estudo do presente trabalho, está localizado no município de Sobradinho no estado da Bahia, possui aproximadamente

320 quilômetros de extensão e 4.214 quilômetros quadrados, está localizado a 748 km de sua foz, possui extrema importância para a região e para o país por conta da sua função de geração de energia, bem como por ser uma fonte de regularização dos recursos hídricos locais (CHESF, 2020).

O reservatório que opera desde 1979, possui a quarta maior potência instalada, com cerca de 1.050.300 kW e é o primeiro em termos de capacidade de água, com cerca de 34 bilhões de metros cúbicos com a cota 392,50 metros, sendo a cota mínima de operação de 380,50 m (CHESF, 2020).

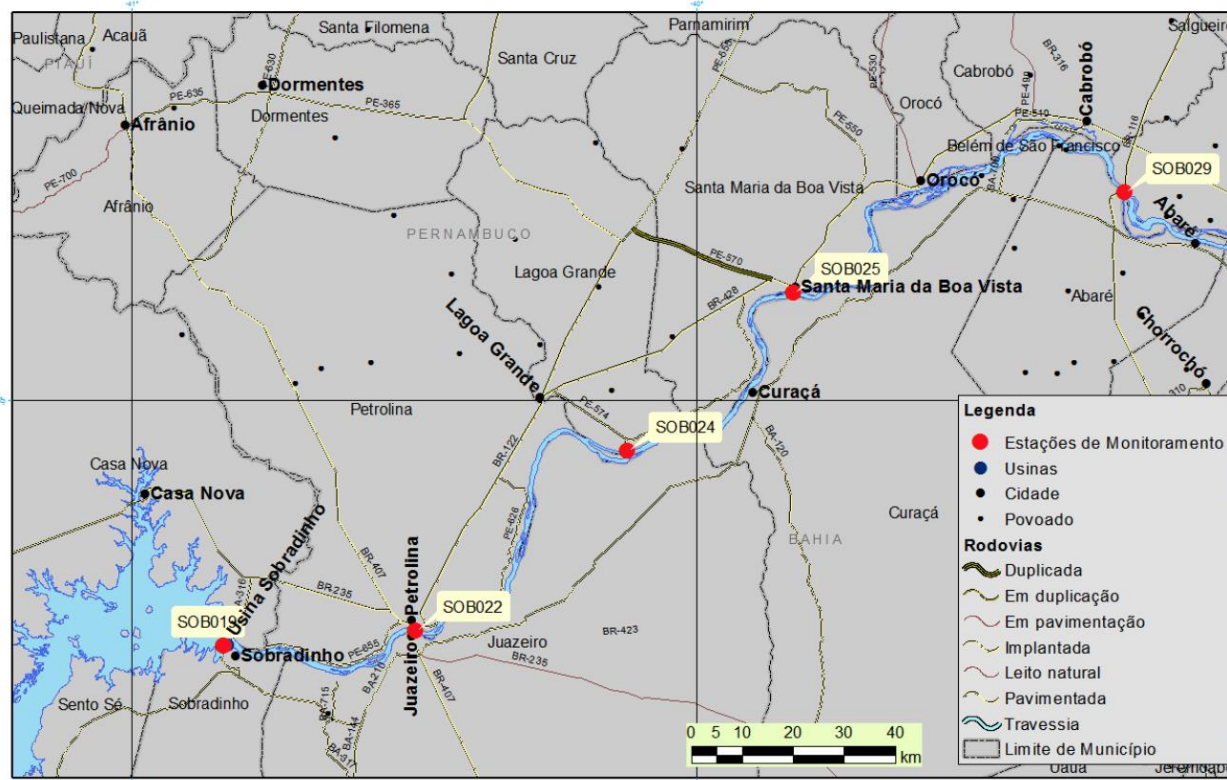
A bacia do São Francisco como um todo vem apresentando variações hidrológicas, com vazões e precipitações abaixo da média desde 2013, afetando diretamente o armazenamento de água nos reservatórios da bacia. Visando preservar o estoque de água, e considerando os variados usos na Bacia, principalmente o abastecimento humano, a ANA vem autorizando com frequência a redução da vazão mínima defluente abaixo de 1.300 m<sup>3</sup>/s nos reservatórios de Sobradinho e de Xingó, sendo esse o valor mínimo em situações normais (ANA, 2017).

Assim, essas reduções são autorizadas após reuniões semanais com os representantes dos setores interessados. A Legislação vigente deixa claro que para efetuar descargas médias diárias inferiores a 700 m<sup>3</sup>/s e instantâneas de 665 m<sup>3</sup>/s nos referidos reservatórios é necessária prévia autorização por parte do Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (ANA, 2017).

Considerando esse cenário de redução de vazões e as condicionantes ambientais decorrentes, a CHESF deu início em 2016 ao 1º Programa de Monitoramento do Rio São Francisco, abrangendo os trechos Submédio e Baixo São Francisco, imediatamente a montante da UHE Sobradinho à sua foz. Para isso foram listados 22 pontos de coleta e caracterização, gerando dados de variáveis físico químicas e da comunidade fitoplanctônica na superfície da água do rio São Francisco (CHESF, 2017).

Para o presente trabalho foram utilizados dados de um ponto desse conjunto amostral: Sobradinho 19 (SOB 19), que está situado nas coordenadas -09 26' 01.04029" e -40 50' 07.40750" (Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS 2000) como é possível identificar na figura 4:

**Figura 4:** Localização do ponto de coleta.



Fonte: CHESF, 2022

## 4.2. MÉTODOS UTILIZADOS

As amostras de água para determinação das variáveis físico-químicas foram coletadas com uma garrafa Van Dorn, com capacidade de 5,0 L, na superfície. Após determinação *in situ* das variáveis, as amostras foram acondicionadas em garrafas PET e refrigeradas em caixas isotérmicas com gelo para seu transporte até o laboratório para serem analisadas.

Foram utilizadas 45 coletas realizadas entre agosto/2016 e setembro/2021.

### 4.2.1 Determinação de variáveis *in situ*

As variáveis temperatura (°C), pH, condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), oxigênio dissolvido da água ( $\text{mg}/\text{L}$  e % Sat.), salinidade e sólidos totais dissolvidos (STD) ( $\text{g}/\text{L}$ ), foram determinadas mediante o uso de um analisador multiparâmetros YSI Professional Plus. A transparência da água foi estimada através da leitura da profundidade média de extinção de disco de Secchi (Zds), medida à sombra.



#### 4.2.2 Determinação de variáveis em laboratório

A alcalinidade total ( $\text{CaCO}_3$ ) e a dureza total ( $\text{CaCO}_3$ ) foram determinadas segundo Goltermann *et al.* (1978). A concentração de nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ) e nitrito ( $\text{N-NO}_2$ ), segundo Mackereth *et al.* (1978), de nitrogênio amoniacal total ( $\text{N-NH}_3 + \text{N-NH}_4^+$ ), segundo Koroleff (1976), e de nitrogênio total e carbono orgânico total (COT) ( $\text{mg/L}$ ), segundo APHA (2006). O ortofosfato (ou fósforo inorgânico dissolvido -  $\text{P-PO}_4$ ) e o fósforo total (P) foram determinados segundo Strickland & Parsons (1960). A Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $\text{DBO}_{5/20}$   $\text{mg/L}$ ) foi analisada segundo APHA (1995). O material em suspensão foi analisado pelo método gravimétrico (APHA, 1995), determinando-se a concentração de sólidos totais (SST) e frações orgânicas (SSO) e inorgânicas (SSI). A turbidez foi analisada através de turbidímetro de bancada OBERCO-HELLIGE, modelo 966. O volume dos sólidos sedimentáveis (SS) foi analisado em amostras de superfície, provenientes das estações de monitoramento limnológico (SOB), conforme APHA (1995). As concentrações de clorofila-a e feofitina foram determinadas através do método proposto por Nusch (1980) e recomendações de Wetzel & Likens (2000), empregando-se membrana filtrante HAWP da Millipore<sup>TM</sup> para filtração das amostras de água e posterior extração com etanol.

### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros temperatura, pH, condutividade elétrica, OD, salinidade, transparência, amônia, nitrato, N total, ortofosfato, P total, COT, alcalinidade, dureza, turbidez, DBO, clorofila a, vazão e precipitação, foram determinados nas águas do reservatório de Sobradinho, no período compreendido entre 2016 e 2021. O resumo estatístico dos dados está disposto na Tabela 7.

**Tabela 7:** Estatística descritiva para os parâmetros físico-químicos das águas do reservatório de Sobradinho.

| SOB 19                                         |       |         |        |        |
|------------------------------------------------|-------|---------|--------|--------|
| PARÂMETROS                                     | MÉDIA | MEDIANA | MÁXIMO | MÍNIMO |
| Temperatura (°C)                               | 26,46 | 26,5    | 31,9   | 22,2   |
| pH                                             | 7,85  | 8,02    | 8,88   | 5,50   |
| Condut. Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ ) | 71,45 | 71,95   | 81,6   | 61,6   |
| OD ( $\text{mg/L}$ )                           | 8,33  | 8,25    | 12,9   | 6,43   |
| Salinidade                                     | 0,03  | 0,03    | 0,04   | 0,02   |

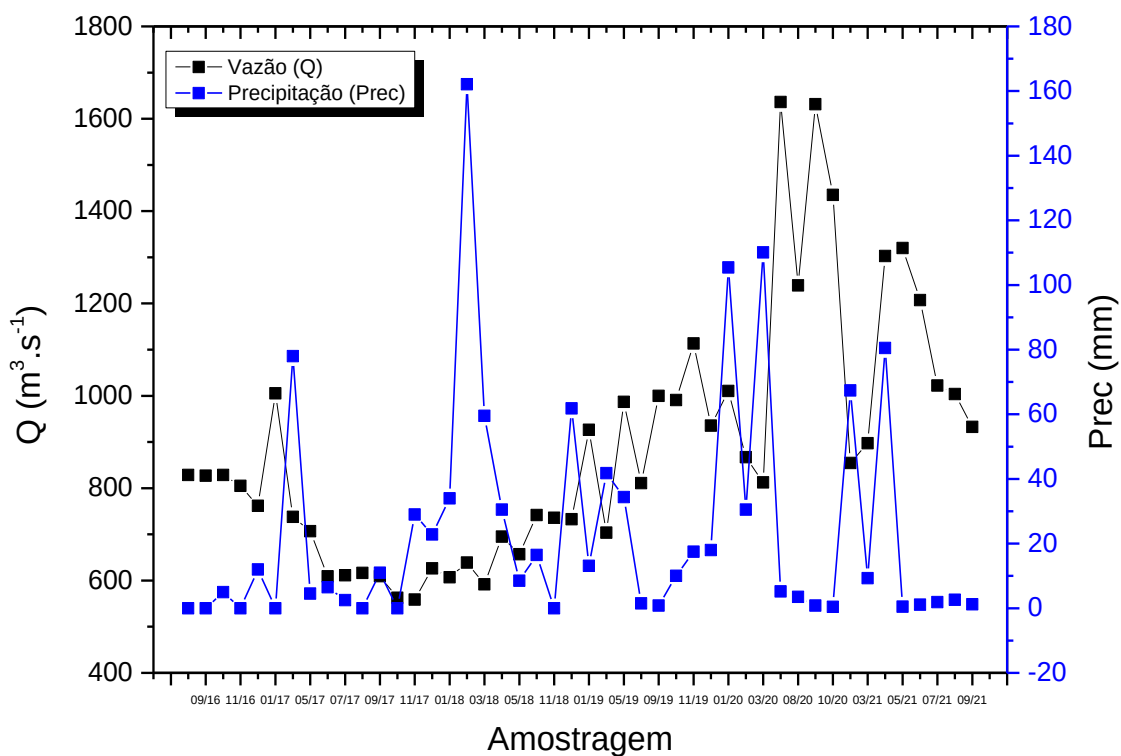
|                                 |        |       |        |       |
|---------------------------------|--------|-------|--------|-------|
| <b>Transparência (m)</b>        | 3,44   | 2,25  | 9      | 0,5   |
| <b>Amônia (mg/L)</b>            | 0,13   | 0,09  | 0,94   | 0,01  |
| <b>Nitrato (mg/L)</b>           | 0,14   | 0,05  | 0,54   | 0,007 |
| <b>N Total (mg/L)</b>           | 5,72   | 4,99  | 12,3   | 0,4   |
| <b>Ortofosfato (mg/L)</b>       | 0,02   | 0,01  | 0,20   | 0,003 |
| <b>P Total (mg/L)</b>           | 0,04   | 0,03  | 0,23   | 0,01  |
| <b>COT (mg/L)</b>               | 9,46   | 9,03  | 30,0   | 1,4   |
| <b>Alcalinidade (mg/L)</b>      | 35,75  | 30,75 | 65,0   | 18,0  |
| <b>Dureza (mg/L)</b>            | 31,23  | 31,63 | 52,8   | 19,0  |
| <b>Turbidez (NTU)</b>           | 5,82   | 2,5   | 20,5   | 0,62  |
| <b>DBO (mg/L O<sub>2</sub>)</b> | 1,45   | 1,24  | 3,2    | 0,47  |
| <b>Clorofila a (µg/L)</b>       | 4,39   | 2,23  | 11,16  | 0,1   |
| <b>Vazão (m<sup>3</sup>/s)</b>  | 895,19 | 811,7 | 1964,9 | 26,37 |
| <b>Precipitação(mm)</b>         | 27,75  | 9,65  | 162,1  | 0     |

Os resultados mostram que a temperatura no período estudado apresentou variação de 22,2 °C (julho/2017) – 31,9 °C (maio/2019); O pH variou de 5,50 (maio/2017) a 8,88 (agosto/2016); A condutividade variou de 61,6 µS/cm (março/2018) a 81,6 µS/cm (março/2020); Para o OD a variação observada foi entre 6,43 mg/L (dezembro/2016) e 12,9 mg/L (maio/2018); O mínimo e máximo observado, respectivamente, para salinidade foi de 0,02 (janeiro/2018) e 0,04 (novembro/2017); A transparência variou com a profundidade de 0,5 m (fevereiro/2017) a 9,0 m (janeiro/2020); A amônia, por sua vez, variou de 0,01 mg/L (janeiro/2020) a 0,94 mg/L (março/2018); Já o nitrato apresentou variação entre 0,007 mg/L (fevereiro/2021) e 0,54 mg/L (abril/2019); A concentração de nitrogênio total variou de 0,4 mg/L (novembro/2018) a 12,3 mg/L (setembro/2020); O ortofosfato variou de 0,002 mg/L (agosto/2019) a 0,20 mg/L (maio/2019), enquanto que o fósforo total variou entre 0,01 mg/L (maio/2019) a 0,23 mg/L (janeiro/2020); Para o COT a variação foi de 1,4 mg/L (abril/2019) a 30,0 mg/L (agosto/2019); Os valores de alcalinidade variaram entre 18,0 mg/L (maio/2018) e 65,0 mg/L (junho/2021); Para a dureza a concentração mínima foi de 19 mg/L (outubro/2018) e a máxima 52,8 mg/L (dezembro/2018); A turbidez apresentou valores mínimos e máximos, respectivamente, variando de 0,62 NTU (outubro/2018) a 20,5 NTU (agosto/2020); Os resultados de DBO mostraram variação

entre 0,47 mg/L (agosto/2019) e 3,2 mg/L (janeiro/2019); Para a Clorofila a, o mínimo verificado foi de 0,1  $\mu\text{g/L}$  (novembro/2018) e o máximo foi de 11,16  $\mu\text{g/L}$  (março/2020); A precipitação sofreu variação de 0 mm a 162 mm e a vazão variou de 26,37  $\text{m}^3/\text{s}$  a 1964,9  $\text{m}^3/\text{s}$ .

A Figura 5 representa a variabilidade de vazão e precipitação na região do reservatório de Sobradinho, no qual percebe-se nitidamente que o período com maiores precipitações é compreendido entre os meses de janeiro e abril, ficando explícito no pico destacado em 2018, enquanto que o período de estiagem é de maio a dezembro.

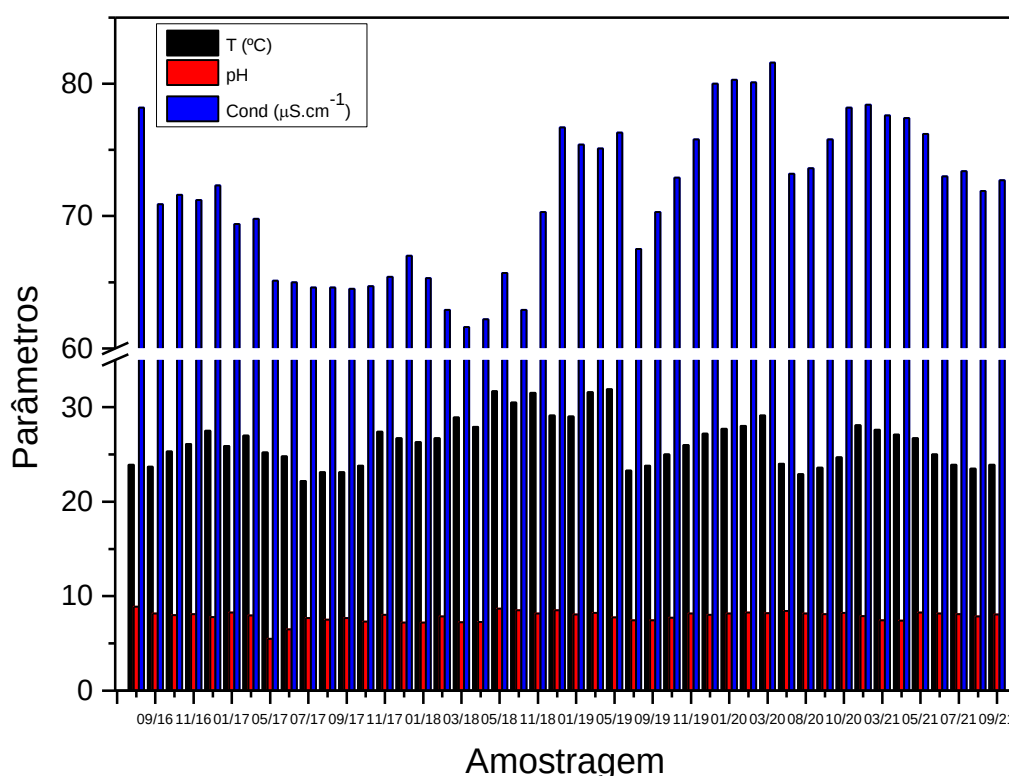
**Figura 5:** Distribuição de vazão e precipitação no período entre 2016 e 2021 no reservatório de Sobradinho.



Na Figura 6 são observados valores de pH, temperatura e condutividade, no reservatório de Sobradinho para uma série compreendida entre os anos de 2016 e 2021. Percebe-se que a variação de pH da água é discreta, não sendo observada, portanto, variações significativas. Em relação à temperatura, se observa que os maiores valores são observados durante o período seco, conforme já demonstrado na Figura 5. Já a condutividade, apresenta variações destacáveis, porém, não respeitando períodos sazonais, uma vez que os picos que se destacam no gráfico,

são representados tanto para períodos chuvosos, quanto para períodos secos. Essa distribuição pode ter interferência de alguns fatores como: o arraste de material superficial para dentro do lado, quando em período chuvoso e/ou o tempo de residência da água no reservatório, influenciada pelo período de baixa vazão e possível evaporação, no período de sol mais intenso.

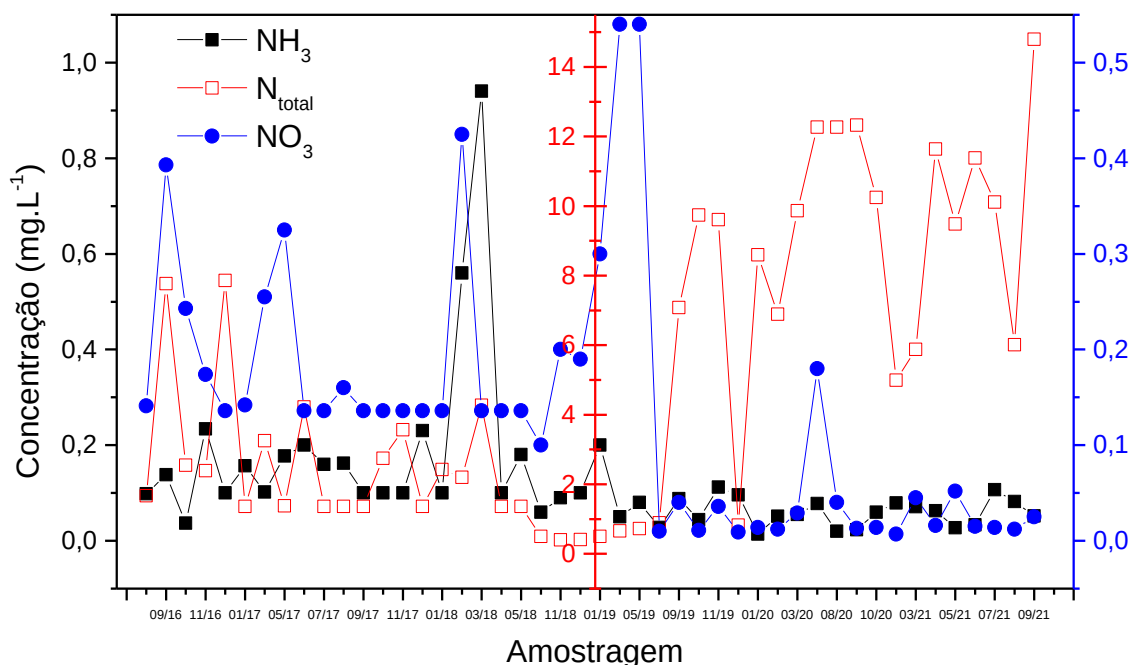
**Figura 6:** Representação gráfica de medidas dos parâmetros temperatura, pH e condutividade, para o reservatório de Sobradinho, Rio São Francisco.



Na Figura 7 são observadas as distribuições das concentrações da série nitrogenada Nitrogênio total, amônia e nitrato, para o período compreendido entre os anos de 2016 e 2021, nas águas do reservatório de Sobradinho. Destaca-se a importância do N no metabolismo de ecossistemas aquáticos, uma vez que quando presente em baixas concentrações, pode ser agente limitante na produção primária dos lagos e reservatórios. Observando a representação gráfica (Figura 7) sugere-se que no período compreendido entre 2016 e 2018, há tendência a ocorrência do processo de nitrificação ( $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$ ), fenômeno que ocorre em ambientes ricos em oxigênio, reservatórios oligotróficos. Já entre 2019 e 2021, há tendência em ocorrência do processo de amonificação ( $\text{NO}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NH}_3$ ), com redução da

disponibilidade de oxigênio na água.

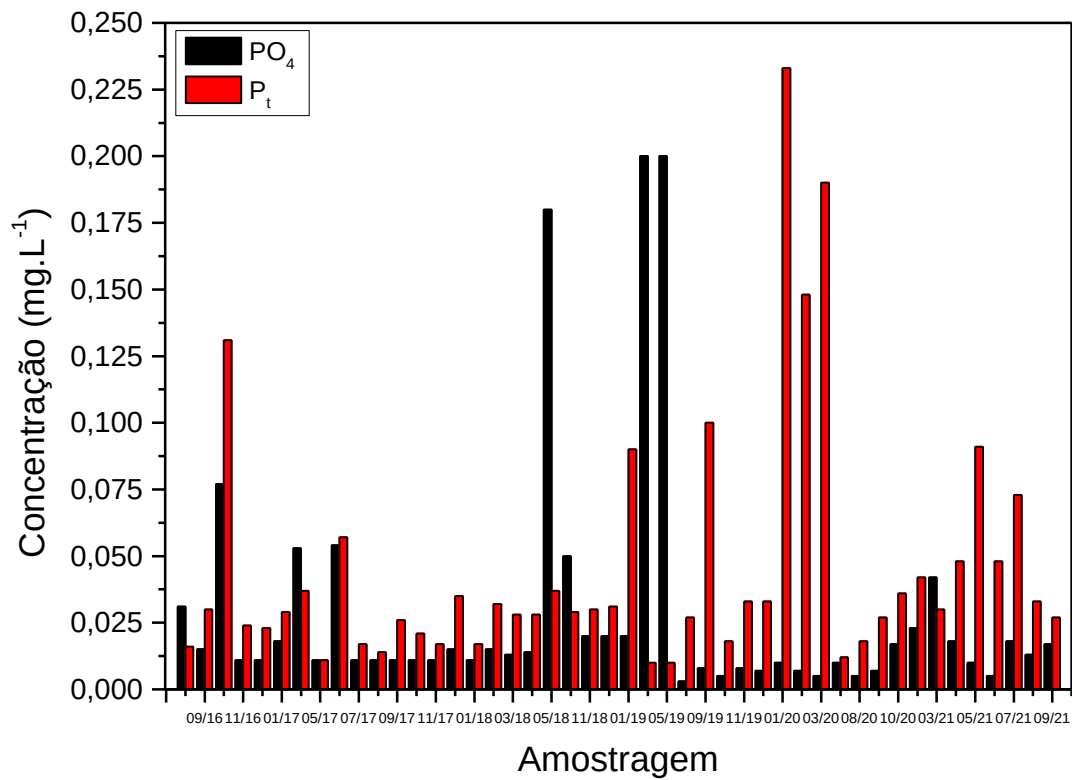
**Figura 7:** Distribuição das concentrações de  $N_t$ ,  $NH_3$  e  $NO_3$  em amostras de água do reservatório de Sobradinho, entre os anos de 2016 e 2021.



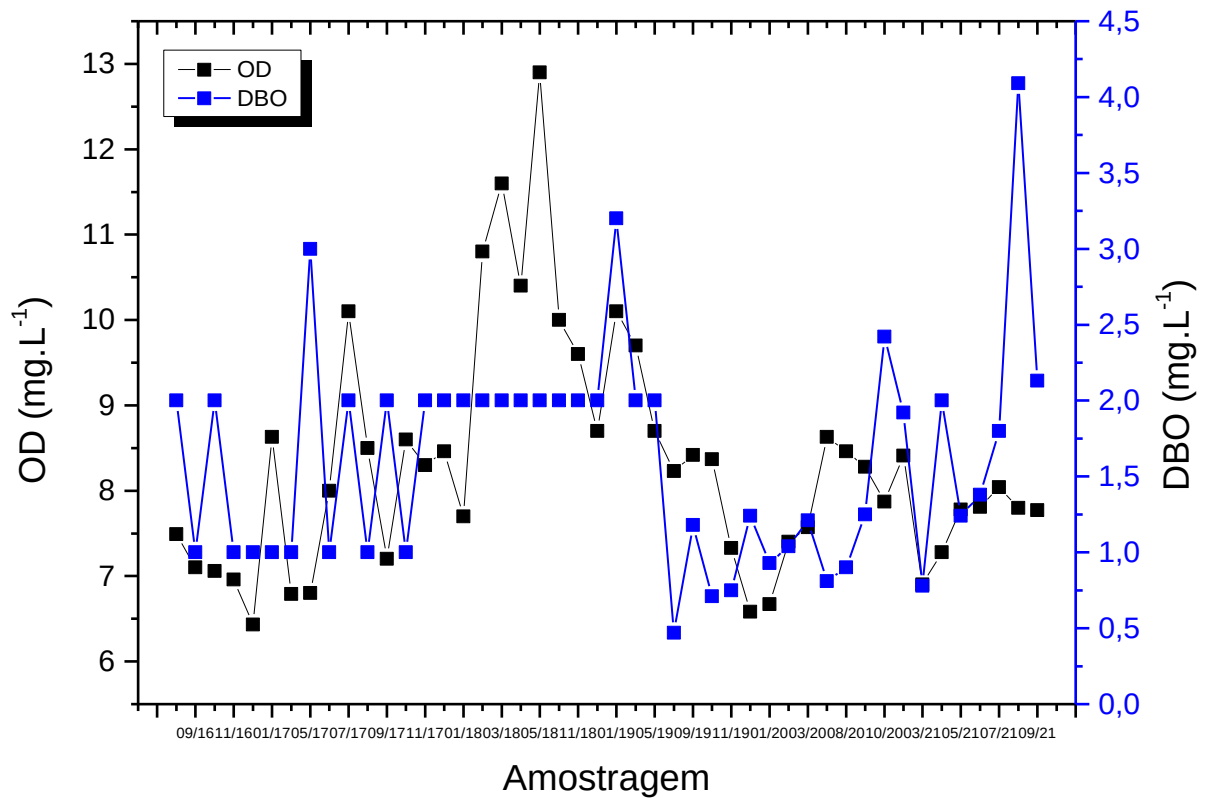
Na Figura 8 estão distribuídas as concentrações de fósforo total e fosfato nas águas do reservatório de Sobradinho. Se observa que em período seco, há tendência de elevação na concentração de fosfato, isso pode ser devido a decomposição de matéria biológica, quando há menor troca das águas do reservatório. De forma geral, a elevação das concentrações de fósforo e seus derivados, em águas superficiais, consiste no enriquecimento desses ecossistemas por nutrientes, proporcionando crescimento rápido de fitoplâncton, aumentando-se a turbidez, e elevando o grau de eutrofização do meio.

A Figura 9 representa graficamente as concentrações de oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio, no período de 2016 a 2021. É perceptível a influência das precipitações e, conseqüentemente, da renovação das águas do reservatório, na disponibilidade de oxigênio do meio e, quando no período seco, o aumento da DBO.

**Figura 8:** Concentrações de P e PO<sub>4</sub> nas águas do reservatório de Sobradinho, entre 2016 e 2021.

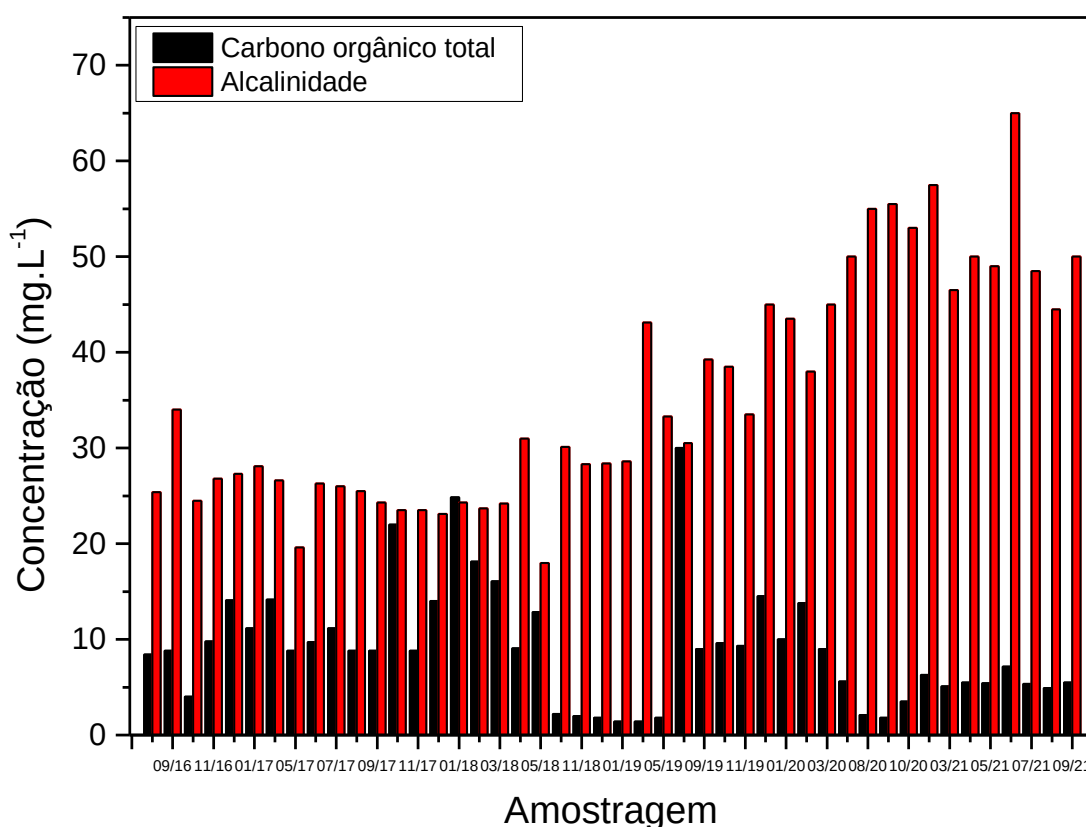


**Figura 9:** Distribuição da concentração dos parâmetros OD e DBO, no reservatório de Sobradinho, no período de vazões reduzidas.



A figura 10 traz informações sobre a variação dos parâmetros alcalinidade e COT, no período de vazão reduzida, entre 2016 e 2021, no reservatório de Sobradinho. De forma geral, é possível observar que a alcalinidade tem aumentado ao passar dos anos, essa elevação pode ser atribuída a decomposição de matéria orgânica, especialmente em períodos com baixas trocas de águas. O COT se apresenta relativamente baixo, abaixo de 20 mg.L<sup>-1</sup>, para todo o período apresentado, com apenas dois valores acima, sugerindo que esse aporte pode estar relacionado a decomposição de plantas ou a lixiviação da excreção de animais.

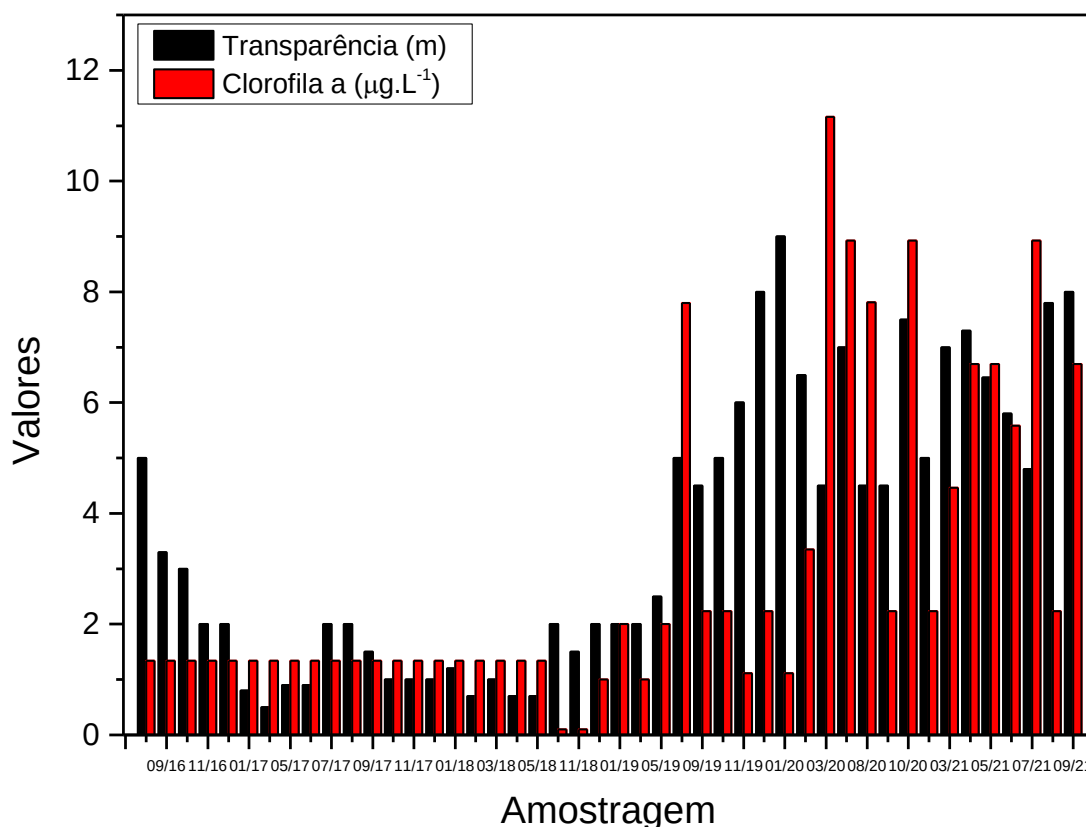
**Figura 10:** Disposição de COT e alcalinidade no reservatório de sobradinho, em período de baixa vazão.



O parâmetro clorofila a, representado na figura 11, demonstra um aumento significativo ao longo dos anos. Sob essa ótica, o reservatório apresenta no início do monitoramento (2016) característica oligotrófica (clorofila a  $\leq 2$ ), e posteriormente oscilando entre ambientes mesotróficos ( $3 \leq$  clorofila a  $\leq 6,9$ ) e eutróficos (clorofila a  $\geq 10$ ). Também é possível perceber que o parâmetro transparência é influenciado pelo período chuvoso, possivelmente, pelo aporte de partículas sólidas arrastadas pelas

chuvas, para o corpo do reservatório.

**Figura 11:** Distribuição da concentração de clorofila a e transparência, nas águas do reservatório de Sobradinho, entre 2016 e 2021.



Na Tabela 8 é representada a matriz de correlação de Pearson para os parâmetros físicos e químicos estudados, para o período entre 2016 e 2016, no reservatório de Sobradinho. Se observa, dessa forma, correlações positivas e significativas ( $r > 0,60$ ), entre as variáveis transp – cond ( $r = 0,73$ ), alc - cond ( $r = 0,65$ ), Nt – transp ( $r = 0,67$ ), alc – transp ( $r = 0,77$ ), Q – transp ( $r = 0,68$ ), alc – Nt ( $r = 0,75$ ), clor – Nt ( $r = 0,65$ ), Q – Nt ( $r = 0,72$ ), alc – clor ( $r = 0,64$ ) e Q – alc ( $r = 0,77$ ). As correlações apresentadas explicitam, especialmente, a influência das alterações drásticas de precipitação e do controle de vazão do reservatório.

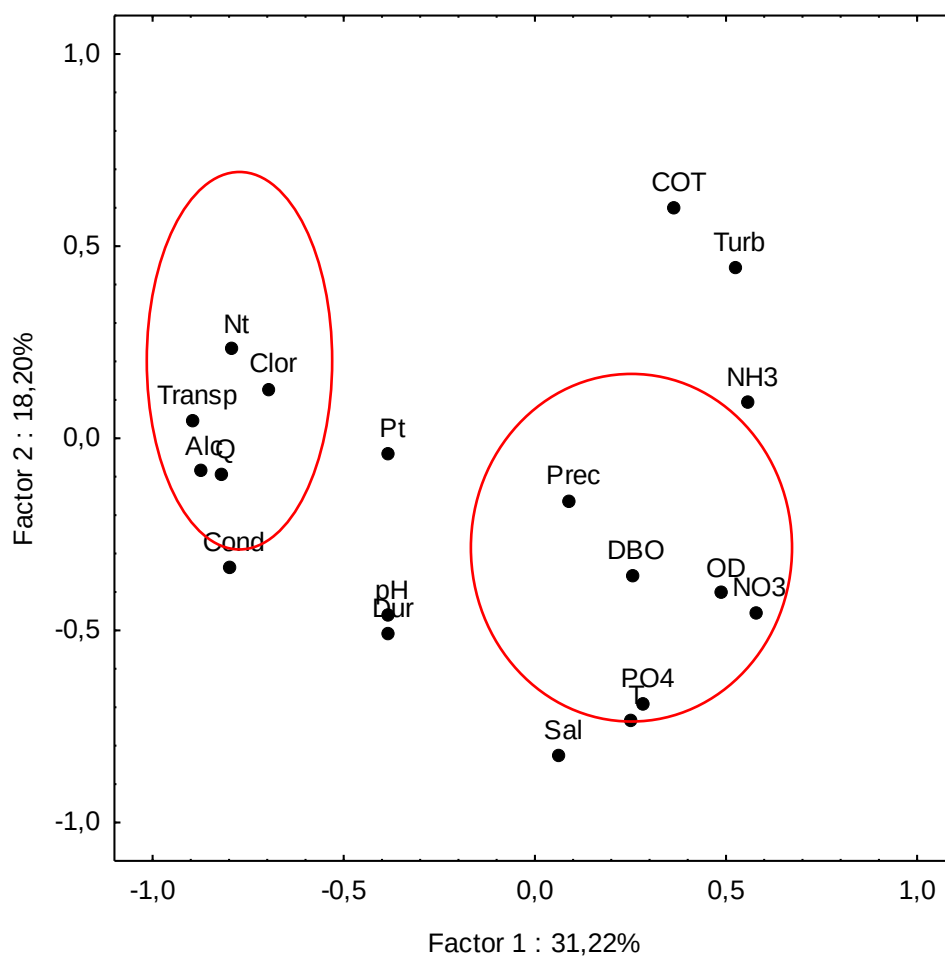


**Tabela 8:** Matriz de correlação de Pearson para as variáveis, de 2016 a 2021, no reservatório de Sobradinho.

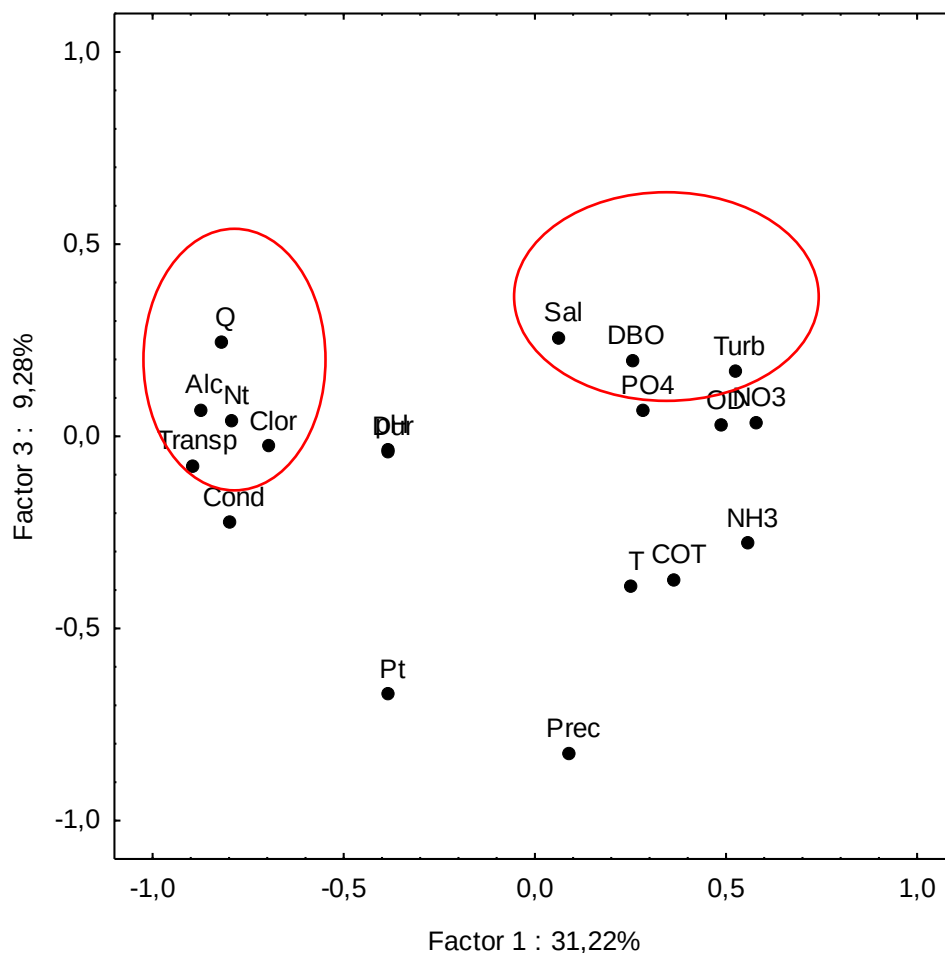
|        | T        | pH       | Cond     | OD       | Sal      | Transp   | NH3      | NO3      | Nt       | PO4      | Pt       | COT      | Alc      | Dur      | Turb     | DBO      | Clor     | Q       | Prec |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|------|
| T      | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |      |
| pH     | 0,1963   | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |      |
| Cond   | 0,14293  | 0,4558   | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |      |
| OD     | 0,37972  | 0,12203  | -0,47742 | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |      |
| Sal    | 0,51901  | 0,36526  | 0,11291  | 0,41935  | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |      |
| Transp | -0,24036 | 0,29463  | 0,73     | -0,45439 | -0,15704 | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |      |
| NH3    | 0,13501  | -0,24992 | -0,47293 | 0,49124  | -0,09079 | -0,41323 | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |      |
| NO3    | 0,35501  | -0,09783 | -0,2467  | 0,24903  | 0,2952   | -0,56981 | 0,25729  | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |      |
| Nt     | -0,35873 | 0,18324  | 0,45203  | -0,33148 | -0,19986 | 0,67     | -0,25071 | -0,50585 | 1        |          |          |          |          |          |          |          |          |         |      |
| PO4    | 0,57284  | 0,14888  | 0,01928  | 0,35719  | 0,479    | -0,24917 | -0,04841 | 0,58994  | -0,33029 | 1        |          |          |          |          |          |          |          |         |      |
| Pt     | 0,14142  | 0,1615   | 0,44005  | -0,22357 | -0,11561 | 0,34827  | -0,16593 | -0,26628 | 0,23846  | -0,12414 | 1        |          |          |          |          |          |          |         |      |
| COT    | -0,19232 | -0,31742 | -0,40397 | 0,00392  | -0,54592 | -0,21926 | 0,29133  | -0,1125  | -0,24833 | -0,2371  | -0,04918 | 1        |          |          |          |          |          |         |      |
| Alc    | -0,15356 | 0,28729  | 0,65     | -0,26951 | -0,00997 | 0,77     | -0,40839 | -0,45224 | 0,75     | -0,14984 | 0,19058  | -0,42325 | 1        |          |          |          |          |         |      |
| Dur    | 0,21633  | 0,21902  | 0,56329  | -0,03468 | 0,35319  | 0,29717  | -0,24705 | 0,04152  | 0,06099  | 0,12863  | 0,09533  | -0,26766 | 0,33486  | 1        |          |          |          |         |      |
| Turb   | -0,19684 | -0,3509  | -0,5316  | 0,02421  | -0,27963 | -0,53241 | 0,24619  | 0,14623  | -0,18725 | -0,077   | -0,28044 | 0,32024  | -0,44661 | -0,40288 | 1        |          |          |         |      |
| DBO    | 0,17724  | -0,118   | -0,14394 | 0,28024  | 0,29208  | -0,12793 | 0,17038  | 0,23146  | -0,27321 | 0,16653  | -0,12522 | -0,30963 | -0,13293 | 0,11283  | 0,04568  | 1        |          |         |      |
| Clor   | -0,25477 | 0,15901  | 0,41696  | -0,19196 | -0,13587 | 0,56038  | -0,26046 | -0,41022 | 0,65     | -0,21272 | 0,22302  | -0,09129 | 0,64     | 0,23503  | -0,22762 | -0,17108 | 1        |         |      |
| Q      | -0,23569 | 0,32935  | 0,58236  | -0,24605 | 0,09711  | 0,68     | -0,36813 | -0,34045 | 0,72     | -0,15798 | 0,1071   | -0,43136 | 0,77     | 0,31016  | -0,39786 | -0,15934 | 0,57314  | 1       |      |
| Prec   | 0,398    | 0,02542  | 0,11326  | 0,11403  | -0,05958 | -0,05031 | 0,32513  | 0,18417  | -0,03057 | 0,03757  | 0,3685   | 0,15613  | -0,01538 | 0,0537   | -0,06759 | 0,0338   | -0,00666 | -0,1767 | 1    |

A aplicação da técnica de análise de componentes principais (PCA) nos permite observar a redução da complexidade de informações, agrupadas em componentes principais (PC), que, nesse estudo, as três (3) primeiras componentes principais representou 58,7% da variância total dos dados, com a PC1 representando 31,22%, a PC2 18,20% e a PC3 9,28% da variabilidade dos dados. Conforme apresentado nas Figuras 12 e Figura 13.

**Figura 12:** Análise de componentes principais aplicada às variáveis do monitoramento da qualidade da água do reservatório de Sobradinho (PC1 x PC2).



**Figura 13:** Análise de componentes principais aplicada às variáveis do monitoramento da qualidade da água do reservatório de Sobradinho (PC1 x PC3).



A formação de grupos, Figuras 12 e 13, se dá especialmente pelas correlações apresentadas entre Q, alc, transp, cond. e Nt, corroborando com a análise de Pearson, e colaborando com a variância da PC1. Já o segundo grupo, observados em ambas as Figuras, apresenta influência da turb, acompanhando variações, especialmente, em parâmetros que apresentam oxigênio em sua composição. Sendo influenciadas, prioritariamente, pelas precipitações.

É possível destacar, porém, que não foi possível observar um comportamento simétrico, entre as variáveis, em todos os anos estudados, uma vez que, as precipitações não ocorreram de forma similar, obedecendo os meses comuns para os períodos seco (maio – dezembro) e chuvoso (janeiro – abril).

## 6. CONCLUSÃO

O monitoramento da qualidade da água de reservatórios é um mecanismo importante para a prevenção a saúde ambiental e humana, quando estes são utilizados para o abastecimento humano. Dessa forma, esse estudo demonstrou que não ocorreram diferenças sazonais quanto a avaliação dos parâmetros estudados, contudo percebe-se que ao passar dos anos a qualidade da água vem sofrendo transformações negativas e que podem, futuramente, inviabilizar o uso para abastecimento humano e para outros usos nobres. Faz-se necessário, portanto, que além do monitoramento sejam adotadas medidas de prevenção e recuperação das águas da bacia do rio São Francisco, especialmente das águas que compõem o reservatório de Sobradinho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. **Enquadramento:** bases conceituais. 2019. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-conceituais.aspx>>. Acesso em: 30 fev. 2022.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. **Monitoramento.** 2017. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br>>. Acesso em 15 mar. de 2022.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. **Reservatórios.** 2018. Disponível em: <[https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2205/1/Unidade\\_1.pdf](https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2205/1/Unidade_1.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2022.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. **Sistema de Acompanhamento de Reservatórios.** 2020. Disponível em: <[https://www.ana.gov.br/sar/sin/b\\_sao-francisco/](https://www.ana.gov.br/sar/sin/b_sao-francisco/)>. Acesso em: 08 mar. de 2022.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Atlas da energia elétrica do Brasil** – Capítulo 3: Energia hidráulica. 2005. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap3.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap3.pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2022.

ALMEIDA, J. R. **A cobrança pelo uso da água como instrumento de gestão de bacias hidrográficas:** um estudo dos modelos de cobrança aplicados no Brasil e na França. 2018. 121 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

AMARO, C. A. **Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento.** Dissertação (Mestrado em

Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. 1995. **Standard methods for examination of water and wastewater**. Washington: EPS Group, 1. 268p.

ARRUDA, N. M. B.; RIZZI, N. E.; MIRANDA, T. L. G. Análise multivariada na avaliação da qualidade de água do reservatório de Foz do Areia, estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 37, p. 26-37, 2015.

BARAKAT, A.; EL BAGHDADI, M.; RAIS, J.; AGHEZZAF, B.; SLASSI, M. Assessment of Spatial and Seasonal Water Quality Variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using Multivariate Statistical Techniques. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, n. 4, p. 284-292, 2016.

BENEDETTI, A. D., TUCCI, C. E. M. Uso de indicadores para avaliação de usinas hidrelétricas em bacias hidrográficas com múltiplos aproveitamentos. **Revista de gestão de água da América Latina**, v.3. n. 1, p.73-83, 2006

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balanço Energético Nacional 2018. Ano Base 2017**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2018. 294p.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Balanço Energético Nacional 2021. Ano Base 2020**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2018. 268p.

BRASIL. INMETRO 2015. **A Atividade de Avaliação da Conformidade**. Disponível em: <<http://inmetro.gov.br/qualidade/>>. Acesso em: 10 abr. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF 09/01/1997, P. 470. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em: 10 mar. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 10 abr. 2022.

BROWN, R. M. *et al.* Water Quality Index – Do we dare. **Water & Sewage Works**, p. 339- 343, 1970.

CALIJURI, M. C.; SANTOS, A. C. A.; JATI, S. Temporal changes in the phytoplankton community structure in a tropical and eutrophic reservoir (Barra Bonita, SP.—Brazil). **Journal of Plankton Research**, v. 24, n. 7, p. 617–634, 2002.

CAMPOS, R. F. **Análise da qualidade das águas subterrâneas e determinação do índice de vulnerabilidade do aquífero serra geral no município de Medianeira –**

PR. 2015. 108f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.

CASTRO, G., MORAIS, R., CASTRO, G., FERREIRA, D. V., TOMMASSO, F., & MORAIS, R. (). TDSE 79: **Impactos Sistêmicos da Micro e Minigeração Distribuída**. GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico. V. 79, 2018.

Comitê da Bacia do Rio São Francisco – CBHSF. 2020. Disponível em: <<https://cbhsaofrancisco.org.br/o-cbhsf/>> Acesso em: 22 mar. 2022.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. **Histórico da Legislação hídrica no Brasil**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/historico-da-legislacao-hidrica-no-brasil/>>. Acesso em: 30 mar. 2022.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. **Indicadores de qualidade - Índice de Qualidade das Águas (WQI)**. Site oficial da Cetesb 2020. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 01 abr. 2022.

Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF. **Programa de Monitoramento da Qualidade da Água, Módulo A: Relatório 01**. 2017. Disponível em: <<https://www.chesf.com.br/sustentabilidade/Documents/Relat%C3%B3rio%20-%20Qualidade%20de%20%C3%81gua%20-%20Junho%202017.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2022.

Companhia Hidrelétrica do São Francisco - CHESF. **Sistema de Geração Sobradinho**. 2020. Disponível em: <<https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Sobradinho.aspx>>. Acesso em: 08 jul. de 2022.

Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF. **Relatório Mensal de Monitoramento da Qualidade de Água**. Recife, 2021. Disponível em: <<https://www.chesf.gov.br/sustentabilidade/Documents/Relat%c3%b3rio%20-%20Monitoramento%20da%20Qualidade%20de%20%c3%81gua%20-%20Setembro%202021.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

COURA, M. R. **Análise da alteração da qualidade das águas superficiais impactadas por usinas hidrelétricas recém implantadas na Amazônia**. 2020. 228f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

CRUZ, I. F. *et al.* Key factor in vertical mixing processes in a reservoir bordering the Pantanal floodplain, Brazil, **Hydrological Sciences Journal**, v. 60, n. 9, p. 1508-1519, 2015.

CUNHA, D. G. F. *et al.* Trophic State Evolution and Nutrient Trapping Capacity in a Transboundary Subtropical Reservoir: A 25 – Year Study. **Environmental management**, v 57, n3, p. 649-659, 2006.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 802p.

ESTEVEES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

FANNY, C.; VIRGINIE, A.; JEAN-FRANÇOIS, F.; JONATHAN, B.; MARIE-CLAUDE, R.; SIMON, D. Benthic indicators of sediment quality associated with run-of-river reservoirs. **Hydrobiologia**, v. 703, n. 1, p. 149-164, 2013.

FRANÇA, M. S. **Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento da qualidade de água da Bacia do Alto Iguaçu**: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos. 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

FREITAS, M. D. F.P. P. **Avaliação de variáveis físicas e de qualidade das águas em reservatórios de usinas hidrelétricas de Minas Gerais para gestão das águas no Estado**. 2017. 90f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

FURNAS. **Usina hidrelétrica**. 2016. Disponível em <[http://www.furnas.com.br/hotsites/sistema/furnas/usina\\_hidr\\_funciona.asp](http://www.furnas.com.br/hotsites/sistema/furnas/usina_hidr_funciona.asp)>. Acesso em: 12 mar. 2022.

GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S. & OHNSTAD, M. A. M. **Methods for physical and chemical analysis of freshwaters**: Oxford. Blackwell Scientific Publications, v.I.B.P. Handbook. 8. 1978. 213 p.

GONÇALVES, C.; CRUZ, L. T. M.; SILVÉRIO, P. F. Soluções rastreáveis e estáveis para determinação de Oxigênio Dissolvido em Águas subterrâneas: melhoria da qualidade técnica dos Resultados de Campo. **Águas Subterrâneas**, v.1. 2009.

GONÇALVES, D. R. P.; ROCHA, C. H. Indicadores de qualidade da água e padrões de uso da terra em bacias hidrográficas no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1172-1183, 2016.

GUEDES, T. A. *et al.* **Estatística Descritiva**. Apostila. 49 p. 2010. Disponível em:< [http://www.each.usp.br/rvicente/Guedes\\_et al Estatistica Descritiva.pdf](http://www.each.usp.br/rvicente/Guedes_et al Estatistica Descritiva.pdf)>. Acesso em: 16 abr. 2022.

HAIR, J. R. *et al.* **Multivariate Data Analysis**. 6. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2009. 688 p.

HANISCH, W.; FREIRE-NORDI, C. S. **Monitoramento remoto em tempo real de mananciais visando às florações de cianobactérias**. p. 190- 211. In: POMPEO, M.;

MOSCHINI-CARLOS, V.; NISHIMURA, P. Y.; SILVA, S. C.; DOVAL, J. C. L. (Org.). *Ecologia de reservatórios e interfaces*. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2015.

NUSCH, E. **Comparison of Different Methods for Chlorophyll and Phaeopigment Determination**. *Archiv fUr Hydrobiologie*, 14, 14-36. 1980.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP. **Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 1999 a 2004**. Curitiba, 2004. Disponível em: [https://www.iat.pr.gov.br/arquivos/File/Monitoramento/rel\\_monit\\_qual\\_agua](https://www.iat.pr.gov.br/arquivos/File/Monitoramento/rel_monit_qual_agua). Acesso em: 10 mar. 2022.

IORIS, A. Desenvolvimento nacional e gestão de recursos hídricos no Brasil. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n. 85, p. 23-41, 2009.

JUÁREZ, A. A., ARAÚJO, A. M., ROHATGI, J. S., OLIVEIRA, F. O. D. Q. Development of the wind power in Brazil: Political, social and technical issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 39, 828–834, 2014.

KOROLEFF, F. Determination of nutrients. In: GRASSHAFT, K. (Ed.). **Methods of seawater analysis**. Verlag: Chemic Weinheim, 1976. P 117-181.

LIMA, E. B. N. R. **Modelação integrada para gestão da qualidade da água na bacia do rio Cuiabá**. 206 f. 2001. Tese (Doutorado em Ciências) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE – UFRJ, 2001.

LIMA, G. R. R. **Indicadores de qualidade de água nos reservatórios Acarape do Meio e Gavião**. 78f. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

LOPES, S. M. **Avaliação espaço-temporal da qualidade da água do reservatório da UHE Capivari-Cachoeira e corpos hídricos relacionados**: uma abordagem de longo prazo. 2019. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

LU, T. *et al.* Hydrological controls on cascade reservoirs regulating phosphorus retention and downriver fluxes. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 23, n. 23, p. 24166-24177, 2016.

MAAVARA, T. *et al.* Global phosphorus retention by river damming. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 51, p.15603–15608. 2015.

MACÊDO, J. A. B. **Águas e águas**. 2ª ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2004. 977p.  
MACKERETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, F. J. **Water analysis some revised methods for limnologists**. Ambleside: Freshwater Biological Association, 1978. 120p.



MAGEE, M. R. *et al.* Response of water temperatures and stratification to changing climate in three lakes with different morphometry, **Hydrology Earth System Sciences**, v. 21, p. 6253-6274, 2017.

MELO, F. A. de O; NEPOMUCENO, A. L. T. **Determinação do índice de qualidade da água do rio piranga- MG**. In: XIV SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA - SEGeT, 2017, Resende. Ética e Gestão, juntas por um crescimento sustentável, 2017.

MENDONÇA, M. C. S.; GARCIA, H. L.; BARRETO, V. L.; GARCIA, C A B. Avaliação da eutrofização dos reservatórios açude da Macela e Jacarecica Itabaiana-SE através do Índice de Qualidade da Água de Reservatórios-IQAR. In: Luis Miguel Schiebelbein. (Org.). **Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade** 2. 1ed. Ponta Grossa - PR: Atena Editora, 2018, v. 2, p. 12-21.

MOTA, S. **Preservação e conservação e Recursos hídricos**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABES.1995. 200p.

NEOENERGIA. **Histórico do setor elétrico**. 2013. Disponível em: <<http://www.neoenergia.com.br>>. Acesso em: 05 abr. 2022.

PADIAL, P.R. *et al.* Heterogeneidade espacial e temporal da qualidade da água do reservatório Rio das Pedras (Complexo Billings, São Paulo). **Revista Ambiente & Água**. v.4, n.3, p. 35-53, 2009.

PINTO, A. C. S. **Impactos da geração renovável no mix brasileiro de geração elétrica**. 2020. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia para a Sustentabilidade) – Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020.

Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas – PNQA. 2016. **Indicadores de qualidade – Qualidade de água em reservatórios**. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-qualidade-agua.aspx>>. Acesso em: 03 abr. 2022.

ROSA, A. M. R.; GUARDA, V. L. M. Gestão de recursos hídricos no Brasil: um histórico. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 9, n. 2, p. 197-220, maio/ago, 2019.

RYCHTECKY, P.; ZNACHOR, P. Spatial heterogeneity and seasonal succession of phytoplankton along the longitudinal gradient in a eutrophic reservoir, **Hydrobiologia**, v. 663, p.175–186. 2011.

SANTOS, A. C. **Noções de Hidroquímica**. In: Hidrologia: Conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM/LABHID-UFPE, 1997.

SAWYER, C. N.; MCCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemidtry for envitonmental engineering**. 4º ed. New York. McGraw-Hill Book Company. 1994. 658p.

SICHE, R. *et al.* Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambient. soc.**, Campinas, v. 10, n. 2, p. 137-148, dez 2007.

SILVA, E. R. **O curso da água na história: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos**. 1998. 201 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 1998.

SILVA, M. I. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Araripe**: estudo de caso da Região Metropolitana do Cariri. 2020. 105f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) – Universidade Federal do Cariri, Crato, 2020.

SIQUEIRA, F. B. **Conflitos de usos múltiplos dos recursos hídricos e reservatórios hidrelétricos no Brasil**. 2021. 155 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

STRAŠKRABRA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. v. 9, 3ª ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2013, 300p.

STRICKLAND, J. H.H., PARSONS, T. R. A manual of sea water analysis. **Bulletin Fisheries Research Board of Canada**, Ottawa, v.125, p. 1-185, 1960.

THOMAS, P. T. **Proposta de uma metodologia de cobrança pelo uso da água vinculada à escassez**. 2002. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

TRINDADE, A. P. C. *et al.* Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 13-24, 2017.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. 3. ed. São Carlos: Rima, 2009. 271 p.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, n.70, p.24-35, 2006.

TUNDISI, J. G. **Recursos Hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. 76 p.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2008. 631p.  
WANG, Y. *et al.* Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: a case study of the Songhua River Harbin region, China. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 7, n. 1, p. 30-40, 2013.

WETZEL, R.G. and LIKENS, G.E. **Limnological Analyses**. 3rd Edition, Springer, New York, Chapter: Nitrogen, Phosphorus, and Other Nutrients, 85-113. 2000.

ZARFL, C. *et al.* A global boom in hydropower dam construction. **Aquatic Science**, v. 77, n. 1, p.161–170, 2015.

ZARFL, C.; LUCÍA, A. The connectivity between soil erosion and sediment entrapment in reservoirs. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 5, p. 53-59, 2018.