

Artigo Técnico

# Dinâmica espaçotemporal da qualidade das águas superficiais de dois grandes reservatórios de usinas hidrelétricas brasileiras

*Spatio-temporal dynamics of surface water quality of two large reservoirs of Brazilian hydroelectric plants*

Priscila da Costa<sup>1\*</sup> , Gabriela Rodrigues Barroso<sup>1</sup> , Karla Lorrane de Oliveira<sup>1</sup> ,  
Maria Clara Vieira Martins Starling<sup>1</sup> , Silvia Oliveira<sup>1</sup> 

## RESUMO

A utilização de recursos hídricos na geração de energia, em geral, envolve a concepção de barragens e reservatórios artificiais, que podem estar associados a impactos socioambientais. O emprego de técnicas estatísticas e índices para a avaliação dos dados da qualidade de águas superficiais tem se mostrado eficiente na compreensão da dinâmica desses ambientes. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade das águas de dois grandes reservatórios e seus principais tributários, as usinas hidrelétricas Emborcação e Nova Ponte, em Minas Gerais. Dados secundários foram avaliados por meio da técnica estatística multivariada análise de *cluster* (AC), seguida de testes não paramétricos, além do cálculo dos índices de conformidade ao enquadramento (ICE) e de estado trófico (IET). Para subsidiar a discussão dos resultados, os usos e coberturas da terra da área também foram analisados. Os resultados da AC indicaram a separação das estações de cada reservatório em grupos, conforme localizações e tipo de ambiente nos quais estão inseridas. Os resultados dos testes estatísticos sugeriram melhor qualidade da água nos grupos de estações localizadas no reservatório e próximas a ele, o que foi corroborado pelo ICE. Os resultados do ICE indicaram adequação da qualidade dessas águas em relação aos usos propostos para a classe 2 de enquadramento. Quanto ao IET, verificou-se presença de produtividade primária intermediária em níveis aceitáveis. A predominância do uso do solo para agropecuária pode justificar, em parte, as condições de degradação da qualidade da água dos cursos d'água, principalmente no que se refere aos parâmetros associados a sólidos e nutrientes.

**Palavras-chave:** qualidade da água; reservatório; usina hidrelétrica; estatística multivariada.

## ABSTRACT

The use of water resources for energy generation, generally, involves the design of artificial dams and reservoirs. The construction of reservoirs may be associated with socio-environmental impacts. The use of statistical techniques and indexes to assess surface water quality data has been an efficient tool for understanding the spatial dynamics of these environments. The work aimed to evaluate the water quality in two large reservoirs and their main tributaries, the Emborcação and Nova Ponte hydroelectric power plants in Minas Gerais. Secondary data were evaluated using the Multivariate Statistical Technique of Cluster Analysis (CA), followed by non-parametric tests, also the Environment Water Quality Index (WQI) and the Trophic State Index (TSI). To support the discussion of the results, the types of land use and occupation in the study area were also analyzed. The results of the CA indicated the separation of the monitoring sites of each reservoir into groups, according to their locations and the type of environment in which they are inserted. The results of the statistical tests suggested a better water quality in the groups formed by stations located in the reservoir and close to it, which have been confirmed by WQI. The results of the WQI indicated the adequacy of the quality of these waters, in relation to the proposed uses for class 2 framing. About the TSI, there was the presence of intermediate primary productivity at acceptable levels. The predominance of land use for agriculture can partially justify the degradation conditions of the water quality watercourses', especially about the parameters associated with solids and nutrients.

**Keywords:** water quality; reservoir; hydroelectric power plants; multivariate statistics.

## INTRODUÇÃO

As usinas hidrelétricas são as principais responsáveis pelo suprimento energético no Brasil, sendo o país o detentor de um dos maiores potenciais hidrelétricos

do mundo. A participação da energia hidráulica na matriz energética brasileira é de 71%, enquanto a média mundial é de 17% (BRASIL, 2020). Em geral, a utilização de recursos hídricos para a geração de energia envolve a concepção

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte (MG), Brazil.

\*Autor correspondente: priscila.costa91@hotmail.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: nenhum.

Recebido: 28/12/2020 - Aceito: 28/02/2022 - Reg. ABES: 20210233

de barragens e reservatórios artificiais que apresentam grande capacidade de armazenamento, promovendo a flexibilidade necessária para atendimento à demanda energética e usos diversos (TUNDISI, 2018).

Apesar da importância dos reservatórios para a sociedade, por causa dos seus múltiplos usos, a sua construção está associada a diversos impactos socioambientais, como transformação na estrutura da comunidade aquática (LI *et al.*, 2019), alterações no regime fluvial e na qualidade da água (XIN *et al.*, 2015), perda de patrimônio genético (fauna e flora) (DODDS; WHILES, 2020) e mudanças na hidrodinâmica do transporte de sedimentos (LI *et al.*, 2019; MEBARKIA; BOUFEKANE, 2020). Dessa forma, torna-se fundamental o estabelecimento de programas de monitoramento que forneçam subsídios para avaliação das condições dos corpos d'água e para a tomada de decisões ligadas ao gerenciamento dos recursos hídricos.

Ferramentas estatísticas, sobretudo multivariadas, têm se mostrado úteis para analisar extensos bancos de dados gerados em programas de monitoramento de qualidade da água, constituindo um valioso instrumento na gestão dos recursos hídricos (ISLAM; AFROZ; MIA, 2019; CHEN *et al.*, 2020a; OLIVEIRA, 2020). A análise desses dados pode ser complementada com outras ferramentas, como índices de qualidade das águas e avaliações de uso e cobertura da terra (CHEN *et al.*, 2020b; PINTO; FRANCO, 2017; PRADO; NOVO, 2007).

Estudos comprovam a relação entre as alterações no uso e cobertura da terra e a qualidade das águas que compõem uma mesma bacia, indicando que diversos fatores tendem a afetar a qualidade de suas águas, como os usos agrícolas e urbanos, que tendem a influenciá-la negativamente, e a vegetação natural, que, no geral, tem efeitos positivos sobre ela (KÄNDLER *et al.*, 2017; LIU *et al.*, 2019).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade das águas superficiais dos reservatórios das usinas hidrelétricas (UHE) Emborcação e Nova Ponte, na perspectiva espaço-temporal, por meio de ferramentas estatísticas e índices de qualidade da água. Ressalta-se que se trata de dois dos principais reservatórios hidrelétricos sob concessão da Companhia Energética de

Minas Gerais (Cemig), cujos volumes úteis estão em níveis críticos, abaixo de 20% de armazenamento. Além disso, entre as 219 UHE em operação no Brasil, Emborcação ocupa a 24ª posição em potência instalada e Nova Ponte a 41ª (ANEEL, 2021).

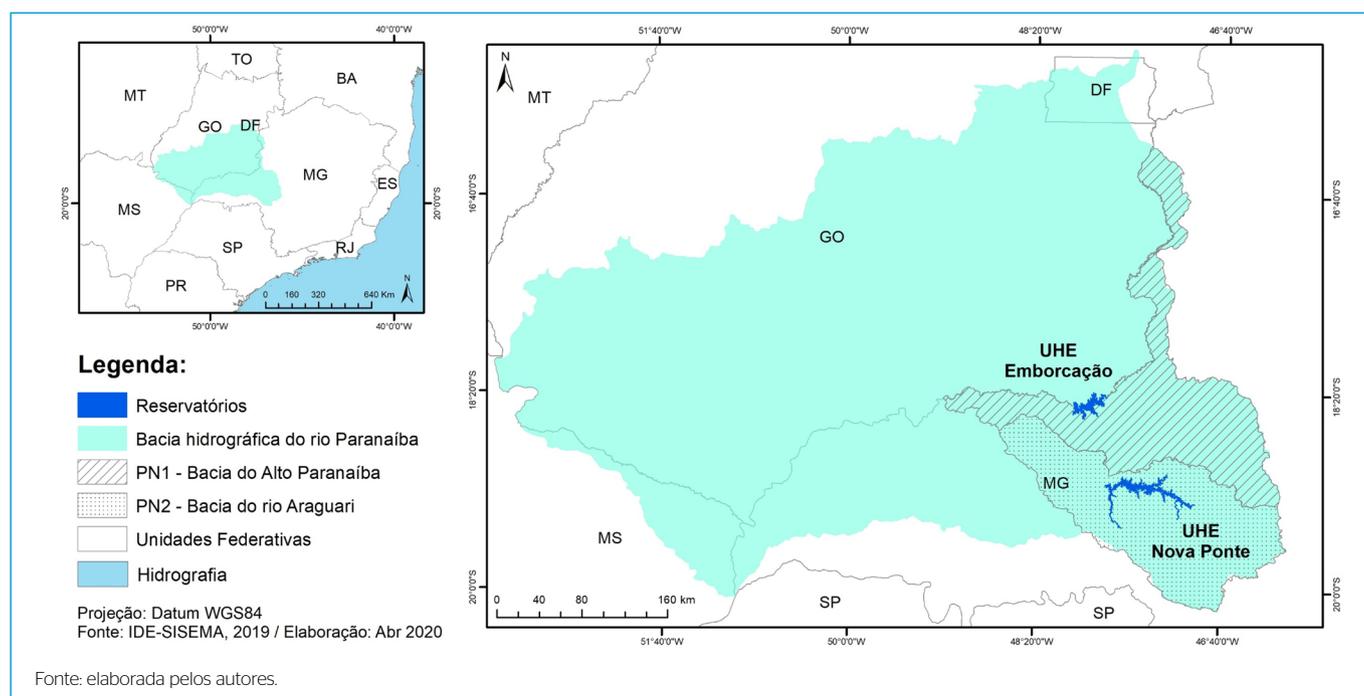
Destaca-se, ainda, que os reservatórios em análise são utilizados para diversos fins, como irrigação, dessedentação de animais, piscicultura e lazer, além da energia elétrica, de modo que estudos são necessários para a avaliação da qualidade de suas águas, identificando possíveis implicações nesses usos. Embora existam publicações (FLAUZINO, 2014; ASSUNÇÃO; VIANA; IBRAHIM, 2016; BARROSO; PINHEIRO; PEREIRA, 2018; VIANA, 2014), não se verificou uma análise integrada com base em técnicas estatísticas, índices de qualidade das águas e usos do solo, sendo fundamental a associação entre esses fatores, uma vez que permite a identificação de fontes de pressão antropogênica e condições naturais que podem influenciar na qualidade.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

Os reservatórios em estudo localizam-se em Minas Gerais e estão inseridos na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba (Figura 1). Cerca de 8,5 milhões de habitantes estão inseridos na região, ainda deficitária em termos de saneamento básico, considerando que grande parte dos efluentes é lançada sem tratamento nos afluentes do Rio Paranaíba. A bacia está inserida na região de ocorrência dos biomas cerrado e mata atlântica e encontra-se bastante descaracterizada em função das atividades antrópicas (CBH PARANAÍBA, 2019).

A UHE Emborcação, na divisa entre Minas Gerais e Goiás, localiza-se no Triângulo Mineiro e pertence à sub-bacia hidrográfica dos afluentes mineiros do Alto Paranaíba (circunscrição hidrográfica — CH — PN1). Possui cerca de 450 mil habitantes, residentes majoritariamente em área urbana. Entre os usos



**Figura 1** - Localização geográfica dos reservatórios das usinas hidrelétricas Emborcação e Nova Ponte.

múltiplos da água, estudos indicaram a predominância da dessedentação de animais e irrigação. Além disso, a pecuária e a agricultura ocupam aproximadamente 70% da área total da CH (ASSUNÇÃO; VIANA; IBRAHIM, 2016).

A UHE Nova Ponte pertence à sub-bacia do Rio Araguari (CH PN2), que apresenta a maior população urbanizada (94,9% de sua população) das três CH que compõem a bacia do Rio Paranaíba (VIANA, 2014). É também a região mais desenvolvida, destacando-se as atividades agropecuárias e industriais (BARROSO; PINHEIRO; PEREIRA, 2018). Pode-se dizer que o grau de antropização da PN2 é alto, com poucas áreas de vegetação nativa (cerrado) (VIANA, 2014).

## Banco de dados analisado

Dados secundários obtidos pelo monitoramento de qualidade da água realizado pela Cemig e disponibilizados por meio do Sistema de Informação de Qualidade da Água dos Reservatórios (Siságua) foram analisados neste estudo. As amostras das águas superficiais dos reservatórios e afluentes foram coletadas trimestralmente e analisadas de acordo com o *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA, 2012), conforme mencionado no *Manual de procedimentos de coleta e metodologias de análise de água* (CEMIG, 2009).

Para a UHE Emborcação, os dados analisados corresponderam ao período entre 2012 e 2019, contemplando nove estações de monitoramento (seis em ambiente lântico e três em ambiente lótico). Em relação à UHE Nova Ponte, foi considerado o período de 2016 a 2019, incluindo oito estações de monitoramento (cinco em condições lânticas e três em condições lóticas), como apresentado na Figura 2.

Os parâmetros de qualidade analisados nas UHE Emborcação e Nova Ponte estão apresentados no Quadro 1.

## Análise estatística

A análise de *cluster* (AC) foi aplicada aos bancos de dados com o objetivo de agrupar as estações de monitoramento em função da similaridade da qualidade de suas águas. Para isso, utilizou-se o método aglomerativo hierárquico pela técnica de agrupamento *ward*, considerando como medida de dissimilaridade

a distância euclidiana. A validação dos agrupamentos formados foi realizada por meio do cálculo do coeficiente de correlação cofenética. A posição da linha de corte usada como referência dos agrupamentos foi definida com base no número ideal de *clusters* (agrupamentos) a serem formados. Para tanto, foram aplicados três diferentes métodos (métodos *within sum of squares*, da silhueta e *gap statistic*).

O número ótimo de *clusters* foi determinado com base no valor de agrupamentos predominante, ou seja, indicado por dois ou mais métodos. Para identificar quais foram os parâmetros responsáveis por diferenciar significativamente as estações de monitoramento que ficaram em grupos distintos, empregou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis seguido do teste de comparações múltiplas de Dunn quando aplicável, ou seja, quando identificada diferença significativa no teste de Kruskal-Wallis ao nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%. Visando facilitar a visualização dos resultados, foram gerados gráficos *box-plots*. As análises estatísticas foram efetuadas na plataforma RStudio (versão 4.0.2).

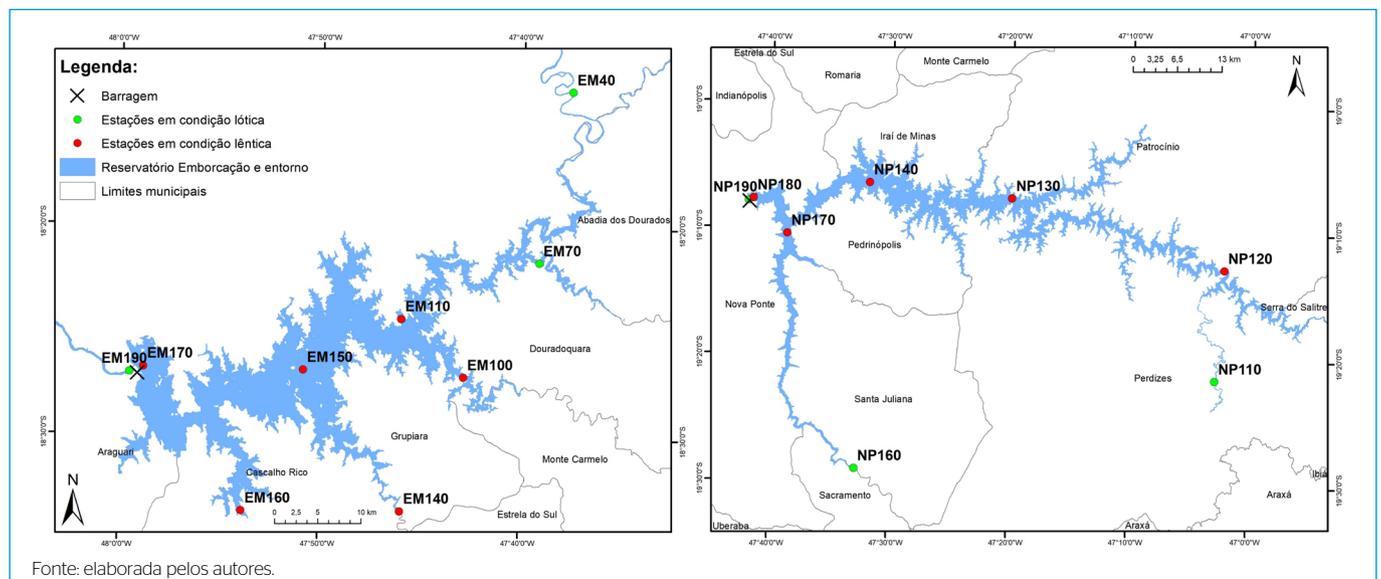
## Índices de conformidade ao enquadramento e de estado trófico

O índice de conformidade ao enquadramento (ICE) tem como objetivo avaliar a condição de um corpo hídrico, medindo o distanciamento entre a qualidade da água atual e a meta estabelecida pelo enquadramento (CCME, 2001). Sua metodologia não delibera um conjunto específico de parâmetros a ser utilizados no cálculo do índice, estabelecendo apenas a necessidade de um quantitativo entre oito e 20. Essa seleção depende da finalidade da análise e, principalmente, da disponibilidade de dados, sendo sua utilização vantajosa por causa da facilidade de aplicação e da flexibilização de parâmetros.

Para o cálculo do ICE, decidiu-se pela utilização dos parâmetros selecionados que possuem limite preconizado pela Diretriz Normativa Conjunta Copam/CERH-MG nº 1/08 (MINAS GERAIS, 2008), sendo eles apresentados no Quadro 1.

Assim, o cálculo do ICE foi feito com base em três fatores:

- F1: abrangência do impacto causado pela desconformidade;
- F2: frequência de ocorrência das desconformidades;



**Figura 2** - Localização geográfica das estações de monitoramento selecionadas nas usinas hidrelétricas Emborcação (nove estações) e Nova Ponte (oito estações) e seus respectivos tributários.

- F3: amplitude da desconformidade.

Tais fatores representam a desconformidade ao enquadramento, conforme metodologia da Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2001).

Os valores finais foram obtidos pela Equação 1 e compilados por ano e estação de monitoramento para cada reservatório.

$$ICE = 100 - ((\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2})/1,732) \quad (1)$$

Em seguida, os resultados do ICE foram classificados de acordo com as classes estipuladas pelo CCME (2001):

- excelente:  $ICE \geq 95$ ;
- bom:  $79 < ICE \leq 94$ ;
- aceitável:  $64 < ICE \leq 79$ ;
- ruim:  $44 < ICE \leq 64$ ;
- péssimo:  $ICE < 44$ .

O IET foi aplicado conforme a metodologia disponibilizada pelo Programa Águas de Minas do Igam, que para o cálculo utiliza valores de fósforo total e clorofila-*a*, por meio de equações distintas para ambientes lóticos e lênticos (IGAM, 2021). Os resultados obtidos foram, então, classificados segundo os estados de trofia: ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, superotrófico e hipereutrófico (LAMPARELLI, 2004; IGAM, 2021).

## Avaliação de uso e cobertura da terra

Essa análise foi realizada em três etapas:

- delimitação das áreas de influência (AI) referentes a cada estação de monitoramento;
- sobreposição desses dados (*shapefile*) sobre os mapas de uso e ocupação do solo extraídos da plataforma MapBiomias;
- determinação e contabilização das classes de uso e ocupação do solo para cada AI.

Essas etapas foram realizadas pelo *software* Q-Gis (versão 3.4.12) com auxílio do Excel e do RStudio (versão 4.0.2) na última etapa. A metodologia

**Quadro 1 -** Parâmetros de qualidade da água analisados para a UHE Emborcação e UHE Nova Ponte.

Parâmetro		Notação (unidade de medida)	Limites DN Copam/CERH-MG nº 1/08
UHE Emborcação (Total: 24 parâmetros e 4.990 observações)	UHE Nova Ponte (Total: 20 parâmetros e 1.885 observações)		
Alcalinidade total	-	Al <sub>c</sub> (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	NA
Cloreto total	-	Cl <sub>t</sub> (mg Cl/L)	250 mg/L
Clorofila- <i>a</i>	Clorofila- <i>a</i>	Cl- <i>a</i> (µg/L)	30 mg/L
Coliformes termotolerantes	Coliformes termotolerantes	Coli. Term. (NMP/100 mL)	1.000/100 mL
Condutividade elétrica	Condutividade elétrica	CE (µS/cm)	NA
Cor verdadeira	Cor verdadeira	Cor (mg Pt/L)	75 mg Pt/L
Demanda bioquímica de oxigênio	Demanda bioquímica de oxigênio	DBO (mg O <sub>2</sub> /L)	5 mg/L
Demanda química de oxigênio	Demanda química de oxigênio	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	NA
Ferro dissolvido	Ferro dissolvido	Fe <sub>d</sub> (mg Fe/L)	0,3 mg/L
Fósforo total	Fósforo total	P <sub>t</sub> (mg P/L)	0,03 mg/L (lêntico) 0,1 mg/L (lótico)
Manganês dissolvido	-	Mn <sub>d</sub> (mg Mn/L)	NA
Nitrato	Nitrato	N-NO <sub>3</sub> (mg N-NO <sub>3</sub> /L)	10 mg/L
Nitrogênio amoniacal	-	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	3,7 mg/L, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N para 7,5 < pH ≤ 8 1 mg/LN, para 8 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N para pH > 8,5
Nitrogênio total	Nitrogênio total	N <sub>t</sub> (mg N/L)	NA
Oxigênio dissolvido	Oxigênio dissolvido	OD (mg O <sub>2</sub> /L)	> 5 mg/L
Potencial hidrogeniônico	Potencial hidrogeniônico	pH	6 a 9
Potencial redox	Potencial redox	ORP (mV)	NA
Sólidos dissolvidos totais	Sólidos dissolvidos totais	SDT (mg SDT/L)	500 mg/L
Sólidos suspensão totais	Sólidos suspensão totais	SST (mg SST/L)	100 mg/L
Sólidos totais	Sólidos totais	ST (mg ST/L)	NA
Sulfato total	Sulfato total	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)	250 mg/L
Substâncias tensoativas	Substâncias tensoativas	MBAS (mg/L)	0,5 mg/L
Temperatura da água	Temperatura da água	T <sub>H2O</sub> (°C)	NA
Turbidez	Turbidez	Turb. (NTU)	100 UNT

UHE: usina hidrelétrica; NA: não se aplica, pois o parâmetro não possui limite estipulado na legislação.

Fonte: elaborado pelos autores.

abordada buscou associar essas AI às microbacias nas quais estão inseridas cada respectiva estação de monitoramento.

Inicialmente, os dados necessários foram levantados e coletados, por intermédio dos mapas do modelo digital de elevação (MDE), extraídos do *site* do Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil, por meio do projeto Topodata, de acordo com a área de estudo definida e da projeção dos pontos de monitoramento de cada UHE, obtidos com base nas respectivas coordenadas geográficas. No *software* Q-Gis, as imagens foram processadas pelo código *r.watershed*, responsável por gerar diversos dados hidrológicos, como bacias hidrográficas, microbacias e direção de fluxo.

Especificamente, a delimitação das AI deu-se com o auxílio das extensões Spatial Analyst Tools e Hydrology, por meio das seguintes etapas: preenchimento de depressões (*fill sinks*), direção do escoamento (*flow direction*), fluxo acumulado (*flow accumulation*), definição do fluxo (*stream definition*), segmentação do fluxo (*stream segmentation*) e delimitação da bacia (*r.watershed*), culminando nos mapas com a identificação das áreas de influência de cada estação de monitoramento (Anexos 1 e 2).

As informações de uso e cobertura da terra das CH foram obtidas por meio de *download* dos mapas da Coleção nº 5 do MapBiomias (2020). As AI das estações foram sobrepostas aos mapas anuais referentes à série histórica em estudo (2012 a 2019 para Emborcação e 2016 a 2019 para Nova Ponte). Em seguida, foi realizada a contabilização (em hectare) de cada classe de uso e cobertura da terra, descrevendo as configurações da paisagem para cada AI das estações de monitoramento analisadas, em cada ano, para as duas UHE em estudo. Os resultados foram apresentados em porcentagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Análise estatística

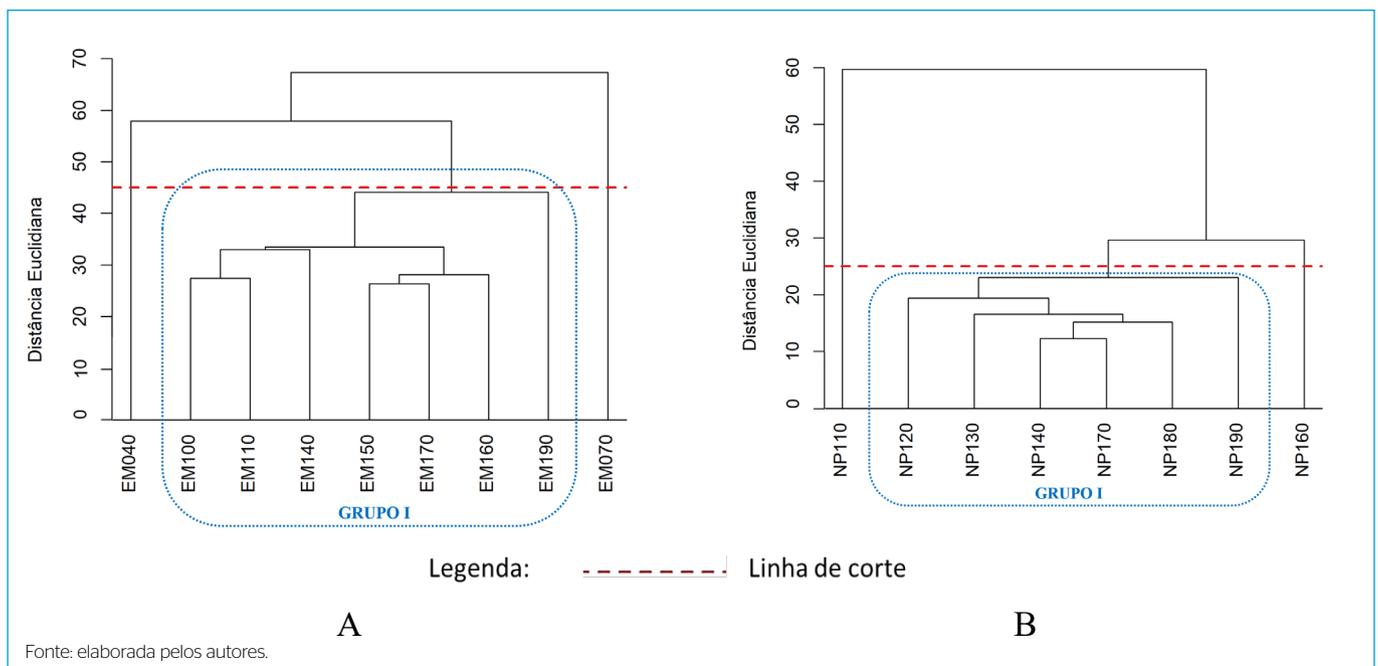
O cálculo do coeficiente de correlação cofenética resultou em valores iguais a 0,92 e 0,99 para as UHE Emborcação e Nova Ponte, respectivamente. Esse resultado

indica a adequabilidade do método empregado (*ward*), visto que valores acima de 0,7 representam agrupamentos formados com bom grau de ajuste e baixas distorções (OLIVEIRA, 2020). Por meio dos métodos de determinação do número ideal de agrupamentos formados, foi possível determinar o número ótimo de três *clusters* para cada um dos reservatórios (Figura 3).

Nota-se a formação de um grande grupo, o qual foi denominado Grupo I (G1), e duas estações isoladas para cada uma das UHE estudadas. O G1 da UHE Emborcação é constituído de sete estações de monitoramento, seis delas localizadas em ambiente lântico (EM100, EM110, EM140, EM150, EM160 e EM170) e uma em condição física lótica (EM190). Ressalta-se que a estação EM190 se localiza logo a jusante do barramento e do reservatório (Figura 2), podendo apresentar, portanto, características mais próximas aos ambientes lânticos. Apesar de inseridas em ambientes lóticos, as estações EM40 e EM70 não se agruparam, mantendo-se isoladas do G1. Uma possível justificativa para isso é o fato de que tais estações estão inseridas em tributários distintos e que, portanto, tendem a apresentar características diferentes entre si.

O G1 da UHE Nova Ponte é composto de seis estações de monitoramento, cinco delas inseridas em ambientes lânticos (NP120, NP130, NP140, NP170 e NP180) e uma em condição física lótica (NP190). Semelhantemente ao verificado para a UHE Emborcação, a NP190 encontra-se localizada próximo ao barramento e a jusante dele (Figura 2). Além disso, as estações que permaneceram isoladas do G1 (NP110 e NP160) também estão inseridas em ambientes lóticos e em tributários distintos. Dessa forma, percebe-se que todas as estações inseridas em ambientes lânticos se agruparam, permanecendo isoladas da maioria das estações localizadas em ambientes lóticos, com exceção da estação a jusante do barramento (no caso dos dois reservatórios). Esse mesmo comportamento foi observado em outros estudos que também abordaram reservatórios hidrelétricos localizados em Minas Gerais (CHRISTOFARO *et al.*, 2017; OLIVEIRA, 2020).

Em ambas as áreas de estudo o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis apontou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre o grupo formado na AC e as



**Figura 3** - Dendrogramas da análise de agrupamento gerados pelo método *ward* com base nos dados de monitoramento das usinas hidrelétricas (A) Emborcação e (B) Nova Ponte.

estações isoladas. Essa diferença deu-se para os dados de 12 dos 24 parâmetros analisados na UHE Emborcação, sendo eles: alcalinidade total, condutividade elétrica, coliformes termotolerantes, ferro dissolvido, manganês dissolvido, nitrogênio total, fósforo total, série de sólidos (sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos totais), temperatura da água e turbidez. No caso da UHE Nova Ponte, o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis apontou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre o G1 e as estações isoladas para 14 dos 20 parâmetros analisados, sendo eles: condutividade, coliformes termotolerantes, cor verdadeira, ferro dissolvido, nitrato, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, fósforo total, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos totais, sulfato, temperatura e turbidez.

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados os *box-plots* de cada parâmetro que apresentou diferença estatística significativa, conforme resultado do teste de Kruskal-Wallis, de Emborcação e Nova Ponte, respectivamente, bem como os resultados do teste de comparações múltiplas (indica entre quais grupos essas diferenças ocorreram). De modo geral, os resultados da UHE Emborcação revelaram que os parâmetros coliformes termotolerantes, ferro dissolvido e turbidez apresentaram comportamentos similares, visto que seus teores foram significativamente maiores nas estações EM40 e EM70 (em ambiente lótico), se comparados aos de G1.

Isso sugere melhor qualidade da água nas estações localizadas no interior do reservatório em relação aos seus tributários (Figura 4). Esse resultado está de acordo com aqueles obtidos por Oliveira (2020), que estudou a qualidade das águas do reservatório da UHE Irapé e seus tributários (Minas Gerais, Brasil), e Xin et al. (2015), que compararam a qualidade da água do reservatório Danjiangkou (China) com os rios que o abastecem.

Os valores de alcalinidade total, condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais e sólidos totais, por outro lado, diferenciaram-se significativamente entre o G1 e as duas estações isoladas da UHE Emborcação, apresentando os maiores teores na EM70 e menores na EM40 (ambas em condições lóticicas). Ressalta-se que foram identificados maiores percentuais de pastagem no entorno da EM70, enquanto a EM40 possui mais áreas de vegetação natural e culturas. Além disso, destaca-se também que a estação EM70, localizada no braço do Rio Dourados, está mais próxima da área urbana. Assim, os teores mais elevados observados também podem ser indicativos de influências antropogênicas. Em relação ao manganês dissolvido, a estação EM40 apresentou concentrações significativamente maiores que a estação EM70 e o G1.

Embora as medianas dos valores de temperatura se apresentem próximas umas das outras, o parâmetro foi significativamente menor na estação EM40. O nitrogênio total diferenciou-se apenas entre a estação EM70 e o G1, sendo significativamente maior na estação isolada. Por fim, o sólido suspenso total na EM70 também se apresentou significativamente maior que a EM40, bem como o G1 (Figura 4).

Salienta-se que, apesar das diferenças apontadas pelo teste para esses parâmetros, em geral, condições do curso d'água foram mantidas de acordo com os padrões preconizados pela Diretriz Normativa Conjunta Copam/CERH nº 1/2008 para a classe 2 de enquadramento dos corpos d'água, em todas as estações de monitoramento avaliadas.

Na avaliação da UHE Nova Ponte, foram observados maiores valores nas estações isoladas (NP110 e NP160), em relação aos parâmetros coliformes termotolerantes, cor, ferro dissolvido, fósforo total, sólidos suspensos totais, sólidos totais e turbidez.

No que se refere à temperatura, porém, observou-se que o referido parâmetro foi significativamente maior no G1, se comparado às estações isoladas. A estação NP160 apresentou teores de oxigênio dissolvido significativamente maiores que a estação NP110 e o G1. Todavia, a estação NP110, localizada no Rio Capivara e próxima à área urbana do município de Perdizes, destacou-se nos valores significativamente elevados para: condutividade, nitrogênio total, nitrato, sólidos dissolvidos totais e sulfato (Figura 5).

Os menores teores observados em grande parte dos parâmetros de qualidade das águas no G1 das duas UHE em estudo, em relação às estações isoladas, podem estar associados ao aumento do volume de água, oriundo da própria formação do reservatório, que leva à maior capacidade de diluição dos poluentes, do que aqueles observados em corpos d'água com condições lóticicas (LI et al., 2019). Entretanto, como foi analisada somente a qualidade das águas superficiais, os resultados também podem estar ligados à diminuição da velocidade do fluxo de água, que ocasiona a sedimentação de metais, nutrientes e demais partículas, fenômeno de comum ocorrência nos ambientes lenticos, conforme sugerido em outros estudos (CHRISTOFARO et al., 2017; LI et al., 2019; OLIVEIRA, 2020).

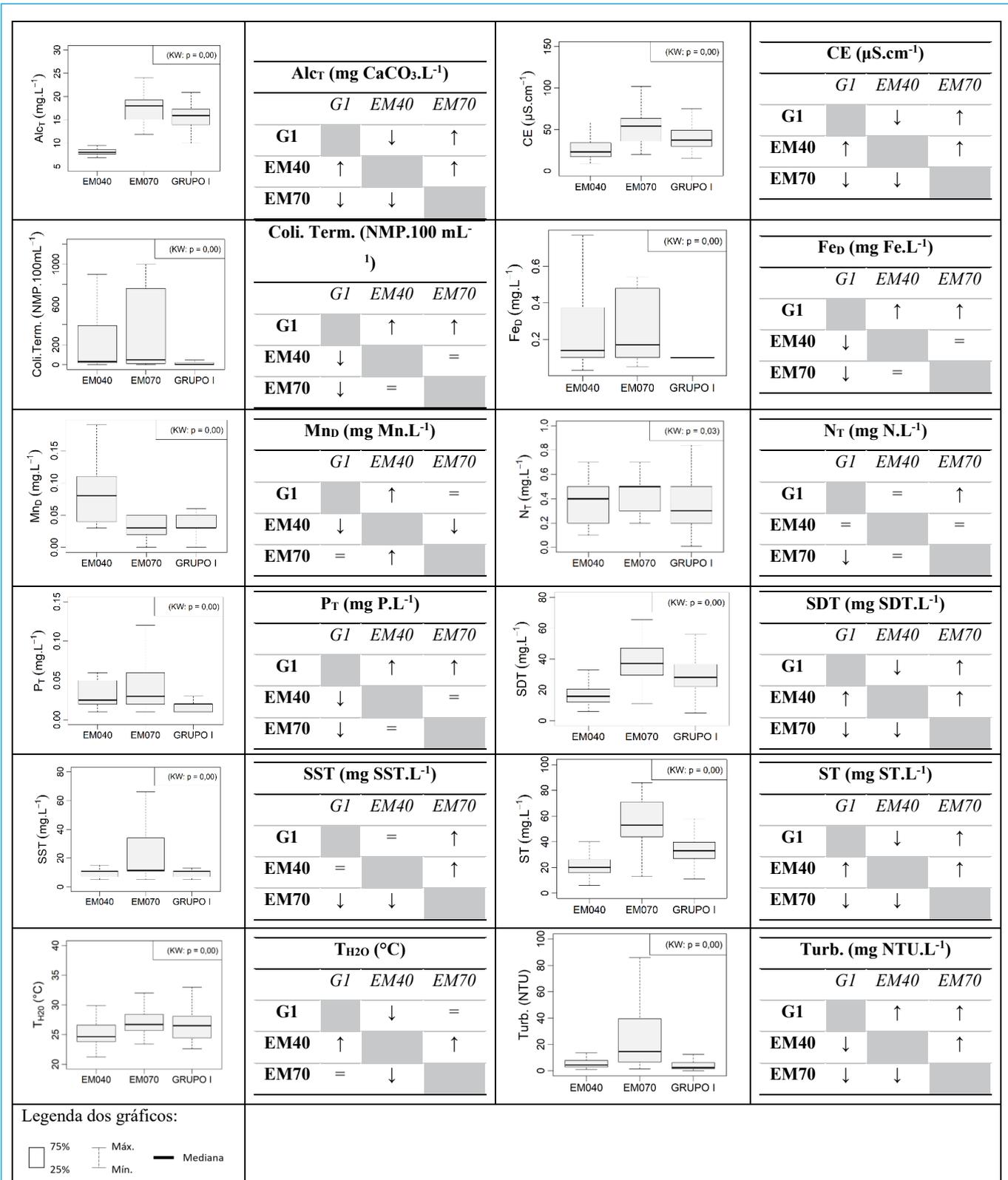
### Índices de conformidade ao enquadramento e de estado trófico

Os resultados do ICE obtidos por estação ao longo das séries históricas estão apresentados na Figura 6. Notou-se que 80,6% dos resultados da UHE Emborcação foram classificados como excelentes ( $ICE > 95$ ), sendo 61,1% iguais a 100. Comportamento próximo foi observado para Nova Ponte, com 68,8% dos ICE classificados como excelentes e 43,8% iguais a 100. Não foram verificados resultados na faixa do péssimo ( $ICE < 44$ ), e somente dois foram classificados como ruins ( $44 < ICE \leq 64$ ) para Emborcação (Figura 6).

Os parâmetros que mais violaram os limites legais, ou seja, aqueles que mais influenciaram nos valores dos piores índices, foram coliformes termotolerantes, ferro dissolvido, fósforo total, oxigênio dissolvido e pH. Em geral, as estações inseridas no interior dos reservatórios apresentaram melhores índices, possivelmente em função das características desses ambientes, em que a sedimentação e a pouca ou nenhuma movimentação das águas são favorecidas (Figura 6), corroborando os resultados obtidos nas análises estatísticas.

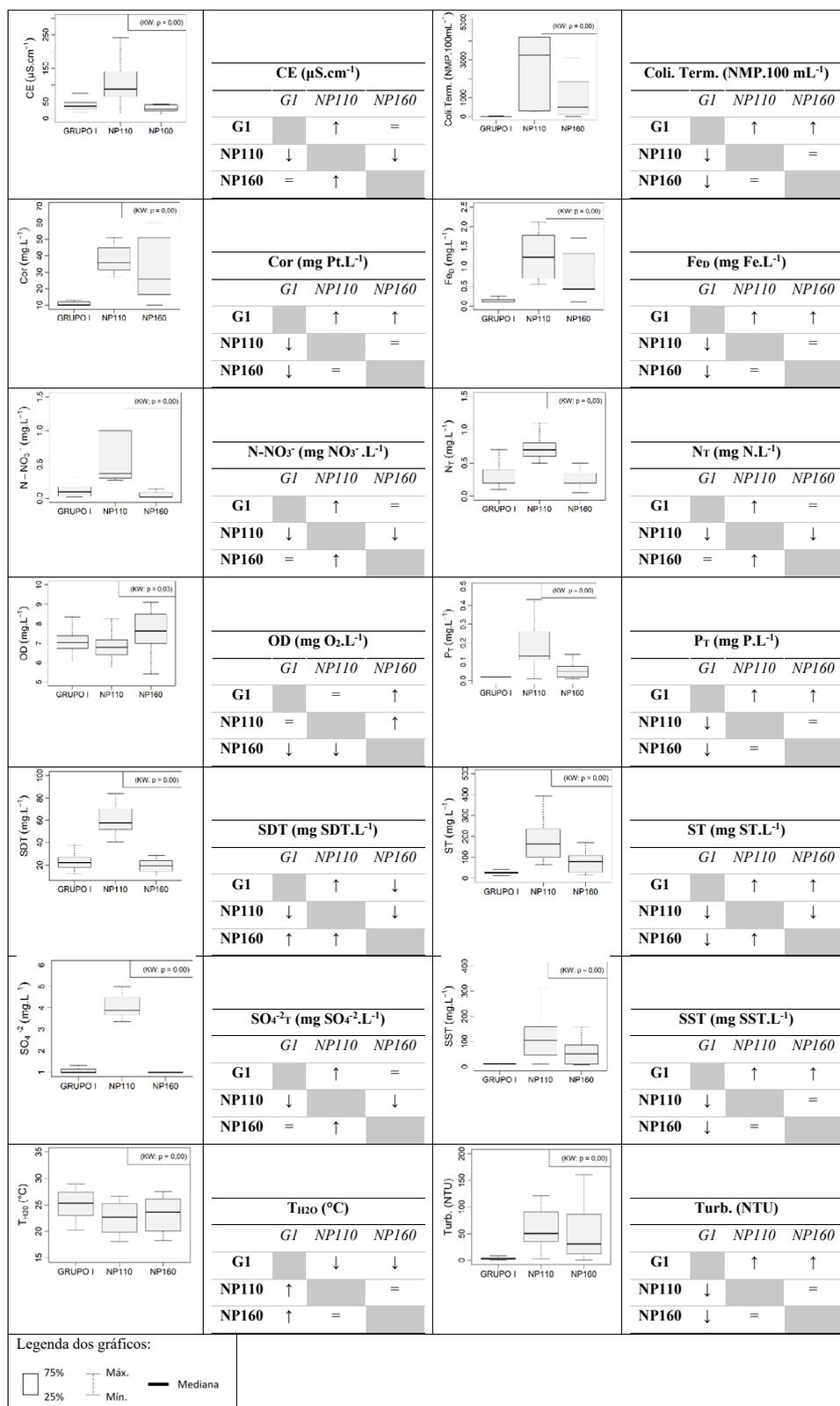
Por outro lado, destacam-se dois eventos de ICE ruins obtidos em 2013 e 2014 na UHE Emborcação que podem estar relacionados com o período de escassez hídrica. De acordo com o Sistema de Acompanhamento de Reservatórios da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), os anos referidos corresponderam a períodos em que os volumes úteis do reservatório estiveram em torno de 30 (janeiro de 2013) e 15% (novembro de 2014) de sua capacidade total (ANA, 2021). Esse resultado reforça a necessidade de uma efetiva conservação dos cursos d'água, bem como a importância da manutenção das florestas e nascentes, e de iniciativas para a conservação dos recursos hídricos e para a redução das taxas de impermeabilização do solo.

A distribuição dos valores calculados de IET ao longo das séries históricas para as UHE em estudo está apresentada graficamente na Figura 7. Percebe-se um potencial mediano de desenvolvimento de processo de eutrofização na maior parte das estações de monitoramento, classificação mesotrófico ( $52 < IET \leq 59$ ), faixa em que se encontraram 77 e 82% dos dados obtidos para as UHE Emborcação e Nova Ponte (Figura 7), respectivamente. Isso corresponde a corpos d'água com produtividade primária intermediária, com possíveis



= Agrupamento em itálico (acima) não se difere significativamente do grupo em negrito (à esquerda); ↑: agrupamento em itálico (acima) é significativamente maior que o grupo em negrito (à esquerda); ↓: agrupamento em itálico (acima) é significativamente menor que o grupo em negrito (à esquerda); Al<sub>T</sub>: alcalinidade total; CE: condutividade elétrica; Coli. Term.: coliformes termotolerantes; Fe<sub>D</sub>: ferro dissolvido; Mn<sub>D</sub>: manganês dissolvido; N<sub>T</sub>: nitrogênio total; P<sub>T</sub>: fósforo total; SDT: sólidos dissolvidos totais; SST: sólidos suspensão totais; ST: sólidos totais; T<sub>H2O</sub>: temperatura da água; Turb.: turbidez.  
 Fonte: elaborada pelos autores.

**Figura 4 -** Box-plots e resultados dos testes de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas (teste de DUNN) (p < 0,05), considerando os agrupamentos formados pela análise de cluster para a usina hidrelétrica Emborcação.



=: Agrupamento em itálico (acima) não se difere significativamente do grupo em negrito (à esquerda); ↑: agrupamento em itálico (acima) é significativamente maior que o grupo em negrito (à esquerda); ↓: agrupamento em itálico (acima) é significativamente menor que o grupo em negrito (à esquerda); CE: condutividade elétrica; Coli. Term.: coliformes termotolerantes; Fe<sub>d</sub>: ferro dissolvido; N-NO<sub>3</sub>: nitrato; N<sub>T</sub>: nitrogênio total; OD: oxigênio dissolvido; P<sub>T</sub>: fósforo total; SDT: sólidos dissolvidos totais; ST: sólidos totais; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: sulfato total; SST: sólidos suspensão totais; T<sub>H<sub>2</sub>O</sub>: temperatura da água; Turb.: turbidez.  
 Fonte: elaborada pelos autores.

**Figura 5** – Box-plots e resultados dos testes de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas (teste de Dunn) (p < 0,05), considerando os agrupamentos formados pela análise de cluster para a usina hidrelétrica Nova Ponte.

implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos (IGAM, 2021).

Observou-se ainda que seis das nove estações de monitoramento da UHE Emborcação obtiveram resultados classificados como eutróficos ( $59 < IET \leq 63$ ), e as estações EM140, localizada em um tributário a montante do reservatório, e EM150, na porção central, apresentaram valores que atingiram a classificação supereutrófico ( $63 < IET \leq 67$ ), indicando baixa transparência e corpos d'água afetados por atividades antrópicas, nos quais podem ocorrer episódios de floração de algas e interferências nos seus múltiplos usos (IGAM, 2021). O maior IET observado para o período na UHE Emborcação ( $IET = 66,7$ ; supereutrófico) foi verificado na estação EM140 (ambiente lótico) e correspondeu a uma campanha realizada em novembro de 2014, o que corrobora a relação entre a obtenção dos piores índices e a escassez hídrica do período.

Também se notou que três estações de monitoramento da UHE Nova Ponte (NP110 e NP160, em condições lóticis; e NP120, em ambiente lêntico) apresentaram valores de IET eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico, especificamente para a estação NP110. Ao analisar conjuntamente as duas UHE em estudo, constatou-se que os valores de índices obtidos para Nova Ponte foram, no geral, superiores àqueles observados para Emborcação. Esse resultado pode estar associado ao fato de a sub-bacia do Rio Araguari, na qual a UHE Nova Ponte está inserida, apresentar a maior população urbanizada (94,9% de sua população total) das três CH que compõem a bacia do Rio Paranaíba (VIANA, 2014). Além disso, como esperado, as maiores variações para o IET, bem como os maiores valores, foram verificadas nas estações de monitoramento que mais violaram fósforo total, a exemplo das estações EM140 e NP110 (condições lóticis), em que o parâmetro se apresentou em teores mais elevados.

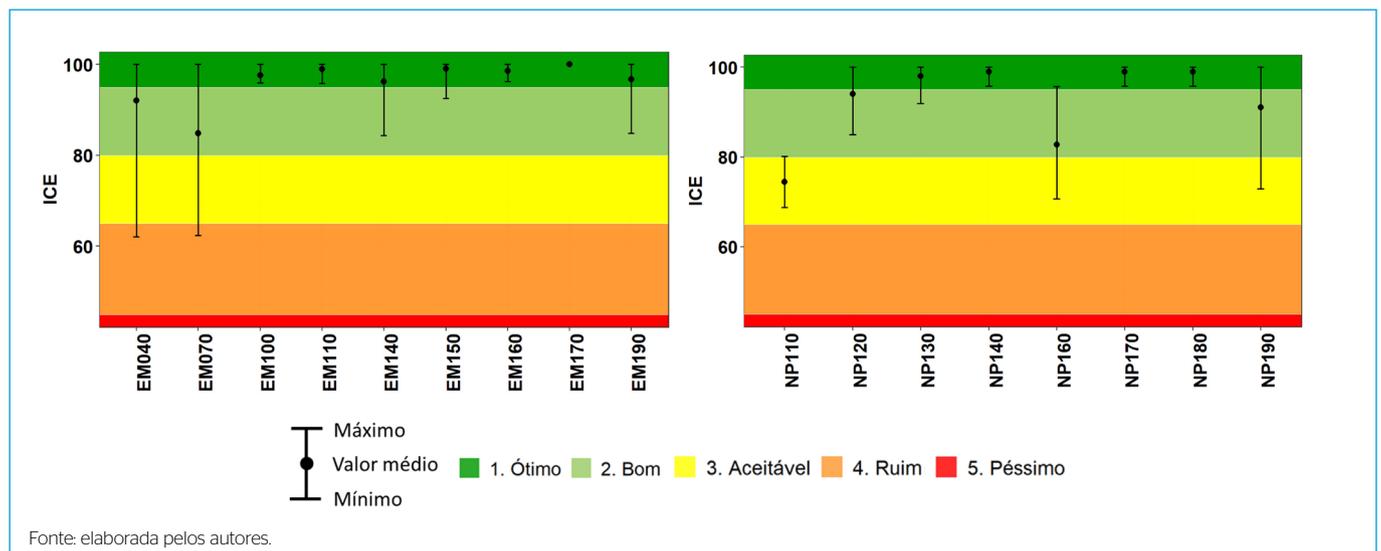


Figura 6 - Índice de conformidade ao enquadramento, por estação e nas séries históricas completas, aplicado aos bancos de dados de monitoramento das usinas hidrelétricas (A) Emborcação e (B) Nova Ponte.

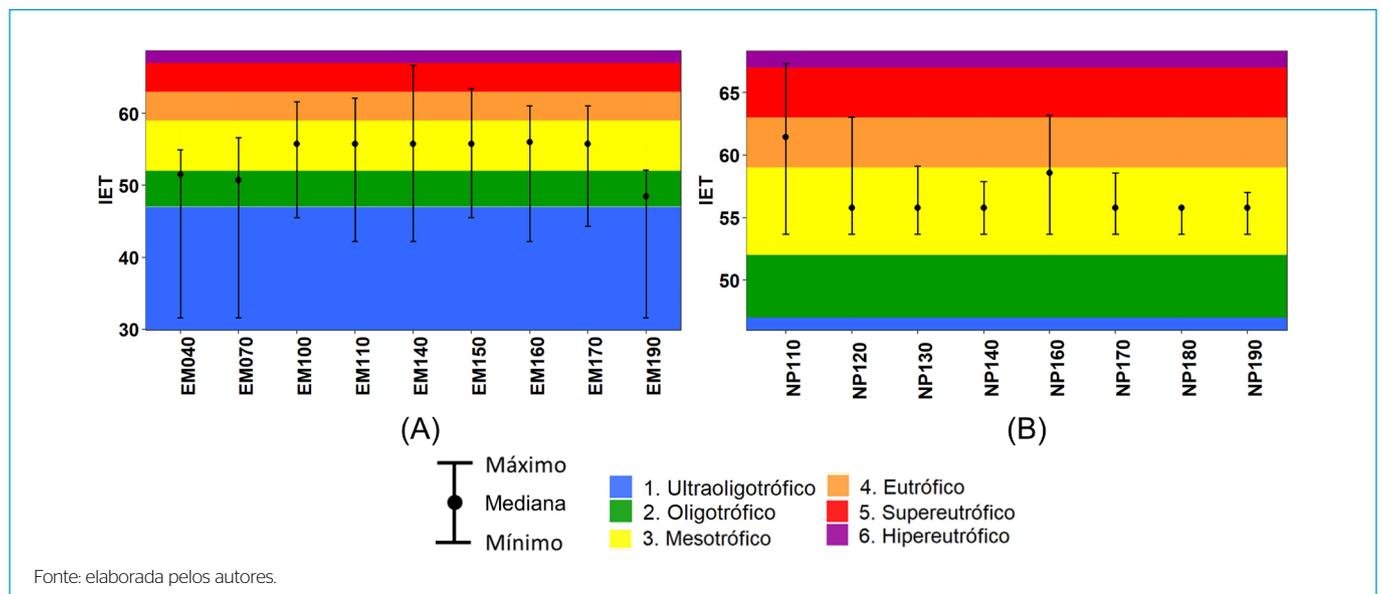


Figura 7 - Índice de estado trófico, por estação e nas séries históricas completas, aplicado aos bancos de dados de monitoramento das UHE (A) Emborcação e (B) Nova Ponte.

## Avaliação de uso e cobertura da terra

Foram identificadas 11 classes de uso e cobertura da terra nas CH PN1 e PN2, por meio dos mapas extraídos da plataforma MapBiomias, com nomenclaturas adaptadas. Após a contabilização da área ocupada por essas classes, elas foram convertidas em percentual de ocupação, para cada ano da série histórica e para cada área de influência das estações de monitoramento das UHE Emborcação e Nova Ponte. Como a variação entre os anos foi pequena, em todas as estações e classes, apenas os percentuais dos anos inicial e final serão apresentados, bem como a respectiva média do período (Tabelas 1 e 2).

Verificou-se certa diversificação no uso e cobertura da terra das AI das estações de monitoramento, contendo classes como vegetação natural, agropecuária, infraestrutura urbana e mineração, entretanto o uso do solo demonstrou predomínio de áreas de pastagem e produção agrícola (classe agropecuária), com elevação entre os anos, seguido de área de vegetação natural, com redução entre os anos, em todas as AI das estações de monitoramento das UHE Emborcação e Nova Ponte.

Desse modo, é possível inferir que as causas de deterioração da qualidade das águas das regiões estudadas estão relacionadas, em grande parte, às atividades agropecuárias desenvolvidas, bem como à supressão da vegetação natural ao longo dos anos, sobretudo na PN1, onde estão inseridos o reservatório e os tributários da UHE Emborcação. Tal condição reflete no aumento das concentrações de nutrientes, sobretudo fósforo total, e, por conseguinte, nas condições de trofia e nos resultados dos índices apresentados anteriormente.

Os percentuais referentes à classe agropecuária variaram entre 66 e 78,9% para a UHE Emborcação e 70,8 e 79,4% para Nova Ponte. A predominância da agropecuária no entorno da UHE Emborcação pode ser justificada visto que, com exceção de Araguari e Monte Carmelo, os demais municípios inseridos na PN1 são de pequeno porte, com população próxima a cinco mil habitantes e economia baseada de maneira especial em atividades agropecuárias, incluindo de subsistência (FERREIRA JUNIOR, 2005).

Em geral, os usos do solo associados à agropecuária possuem alta influência na qualidade dos cursos d'água locais, uma vez que acarretam aumento da susceptibilidade erosiva, aumento da lixiviação de nutrientes associado às

**Tabela 1** – Percentual das classes de uso e cobertura da terra, para os anos inicial (2012) e final (2019), identificadas em cada área de influência das estações de monitoramento da usina hidrelétrica Emborcação.

Estação	Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Mineração	Outra área não vegetada	Corpos d'água
EM40	2012	20,63	2,78	74	0,08	0,01	0,14	1,97
	2019	19,26	1,98	75,67	0,11	0,04	0,23	2,33
	Média	19,91	2,88	73,98	0,11	0,02	0,27	2,45
EM70	2012	32,07	0,83	66,4	0,12	0	0,07	0,5
	2019	26,53	0,94	71,94	0,18	0	0,13	0,28
	Média	31,26	0,88	67,32	0,15	0	0,09	0,30
EM100	2012	24,01	0,94	72,73	0,77	0	0,11	1,45
	2019	18,68	1,15	78,2	0,97	0	0,2	0,8
	Média	23,84	1,07	73,16	0,88	0	0,21	0,85
EM110	2012	23,29	1,67	73,26	0,26	0,01	0,11	1,21
	2019	20,73	1,37	75,87	0,34	0,03	0,17	1,31
	Média	22,68	1,77	73,51	0,31	0,01	0,18	1,36
EM140	2012	18,47	7,39	73,17	0,18	0,09	0,09	0,61
	2019	13,6	7,23	78,46	0,23	0	0,21	0,26
	Média	18,27	7,43	73,56	0,20	0,05	0,13	0,31
EM150	2012	23,26	1,67	73,18	0,26	0,01	0,11	1,33
	2019	20,7	1,36	75,8	0,34	0,03	0,17	1,41
	Média	22,65	1,76	73,44	0,31	0,01	0,18	1,46
EM160	2012	22,56	0,36	72,59	0,08	0	0,16	4,25
	2019	17,33	0,64	78,87	0,22	0	0,2	2,74
	Média	21,53	0,55	74,63	0,18	0	0,27	2,85
EM170	2012	22,99	1,89	72,94	0,25	0,01	0,11	1,63
	2019	20,3	1,59	75,8	0,33	0,02	0,18	1,6
	Média	22,39	1,98	73,28	0,30	0,01	0,20	1,66
EM190	2012	22,99	1,89	72,94	0,25	0,01	0,11	1,63
	2019	20,3	1,59	75,8	0,33	0,02	0,18	1,6
	Média	22,39	1,98	73,28	0,30	0,01	0,20	1,66

Fonte: elaborada pelos autores.

áreas de adubação e carreamento de matéria orgânica proveniente da pecuária (MENEZES *et al.*, 2014). Fernandes *et al.* (2011) afirmam que a agropecuária pode ser considerada como a classe de maior potencial de erosão e, conseqüentemente, responsável pelo aumento da turbidez e dos sólidos totais em ambientes lânticos e lóticos.

Também se observou que as áreas de vegetação natural se reduziram ao longo dos anos em todas as AI para as duas UHE em estudo, sobretudo com relação às estações de monitoramento EM70, EM100 e EM160 para Emborcação. Esse comportamento foi da mesma forma percebido em outras sub-bacias de Minas Gerais, em que regiões de vegetação natural são constantemente removidas e substituídas por sistemas antrópicos, como áreas urbanas e de atividades agropecuárias (MENEZES *et al.*, 2014; SANTOS; FERREIRA, 2014). Outros autores demonstraram que as áreas ocupadas por vegetação normalmente favoreceram a melhoria de alguns parâmetros de qualidade de água, uma vez que proporcionam a retenção de sedimentos e nutrientes, assim como de alguns metais, evitando impactos como a eutrofização e o assoreamento do curso d'água (FERNANDES *et al.*, 2011).

Outro fator que pode ter sido determinante na alteração de alguns parâmetros físico-químicos, como fósforo total, ferro dissolvido e manganês dissolvido, por exemplo, corresponde ao carreamento de materiais advindo da ocorrência

das chuvas. Ademais, apesar da predominância da classe agropecuária em todas as estações, a distinção entre os ambientes lânticos e lóticos implica diferentes qualidades da água nos agrupamentos formados, além da interferência de eventuais poluições difusas, conforme mencionado por Prado e Novo (2007).

## CONCLUSÕES

Em ambas as áreas de estudo, as estações de monitoramento localizadas em ambiente lântico ficaram agrupadas em um único *cluster*, demonstrando a influência da presença de reservatórios na qualidade da água dos corpos hídricos. Ademais, as estações de monitoramento localizadas logo a jusante do barramento e, portanto, inseridas em ambientes lóticos também se agruparam no *cluster* caracterizado predominantemente pelos ambientes lânticos. O resultado sugere que, além do tipo de ambiente, a proximidade com o reservatório também foi responsável pela mudança da qualidade da água. No geral, os testes de Kruskal-Wallis e de comparações múltiplas indicaram melhor qualidade da água nas estações localizadas nos reservatórios para parte dos parâmetros analisados. Esse resultado pode estar associado ao processo de sedimentação dos poluentes por causa da menor velocidade de escoamento da água e da estratificação vertical, ambas comuns a esse tipo de ambiente.

**Tabela 2** - Percentual das classes de uso e cobertura da terra, para os anos inicial (2016) e final (2019), identificadas em cada área de influência das estações de monitoramento da usina hidrelétrica Nova Ponte.

Estação	Ano	Vegetação natural	Reflorestamento	Agropecuária	Infraestrutura urbana	Mineração	Outra área não vegetada	Corpos d'água
NP110	2016	24,49	0,75	71,92	1,66	0,78	0,2	0,19
	2019	23,43	0,78	72,91	1,78	0,71	0,2	0,19
	Média	23,91	0,77	72,47	1,69	0,76	0,22	0,19
NP120	2016	26,2	1,16	71,6	0,41	0,14	0,08	0,26
	2019	24,81	1,21	72,88	0,43	0,13	0,11	0,28
	Média	25,63	1,19	72,13	0,42	0,14	0,10	0,26
NP130	2016	26,16	1,07	71,04	0,33	0,11	0,18	0,99
	2019	24,86	1,12	72,32	0,35	0,1	0,14	1
	Média	25,64	1,10	71,57	0,34	0,11	0,18	0,97
NP140	2016	25,63	1,01	70,76	0,45	0,1	0,22	1,69
	2019	24,28	1,06	72,12	0,48	0,09	0,16	1,68
	Média	25,08	1,04	71,35	0,46	0,10	0,21	1,65
NP160	2016	20,37	2,61	75,82	0,06	0,34	0,16	0,18
	2019	19,72	2,37	76,69	0,06	0,34	0,17	0,19
	Média	20,03	2,51	77,07	0,06	0,35	0,18	0,19
NP170	2016	18,82	2,47	76,64	0,13	0,26	0,15	0,79
	2019	18,14	2,29	77,32	0,14	0,26	0,16	0,82
	Média	18,47	2,40	76,99	0,13	0,26	0,17	0,80
NP180	2016	23,48	1,46	72,54	0,36	0,15	0,2	1,63
	2019	22,35	1,43	73,71	0,38	0,14	0,16	1,63
	Média	22,99	1,45	73,06	0,37	0,15	0,20	1,60
NP190	2016	23,48	1,46	72,54	0,36	0,15	0,2	1,63
	2019	22,35	1,43	73,71	0,38	0,14	0,16	1,63
	Média	22,99	1,45	73,06	0,37	0,15	0,20	1,60

Fonte: elaborada pelos autores.

A aplicação do ICE resultou, no geral, em índices qualificados como bons e excelentes, indicando adequação da qualidade das águas em relação aos usos propostos para a classe 2 de enquadramento, principalmente no interior dos reservatórios, corroborando os resultados obtidos nas análises estatísticas. Entretanto, mais do que verificar a conformidade dos resultados no que se refere aos limites legais estabelecidos, é imprescindível analisar os impactos efetivamente causados pelas alterações dos parâmetros de qualidade das águas, sobretudo para a comunidade aquática, ainda que os padrões não tenham sido violados.

Os resultados de IET indicaram, na maior parte dos dados obtidos para as UHE Emborcação e Nova Ponte (77 e 82%, respectivamente), presença de produtividade primária intermediária, mas em níveis aceitáveis. Observou-se ainda que as maiores variações e os índices mais elevados foram verificados nas estações de monitoramento que mais violaram o fósforo total. De modo geral,

percebe-se que as causas de deterioração da água podem estar relacionadas às atividades agrícolas e pecuárias nas CH PN1 e PN2 e à supressão da vegetação nativa ao longo dos anos, sobretudo na PN1, onde estão inseridos os reservatórios e tributários da UHE Emborcação.

## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

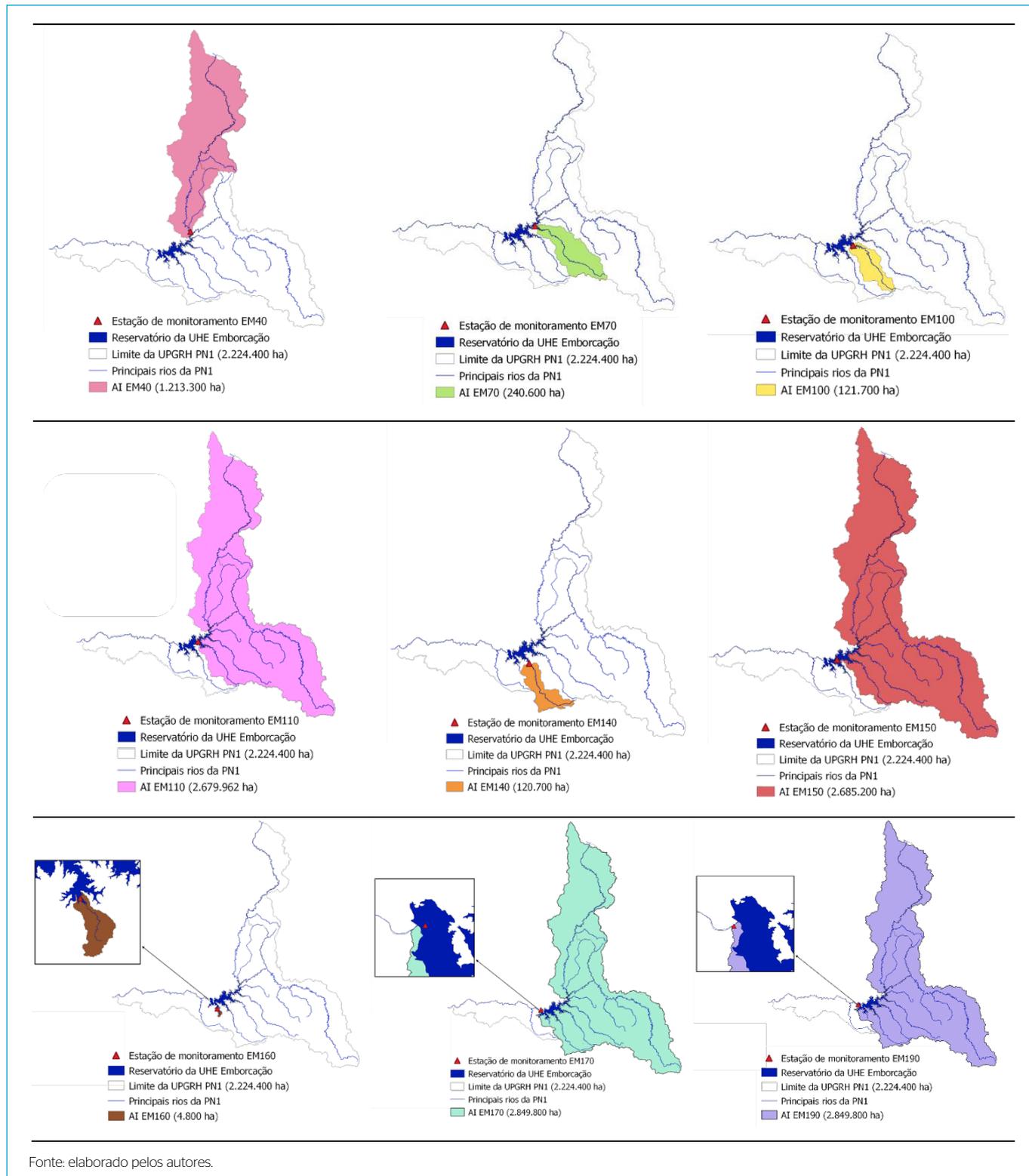
Costa, P.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Metodologia, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição. Barroso, G.R.: Análise Formal, Escrita – Revisão e Edição, Validação. Oliveira, K.L.: Análise Formal, Escrita – Revisão e Edição, Validação. Starling, M.C.V.M.: Supervisão, Escrita – Revisão e Edição, Validação. Oliveira, S.C.: Supervisão, Metodologia, Escrita – Revisão e Edição, Administração do Projeto.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). SAR – Sistema de Acompanhamento de Reservatórios. Dados de operação dos reservatórios do Sistema Interligado Nacional. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/sarO/MedicaoSin>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Portal eletrônico. Consulta ao cadastro de empreendimentos da Aneel com os respectivos CEG (Código Único de Empreendimentos de Geração). ANEEL, 2021. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/scg/Consulta\\_Empreendimento.asp](http://www2.aneel.gov.br/scg/Consulta_Empreendimento.asp). Acesso em: 2 jul. 2021.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22. ed. Washington D.C.: APHA, 2012.
- ASSUNÇÃO, M.; VIANA, D.; IBRAHIM, E. Análise da qualidade da água no período de 2012 a 2015 do reservatório da UHE Emborcação, MG. *E-Scientia*, v. 9, n. 1, p. 113, 2016.
- BARROSO, G.; PINHEIRO, W.; PEREIRA, A. Avaliação da qualidade da água do reservatório da usina hidrelétrica de Nova Ponte (MG) e sua relação com o volume de água do reservatório. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 12, n. 2, p. 91-109, 2018.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2029*. Brasília: MME/EPE, 2020. 393 p.
- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT (CCME). *Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans (PCDD/Fs)*. Ottawa: CCME, 2001.
- CBH PARANAÍBA. *Portal eletrônico do Comitê da bacia hidrográfica do rio Paranaíba*. A bacia. CBH Paranaíba, 2019. Disponível em: <https://cbhparanaiba.org.br/a-bacia/caracteristicas>. Acesso em: 22 jun. 2021.
- CHEN, D.; ELHADJ, A.; XU, H.; XU, X.; QIAO, Z. A study on the relationship between land use change and water quality of the Mitidja watershed in Algeria based on GIS and RS. *Sustainability*, v. 12, n. 9, p. 3510, 2020a. <https://doi.org/10.3390/su12093510>
- CHEN, D.; LIU, H.; CAI, E.; WU, H. Study on how to improve surface water quality monitoring. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, p. 780, 2020b.
- CHRISTOFARO, C.; LEÃO, M.M.D.; OLIVEIRA, S.C.; VIANA, D.T.; AMORIM, C.C.; CARVALHO, M.D. Spatio-temporal variations of water quality in Nova Ponte Reservoir, Araguari River Basin, Brazil. *Water Science & Technology: Water Supply*, v. 17, n. 6, p. 1507-1514, 2017. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.055>
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). *Manual de procedimentos de coleta e metodologias de análise de água: SISÁGUA*. Belo Horizonte: Cemig, 2009. 77 p.
- DODDS, W.K.; WHILES, M.R. Lakes and reservoirs: physiography. In: DODDS, W.K. (org.). *Freshwater ecology*. Massachusetts: Academic Press, 2020. p. 155-187.
- FERNANDES, M.M.; CEDDIA, M.B.; RAMOS, G.M.; GASPAR, A.; MOURA, M.R. Influência do uso do solo na qualidade de água da microbacia Glória, Macaé – RJ. *Engenharia Ambiental*, v. 8, n. 2, p. 105-116, abr./jun. 2011.
- FERREIRA JUNIOR, F.B. *Mapeamento da cobertura do solo utilizando imagem aster - Usina Hidroelétrica de Emborcação*. 2005. 31f. Monografia (VIII Curso de Especialização em Geoprocessamento) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- FLAUZINO, F.S. *Qualidade da água e dos sedimentos nos reservatórios das usinas hidrelétricas de Nova Ponte e Miranda – Minas Gerais*. 2014. 147f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). *Índice de Estado Trófico - IET*. Minas Gerais: Igam, 2021. Disponível em: <http://portalinfhidro.igam.mg.gov.br/sem-categoria/322-indice-de-estado-trofico-iet>. Acesso em: 15 jul. 2021.
- ISLAM, M.S.; AFROZ, R.; MIA, M.B. Investigation of surface water quality of the Buriganga river in Bangladesh: laboratory and spatial analysis approaches. *Dhaka University Journal of Biological Sciences*, v. 28, n. 2, p. 147-158, 2019. <https://doi.org/10.3329/dujbs.v28i2.46501>

- KÄNDLER, M.; BLECHINGER, K.; SEIDLER, C.; PAVLŮ, V.; ŠANDA, M.; DOSTÁL, T.; KRÁSA, J.; VITVAR, T.; ŠTICH, M. Impact of land use on water quality in the upper Nisa catchment in the Czech Republic and in Germany. *Science of the Total Environment*, v. 586, p. 1316-1325, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.221>
- LAMPARELLI, M.C. *Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento*. 2004. 238f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Instituto de Biociências, São Paulo, 2004.
- LI, Z.; MA, J.; GUO, J.; PAERL, H.W.; BROOKES, J.D.; XIAO, Y.; FANG, F.; OUYANG, W.; LU, L. Water quality trends in the Three Gorges Reservoir region before and after impoundment (1992-2016). *Ecohydrology & Hydrobiology*, v. 19, n. 3, p. 317-327, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.08.005>
- LIU, X.; ZHANG, G.; SUN, G.; WU, Y.; CHEN, Y. Assessment of lake water quality and eutrophication risk in an agricultural irrigation area: a case study of the Chagan Lake in Northeast China. *Water*, v. 11, n. 11, p. 2380, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11112380>
- MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas. *Coleção [versão] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. Disponível em: <http://mapbiomas.org/>. Acesso em: 25 jul. 2020.
- MEBARKIA, A.; BOUFEKANE, A. Human activity impact on surface water quality in semi-arid regions: a case study of Ainzedda lake (North-East Algeria). *Water Supply*, v. 20, n. 5, p. 1726-1744, 2020. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.083>
- MENEZES, J.P.C.; FRANCO, C.S.; OLIVEIRA, L.F.C.; BITTENCOURT, R.P.; FARIAS, M. S.; FIA, R. Morfometria e evolução do uso do solo e da vazão de máxima em uma micro bacia urbana. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 15, n. 4, p. 659-672, 2014. <https://doi.org/10.20502/rbg.v15i4.597>
- MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta Copam/CERH-MG nº 1, de 5 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Executivo do Estado de Minas Gerais*, Belo Horizonte, 2008.
- OLIVEIRA, K.L. *Qualidade das águas superficiais de reservatórios e principais tributários: estudo de caso do reservatório da Usina Hidrelétrica de Irapé - MG*. 2020. 160f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- PINTO, B.L.; FRANCO, G.B. Avaliação das ações antropogênicas e suas implicações para o planejamento ambiental da bacia do Riacho da Cruz - semiárido baiano. *Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 3, n. 8, p. 83-106, 2017. <https://doi.org/10.18764/2446-6549.v3n8p83-106>
- PRADO, R.B.; NOVO, E. M. L. Avaliação espaço-temporal da relação entre o estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP) e o potencial poluidor de sua bacia hidrográfica. *Sociedade & Natureza*, v. 19, n. 2, p. 5-18, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132007000200001>
- SANTOS, V.O.; FERREIRA, V.O. Efeitos das mudanças no uso e ocupação do solo na disponibilidade hídrica de sub-bacias hidrográficas representativas da mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, estado de Minas Gerais. *Horizonte Científico*, v. 8, n. 1, p. 1-20, 2014.
- TUNDISI, J.G. Reservoirs: new challenges for ecosystem studies and environmental management. *Water Security*, v. 4-5, p. 1-7, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2018.09.001>
- VIANA, D.T. *Análise do banco de dados de qualidade da água da UHE Nova Ponte/MG através da aplicação de ferramentas estatísticas*. 2014. 151f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
- XIN, X.K.; LI, K.F.; FINLAYSON, B.; YIN, W. Evaluation, prediction, and protection of water quality in Danjiangkou Reservoir, China. *Water Science and Engineering*, v. 8, n. 1, p. 30-39, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2014.11.001>

**Anexo 1 - Áreas de influência das estações de monitoramento do reservatório da usina hidrelétrica Emborcação e seus principais tributários.**



Anexo 2 - Áreas de influência das estações de monitoramento do reservatório da usina hidrelétrica Nova Ponte e seus principais tributários.

