

**INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
Minas Gerais
Campus Bambuí

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS BAMBUI*
MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA
AMBIENTAL

Juliana Nunes Noceli

**ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA E A INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO
SOLO NO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA CORUMBÁ – GOIÁS**

Bambuí - MG

2024

JULIANA NUNES NOCELI

ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA E A INFLUÊNCIA DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA CORUMBÁ – GOIÁS

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG) - *Campus Bambuí*.

Linha de Pesquisa: Planejamento e Gestão Ambiental.

Projeto Estruturante: Análise e Gestão da Paisagem II - Meio Ambiente e Geografia.

Orientador: Dr. Jairo Rodrigues Silva

Coorientadora: Dra. Ariana Cristina Santos Almeida

Bambuí - MG

2024

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

N756i Noceli, Juliana Nunes.
Índice de qualidade da água e a influência do uso e ocupação do solo no reservatório da Usina Hidrelétrica Corumbá – Goiás. / Juliana Nunes Noceli. – Bambuí, 2024.
122 f.: il.; color.

Orientador: Dr. Jairo Rodrigues Silva.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2024.

1. Qualidade da água. 2. Uso do solo. 3. Gestão sustentável dos recursos hídricos. I. Silva, Jairo Rodrigues. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 628.132

Elaborada por Douglas Bernardes de Castro- CRB-6/2802



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação
Seção de Pós-Graduação
Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Buritis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

PARECER Nº 6

FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada “Índice de qualidade da água e a influência do uso e ocupação do solo no reservatório da Usina Hidrelétrica Corumbá - Goiás”, de autoria da mestranda em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, **Juliana Nunes Noceli**, sob a orientação do prof. Dr. **Jairo Rodrigues Silva** e como coorientadora prof. Dra. **Ariana Cristina Santos Almeida**, aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 16/05/2024, com a média de 88,0 pontos.

Bambuí (MG), 16 de maio de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Ariana Cristina Santos Almeida, Professora**, em 16/05/2024, às 18:21, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Jairo Rodrigues Silva, Professor**, em 16/05/2024, às 20:18, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Fernando Lemos, Usuário Externo**, em 17/05/2024, às 07:56, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Juliana Nunes Noceli, Usuário Externo**, em 19/05/2024, às 10:19, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadoes> informando o código verificador **1927052** e o código CRC **79DAD410**.

Dedico esta dissertação a minha
amada família, Eduardo, Kátia e Diego,
meu marido Alan, pelo apoio incondicional,
paciência e amor.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a conclusão desta nova etapa da minha vida:

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder sabedoria, serenidade e saúde durante este percurso.

Ao meu orientador, Jairo, e à minha coorientadora, Ariana, por compartilharem generosamente seus conhecimentos, orientação, atenção, compreensão e direcionamento ao longo deste processo.

Agradeço ao Instituto Federal de Minas Gerais e ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental a oportunidade de realizar este curso de mestrado.

Aos meus colegas de curso, que estiveram ao meu lado nesta jornada de aprendizado e dedicação.

À FURNAS Eletrobras, especialmente ao Cássio, pelo fornecimento e autorização de uso dos dados e por toda a atenção dedicada ao meu trabalho desde o início.

À empresa Laboratório Água e Terra, pela oportunidade de desenvolvimento pessoal e profissional no monitoramento de diversas atividades nas usinas monitoradas e pelo estreitamento na parceria com Furnas.

Aos professores Dra. Elizene Veloso Ribeiro e Dr. Carlos Fernando Lemos, por participarem da banca avaliadora e por toda a contribuição neste trabalho desde a qualificação.

Aos meus estimados professores, que têm me apoiado desde a graduação: os doutores Kátia Rezende e Christian Ribeiro, por se juntarem a nós e estarem dispostos a contribuir com este trabalho.

Grata a todos pelo apoio, orientação e oportunidades proporcionadas ao longo deste percurso acadêmico e profissional.

“Há um grande desejo em mim de sempre melhorar. Melhorar. É o que me faz feliz.”

Ayrton Senna

RESUMO

A água é um recurso essencial para a vida, e seu represamento é frequentemente necessário para diversos fins. As barragens são alternativas importantes para o abastecimento humano e a geração de energia, embora causem impactos ambientais significativos. Visando manter a qualidade da água destes reservatórios, o Índice de Qualidade da Água (IQA) se torna uma ferramenta importante para a gestão hídrica, permitindo uma compreensão integrada e comparativa da qualidade da água. Este estudo aplicou o IQA no reservatório e em afluentes da UHE Corumbá, avaliando a qualidade da água em nove pontos de coleta entre julho de 2018 e abril de 2022. Os resultados do IQA demonstraram que a qualidade da água no reservatório varia de boa a ótima, enquanto, nos afluentes, oscila de regular a boa, influenciada por vegetação, desmatamento e diluição da poluição ao desaguar no reservatório. Diante das análises, concluímos que a intensificação das atividades humanas sem preocupação ambiental exerce pressão sobre os recursos hídricos, comprometendo a qualidade da água devido ao uso inadequado do solo, poluição e desmatamento. Quanto ao estudo de uso e ocupação do solo, utilizaram-se os dados do MapBiomas para analisar o uso do solo de 1992 a 2022 nos municípios de Corumbá, Caldas Novas e Ipameri. Verificaram-se uma redução significativa na área florestal e um aumento expressivo na agricultura e expansão urbana, e, além disso, foram evidenciadas a importância do uso sustentável do solo na região da UHE Corumbá e a eficácia do MapBiomas na análise do uso do solo. No reservatório da UHE Corumbá, os resultados do IQA e do uso do MapBiomas mostraram mudanças significativas nas classes de floresta, formação não natural e agropecuária ao longo do tempo, sugerindo, assim, práticas de manejo sustentável do solo, zoneamento e planejamento territorial equilibrado, além do monitoramento contínuo do uso do solo e do engajamento da comunidade. As principais medidas de preservação incluem a proteção das áreas de vegetação nativa, controle da erosão, restauração de áreas degradadas e monitoramento contínuo do uso do solo. Estas ações propostas na dissertação estão alinhadas com cinco Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovendo uma agricultura sustentável (ODS 2), acesso à água potável e saneamento (ODS 6), cidades e comunidades resilientes (ODS 11), proteção da vida na água (ODS 14) e preservação dos ecossistemas terrestres (ODS 15). A promoção de práticas de manejo sustentável do solo e da água é crucial para garantir a sustentabilidade dos recursos naturais para as gerações futuras.

Palavras-chave: Qualidade da Água; Uso do Solo e Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos.

ABSTRACT

Water is an essential resource for life, and its damming is often necessary for various purposes. Dams are important alternatives for human water supply and energy generation, though they cause significant environmental impacts. To maintain the water quality of these reservoirs, the Water Quality Index (WQI) becomes an important tool for water management, allowing an integrated and comparative understanding of water quality. This study applied the WQI in the UHE Corumbá reservoir and its tributaries, assessing water quality at nine sampling points between July 2018 and April 2022. The WQI results demonstrated that water quality in the reservoir varies from good to excellent, while in the tributaries, it ranges from fair to good, influenced by vegetation, deforestation, and the dilution of pollution as it flows into the reservoir. Based on the analyses, we conclude that the intensification of human activities without environmental concern exerts pressure on water resources, compromising water quality due to improper land use, pollution, and deforestation. Regarding land use and occupation studies, MapBiomass data were used to analyze land use from 1992 to 2022 in the municipalities of Corumbá, Caldas Novas, and Ipameri. A significant reduction in forest area and a marked increase in agriculture and urban expansion were observed. Additionally, the importance of sustainable land use in the UHE Corumbá region and the effectiveness of MapBiomass in land use analysis were highlighted. In the UHE Corumbá reservoir, the WQI results and MapBiomass usage showed significant changes in forest, non-natural formation, and agricultural classes over time, thus suggesting sustainable land management practices, zoning, balanced territorial planning, continuous land use monitoring, and community engagement. The main preservation measures include protecting native vegetation areas, controlling erosion, restoring degraded areas, and continuously monitoring land use. These actions proposed in the dissertation align with five Sustainable Development Goals (SDGs), promoting sustainable agriculture (SDG 2), access to clean water and sanitation (SDG 6), resilient cities and communities (SDG 11), protection of life below water (SDG 14), and preservation of terrestrial ecosystems (SDG 15). The promotion of sustainable land and water management practices is crucial to ensuring the sustainability of natural resources for future generations.

Keywords: Water Quality; Land Use; Sustainable Water Resource Management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de localização dos pontos de amostragem.	39
Figura 2: Variação do Índice de Qualidade da Água (IQA) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022, com destaque para as categorias de água Boa e Ótima.....	43
Figura 3: Box-plot do Índice de Qualidade da Água (IQA) das Estações de coleta nas Áreas a Montante, Reservatório, Tributários e a Jusante no período de 2018 a 2022.....	47
Figura 4: <i>Box-plot</i> do Índice de Qualidade da Água (IQA): (A) Anos; (B) Campanhas de amostragem no período de 2018 a 2022.	48
Figura 5: Mapa de localização da UHE Corumbá.	56
Figura 6: Mapa de classificação de uso do solo.	59
Figura 7: Evolução do uso do solo (Ha) - Áreas de Influência da UHE Corumbá.	60
Figura 8: Percentual das tipologias de uso e cobertura da terra.	63
Figura 9: Variação dos dados dos Coliformes Termotolerantes (NMP/100MI) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.	75
Figura 10: Variação dos dados do pH (UpH) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.	76
Figura 11: Variação dos dados da DBO (mg/L) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.	78
Figura 12: Variação dos dados do Nitrogênio Total (mg/L) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.	79
Figura 13: Variação dos dados do Fósforo Total (mg/L) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.	81
Figura 14: Variação dos dados do Oxigênio Dissolvido (OD) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.	82
Figura 15: Variação dos dados da Temperatura da amostra (°C) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.	84
Figura 16: Variação dos dados de Turbidez (UNT) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.....	85
Figura 17: Variação dos dados dos Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação dos pontos de amostragem, coordenadas e a descrição da localização.	38
Tabela 2: Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivo peso.	40
Tabela 3: Classificação do IQA – CETESB.	41
Tabela 4: Resultados e Classificação do Índice de Qualidade da Água.	42
Tabela 5: Estatística Descritiva Básica dos principais parâmetros da água na UHE Corumbá no período de 2018 a 2022.	45
Tabela 6: Coeficiente de <i>Spearman Rhô</i> (ρ) e Intensidade da Correlação entre o Índice de Qualidade da Água e os parâmetros limnológicos na área sob a influência da UHE Corumbá.	46
Tabela 7: Valores das tipologias de uso e cobertura do solo, por ano.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional das Águas

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

GEE - *Google Earth Engine*

IET - Índice de Estado Trófico

IQA - Índice de Qualidade de Água

KS - *Kolmogorov-Smirnov*

NRVI - Índice Normalizado de Vegetação Remanescente

NSF - *National Sanitation Foundation*

OD - Oxigênio Dissolvido

ONG - Organizações Não Governamentais

ONU – Organização das Nações Unidas

pH - Potencial Hidrogeniônico

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

RPPN - Reservas Particulares do Patrimônio Natural

SDG - *Stands for Sustainable Development Goals*

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

STD - Sólidos Dissolvidos Totais

UCs - Unidades de Conservação

UHE - Usina Hidrelétrica

UPGRH - Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

UTM - *Universal Transverse Mercator*

WQI - *Water Quality Index*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1.	Objetivo geral	18
1.2.	Objetivos específicos	18
1.3.	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e sua interseção neste trabalho	19
1.4.	Referencial teórico	20
1.4.1.	<i>Águas superficiais e os aspectos legais</i>	20
1.4.1.1.	Legislação Ambiental	21
1.4.2.	<i>Monitoramento da qualidade da água</i>	24
1.4.3.	<i>IQA</i>	25
1.4.4.	<i>Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento da qualidade da água</i>	26
2	REFERÊNCIAS	29
3	ARTIGO 1	33
3.1.	Introdução	33
3.3.	Materiais e Métodos	38
3.4.	Resultados e Discussões	42
3.5.	Conclusões	49
3.6.	Agradecimentos	50
3.7.	Referências Bibliográficas	51
4	ARTIGO 2	54
4.1.	Introdução	54
4.3.	Materiais e métodos	57
4.4.	Resultados e discussão	58
4.5.	Conclusões	66
4.6.	Referências	67
5	PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO 1.....	70
5.1.	Introdução	71
5.2.	Objetivos	72
5.3.	Objetivos Específicos	72
5.4.	Metodologia	72
5.4.1.	<i>Periodicidade das coletas limnológicas</i>	72
5.4.2.	<i>Parâmetros limnológicos analisados neste estudo</i>	73
5.4.3.	<i>Análise dos resultados por parâmetro limnológico</i>	73
5.5.	Resultados e Discussões	74
5.5.1.	<i>Coliformes Termotolerantes</i>	74

5.5.2. <i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i>	75
5.5.3. <i>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)</i>	76
5.5.4. <i>Nitrogênio Total</i>	78
5.5.5. <i>Fósforo Total</i>	80
5.5.6. <i>Oxigênio Dissolvido (OD)</i>	81
5.5.7. <i>Temperatura da Amostra</i>	83
5.5.8. <i>Turbidez</i>	84
5.5.9. <i>Sólidos Dissolvidos Totais (STD)</i>	86
5.6. Conclusões	88
5.7. Referências	89
6 PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO 2	90
6.1. Apresentação	90
6.2. O produto	90
6.3. Relevância Social e Econômica	91
6.4. Aderência	92
6.5. Impacto	92
6.6. Complexidade	92
6.7. Considerações Finais	93
6.8. Apêndices	93
Apêndice A: Mapa temático de classificação de uso do solo nas áreas de influência da UHE Corumbá-GO (1992).....	94
Apêndice B: Mapa temático de classificação de uso do solo nas áreas de influência da UHE Corumbá-GO (2002).....	95
Apêndice C: Mapa temático de classificação de uso do solo nas áreas de influência da UHE Corumbá-GO (2012).....	96
6.9. Referência	97
Apêndice D: Mapa temático de classificação de uso do solo nas áreas de influência da UHE Corumbá-GO (2022).....	97
Apêndice E: Comparativo dos mapas temáticos de classificação de uso do solo nas áreas de influência da UHE Corumbá-GO (1992 a 2022).....	99
7 PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO 3	100
7.1. Apresentação	100
7.2. O Produto	100
7.3. Relevância Social e Econômica	101
7.4. Aderência	101
7.5. Impacto e Complexidade	102

7.6.	Considerações Finais	102
7.7.	Referência	103
7.8.	Agradecimentos	103
7.9.	Apêndices	103
	Apêndice A: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Julho/2018).	104
	Apêndice B: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Outubro/2018).	105
	Apêndice C: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Janeiro/2019).	106
	Apêndice D: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Abril/2019).	107
	Apêndice E: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Julho/2019).	108
	Apêndice F: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Outubro/2019).	109
	Apêndice G: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Janeiro/2020).	110
	Apêndice H: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Abril/2020).	111
	Apêndice I: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Julho/2020).	112
	Apêndice J: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Outubro/2020).	113
	Apêndice K: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Janeiro/2021).	114
	Apêndice L: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Abril/2021).	115
	Apêndice M: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Julho/2021).	116
	Apêndice N: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Outubro/2021).	117
	Apêndice O: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Janeiro/2022).	118
	Apêndice P: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Abril/2022).	119
8	CONCLUSÕES FINAIS	120
9	ANEXO: TERMO DE PARCERIA	122

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos desempenham um papel fundamental na sobrevivência humana, além de serem essenciais para o desenvolvimento natural, econômico e social de uma região, resultando em uma série de demandas da sociedade que têm impacto direto na quantidade e na qualidade dos recursos hídricos, muitas vezes, levando a conflitos, como afirma Silva (2021).

Neste contexto, Marques *et al.* (2022) observaram que as demandas por múltiplos usos da água, aliadas ao crescimento populacional, têm aumentado a pressão sobre os recursos hídricos. Por isso, entender o uso e ocupação do solo em áreas adjacentes a reservatórios é crucial para compreender os efeitos das atividades humanas, já que diversos tipos de uso podem modificar as condições físicas, químicas e biológicas da água (Souza *et al.*, 2019).

Dessa forma, percebe-se que os desafios associados à gestão da água não podem ser reduzidos apenas a questões de infraestrutura, demandando uma abordagem holística e integrada para o gerenciamento desse recurso valioso (Katusiime *et al.*, 2020).

O monitoramento da qualidade da água emerge como uma ferramenta útil e relevante para o planejamento e a tomada de medidas necessárias. Neste contexto, índices e indicadores são reconhecidos como ferramentas de interpretação simplificada durante o processo decisório, pois ajudam a simplificar um grande volume de informações complexas envolvidas na análise ambiental (CETESB, 2020).

Em diversos países, índices de qualidade da água têm sido empregados para avaliar o estado geral da qualidade das águas superficiais e subterrâneas (Uddin *et al.*, 2021). No Brasil, o uso de índices cresceu na década de 1970, e, desde então, órgãos ambientais, comunidade científica e empresas de saneamento os empregam para aferir e monitorar a qualidade das águas (Silva *et al.*, 2019).

O índice de qualidade de água da *National Sanitation Foundation*, utilizado globalmente, foi adaptado no Brasil pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). As variáveis consideradas no cálculo do IQA refletem a contaminação dos corpos hídricos, frequentemente causada pelo despejo de esgotos domésticos (ANA, 2023). Sabe-se que a qualidade da água é afetada por fatores naturais e antropogênicos em diferentes escalas temporais e espaciais, como a poluição, mudanças no uso do solo, entre outros.

Com o avanço contínuo das aplicações web voltadas para a obtenção e visualização de dados geoespaciais, assim como a ampla disseminação de bases geográficas, o Projeto de

Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil - MapBiomass© - surge como uma iniciativa que engloba uma rede colaborativa composta por especialistas em biomas, uso da terra, sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica (SIG) e ciência da computação. Este projeto utiliza recursos de processamento em nuvem e classificadores automatizados, operados a partir da plataforma *Google Earth Engine*, para gerar uma série histórica de mapas anuais de uso e cobertura da terra do Brasil (Mapbiomas, 2022).

Portanto, as análises de uso e ocupação do solo, aliadas aos dados de qualidade das águas, tornam-se uma ferramenta crucial para a gestão eficiente dos recursos hídricos, facilitando a tomada de decisões e a implementação de medidas que visam à otimização dos usos e à conservação dos recursos hídricos em uma determinada região (Da Silva *et al.*, 2019).

Esta pesquisa foi realizada na área de influência da Usina Hidrelétrica (UHE) de Corumbá, que está instalada no município de Corumbá, situado no Sudeste do estado de Goiás, que é banhado pelas águas dos rios Corumbá, Paranaíba e Veríssimo, pertencentes ao Planos de Bacias dos afluentes do rio Paranaíba.

O objetivo principal deste trabalho foi analisar o comportamento dos parâmetros de qualidade das águas superficiais da área de influência da UHE Corumbá por meio da avaliação do IQA e as características de uso e cobertura do solo no entorno dos pontos de coleta. Com a análise de uma série temporal, foi possível caracterizar as mudanças que ocorreram ou que estão ocorrendo na área de influência da UHE Corumbá, bem como a identificação de possíveis alterações na qualidade na água.

A dissertação segue uma estrutura composta por dois artigos científicos e um produto técnico-tecnológico. A Introdução e o Referencial Teórico deste documento englobam a contextualização, a justificativa e os objetivos de todo o conjunto formado pelas três partes, que se complementam e se intercomunicam.

Da mesma forma, as Considerações Finais abordam esse conjunto. Cada uma das três partes opera de maneira independente, apresentando resultados conclusivos da presente dissertação.

1.1. Objetivo geral

Analisar a evolução da qualidade das águas superficiais da área de influência da UHE Corumbá e identificar sua relação com a dinâmica de uso e cobertura do solo.

1.2. Objetivos específicos

- Calcular o IQA e realizar análises estatísticas descritivas básicas nos dados de qualidade da água, para identificar sua influência no IQA;
- Mapear o uso e cobertura do solo nas áreas de influência da UHE Corumbá, a partir de ferramentas de geoprocessamento;
- Identificar possíveis fontes poluidoras.

1.3. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e sua interseção neste trabalho

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU são um conjunto de 17 objetivos interligados que visam criar um futuro melhor e mais sustentável para todos. Entre eles, podemos destacar os ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), 6 (Água Potável e Saneamento), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), 14 (Vida na Água) e 15 (Vida Terrestre). Esses objetivos têm uma forte correlação com a Qualidade da Água (IQA) e o uso e ocupação do solo, influenciando diretamente a sustentabilidade e a saúde ambiental.

De acordo com a Organização das Nações Unidas - ONU (2017), a qualidade da água pode ser afetada pelo crescimento populacional e pelo aumento da demanda por este recurso, além da geração de resíduos associada ao desenvolvimento dessas atividades humanas. Essa situação tende a se agravar diante das potenciais mudanças climáticas, que ameaçam o ciclo hidrológico global.

A qualidade da água (IQA) é um indicador crítico da saúde ambiental e está profundamente interligada com o uso e ocupação do solo. Práticas de uso do solo, como a urbanização, agricultura e desmatamento, podem levar à poluição das águas através do escoamento superficial, que carrega sedimentos, nutrientes e contaminantes para corpos d'água.

A gestão integrada do uso do solo e dos recursos hídricos é essencial para se alcançar os ODS vinculados a esta pesquisa:

- **Agricultura Sustentável (ODS 2):**

A adoção de práticas agrícolas sustentáveis pode reduzir a poluição por fertilizantes e pesticidas, melhorando o IQA;

Conservação de áreas ripárias (margens de rios) para filtrar poluentes antes que alcancem os corpos d'água.

- **Gestão de Águas Urbanas (ODS 6 e 11):**

Implementação de sistemas de saneamento eficientes e gestão de águas pluviais, para reduzir a poluição urbana das águas;

Desenvolvimento de espaços verdes urbanos que ajudem a filtrar poluentes e gerenciar o escoamento superficial.

- **Conservação de Ecossistemas (ODS 14 e 15):**

Proteção de áreas naturais e bacias hidrográficas para manter a qualidade da água e a biodiversidade;

Implementação de práticas de restauração ecológica para recuperar ecossistemas degradados e melhorar o IQA.

Os ODS 2, 6, 11, 14 e 15 estão interligados pela necessidade de gestão sustentável do solo e da água. A integração das políticas de uso e ocupação do solo com a gestão da qualidade da água é crucial para se alcançar um desenvolvimento verdadeiramente sustentável. Práticas agrícolas sustentáveis, planejamento urbano adequado e conservação dos ecossistemas são medidas indispensáveis para melhorar a qualidade da água e assegurar a sustentabilidade ambiental a longo prazo.

1.4. Referencial teórico

1.4.1. Águas superficiais e os aspectos legais

Os ecossistemas aquáticos fornecem um dos principais serviços vitais para a humanidade: o suprimento de água para o abastecimento público. Os recursos hídricos possuem diversos usos em atividades humanas e contribuem para o bem-estar e a qualidade de vida da população em geral, como destacado por Tundisi (2006).

A condição dos ecossistemas aquáticos está passando por transformações globais devido a diversas atividades humanas, influenciando tanto de maneira direta quanto, muitas vezes, indireta os sistemas ecológicos e a vida aquática (De Lima *et al.*, 2018).

Levêque *et al.* (2017) ressaltam que preservar os padrões de qualidade da água superficial em todo o planeta está se transformando em um desafio ambiental no qual a atividade humana desempenha um papel significativo.

Estudos realizados por Eisenberg *et al.* (2016) indicam que o Brasil enfrenta desafios relacionados ao descarte de esgoto sanitário em seus recursos hídricos, resultando em questões que afetam toda a sociedade. Com isso, a ocupação e utilização do solo pela sociedade exercem uma influência significativa sobre os processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais, com impactos notáveis, especialmente nos recursos hídricos (Gomes *et al.*, 2014).

A existência dessa vulnerabilidade destaca a importância de se implementar planos estratégicos de monitoramento, com o objetivo de prevenir a degradação dos recursos hídricos. Considerando-se que a qualidade da água reflete as condições ambientais e influências humanas nos recursos hídricos, a realização regular de campanhas de monitoramento representa o ponto inicial para a criação de uma base de dados confiável (Behmel *et al.*, 2016). Essas campanhas

possibilitam a avaliação do comportamento espacial e temporal da qualidade da água, além de fornecer suporte para o planejamento do uso dos recursos hídricos.

Fraga *et al.* (2021) concluíram que a avaliação da qualidade da água pode ser expressa por meio de vários parâmetros, dependendo da finalidade de seu uso. Os padrões de qualidade são estabelecidos conforme as diretrizes da Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

O rio Corumbá foi categorizado como classe II, conforme a classificação estabelecida pela Resolução CONAMA 357/2005 do Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2005), que inclui cinco classes, em ordem crescente de poluição. Portanto, as águas de um rio classificado como classe II podem ser utilizadas para abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; para proteção das comunidades aquáticas; para recreação de contato primário; para irrigação de hortaliças, plantas frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer; e para aquicultura e atividade de pesca (Brasil, 2005).

1.4.1.1. Legislação Ambiental

O Código das Águas, um marco importante para disciplinar e adequar o uso dos recursos hídricos às necessidades da época, foi publicado em 10 de julho de 1934 por meio do Decreto Federal n.º 24.643 (BRASIL, 1934). Esse decreto classificou as águas, regulamentou seus usos e definiu sua propriedade. Ele também estabeleceu que as águas superficiais deveriam ser destinadas prioritariamente à produção de energia elétrica.

A nova Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) foi instituída pela lei n.º 9.433/1997 (BRASIL, 1997), que adotou os seguintes princípios básicos:

- a) a bacia hidrográfica como unidade de planejamento;
- b) os usos múltiplos da água;
- c) o reconhecimento da água como um recurso finito e vulnerável;
- d) o reconhecimento do valor econômico da água, que serve como base para a instituição da cobrança pelo uso dos recursos hídricos (princípio do usuário/pagador); e
- e) a gestão descentralizada e participativa, envolvendo os usuários no processo de tomada de decisão.

A Lei n.º 9.433/1997 (BRASIL, 1997) prevê, além da outorga de direito de uso da água e da cobrança pelo seu uso, a elaboração de uma Política Nacional de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos d'água em classes de uso e a implantação do Sistema Nacional de

Informações sobre os Recursos Hídricos. Essas medidas têm como objetivo fornecer aos gestores, usuários e à sociedade civil os dados necessários para uma melhor participação no processo decisório.

O processo de enquadramento dos corpos d'água no Brasil é regido por diversas legislações, sendo as principais compostas pelos seguintes dispositivos legais: a resolução CONAMA n.º 20/1986, a resolução CONAMA n.º 274/2000 - que alterou a resolução CONAMA 20/1986 no que diz respeito à balneabilidade - e a resolução CONAMA n.º 357/2005, que estabelece os critérios para classificação e enquadramento das águas em todo o território nacional (Sobral *et al.*, 2008).

A Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005, emitida pelo governo brasileiro, estabelece as diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água do território nacional, bem como as condições e padrões para a emissão de efluentes, entre outras medidas. A classificação dos corpos de água leva em conta a salinidade, dividindo-os em três categorias:

- a) água doce (com salinidade igual ou inferior a 0,5);

As águas doces podem ser classificadas em cinco categorias: Classe especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4.

De acordo com Pizzela *et al.* (2007), a resolução CONAMA n.º 357/2005 estabeleceu princípios mais rigorosos em relação à qualidade da água, levando em consideração as exigências da Constituição Federal de 1988 e da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que proíbem o lançamento de fontes poluidoras em níveis prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente. A resolução também incluiu os princípios de função ecológica da propriedade, prevenção e precaução, bem como a necessidade de manter o equilíbrio ecológico dos ecossistemas aquáticos.

Nesse sentido, recomenda-se a utilização da Resolução CONAMA n.º 357/2005 para o enquadramento dos corpos d'água e o monitoramento, por meio de dados limnológicos, da possível deterioração dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica no decorrer do tempo (Rocha *et al.*, 2015). No entanto, a implementação desse instrumento pode se tornar uma tarefa mais complexa em bacias hidrográficas que possuem rios sob domínio estadual ou distrital, além de rios sob domínio da União e corpos hídricos com diferentes níveis de implementação do enquadramento. Visto que os cursos d'água apresentados neste estudo ainda estão em fase de proposta de enquadramento pelas Unidades de Planejamento e Gestão de

Recursos Hídricos (UPGRH) dos rios Corumbá, São Marcos e Veríssimo¹, adotamos a Classe II para os cursos d'água analisados.

No Quadro 1, podem ser verificadas, em síntese, as legislações vigentes designadas aos recursos hídricos em âmbito federal.

Quadro 1: Síntese das legislações pertinentes às atividades voltadas aos recursos hídricos de água doce e ambientais em âmbito federal.

Lei	Diretrizes
DECRETO N.º 24.643, DE 10 DE JULHO DE 1934	Decreta o Código de Águas.
LEI N.º 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.
Resolução CONAMA 357/2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Nas últimas décadas, tem havido um crescente interesse em monitorar a qualidade das águas superficiais no Brasil. Essa necessidade tem sido amplamente debatida por instituições públicas reguladoras voltadas para o meio ambiente, devido à grande quantidade de efluentes provenientes das atividades humanas que são lançados nos rios (Lima *et al.*, 2011).

O aumento da demanda pela água, especialmente nos grandes centros urbanos, tem exacerbado as condições de escassez hídrica devido aos processos de degradação que afetam a disponibilidade de recursos. Esses fatores tornam essenciais a adoção de práticas de gestão sustentável, o monitoramento contínuo dos recursos hídricos e a implementação de políticas públicas eficazes para garantir a conservação e a utilização racional da água.

Devido à relevância dos ecossistemas aquáticos e às crescentes demandas da sociedade humana por recursos hídricos, o Brasil estabeleceu legislação voltada para a gestão das águas. Isso se concretiza por meio de diretrizes e políticas públicas que regulam o uso, a proteção e a manutenção das suas riquezas hídricas em âmbito federal (Callisto *et al.*, 2023).

¹ Informação obtida na **Proposta de Enquadramento da UPGRH dos rios Corumbá, São Marcos e Veríssimo**: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1f0f8ce7-f6d5-4ab6-a74d-083d8839da12/attachments/PRH-Paranaiba.pdf>

Nesse contexto, é recomendável seguir a Resolução CONAMA n.º 357/2005, que estabelece as classes de qualidade dos corpos d'água e permite avaliar a possível degradação dos recursos hídricos ao longo do tempo ou em diferentes áreas da bacia hidrográfica, com base em informações limnológicas (Toledo *et al.*, 2002).

1.4.2. Monitoramento da qualidade da água

As águas continentais oferecem bens e serviços ecossistêmicos essenciais para populações humanas, animais e plantas. Isso inclui fornecimento de água de qualidade para consumo e irrigação, geração de energia hidrelétrica, produção de alimentos, além da preservação de valores culturais e espirituais (Shah *et al.*, 2019).

No entanto, as ações humanas podem resultar na exploração excessiva dos recursos hídricos e provocar alterações nas características dos ecossistemas aquáticos, tais como a modificação das margens, o assoreamento de corpos d'água, o aumento da temperatura e a introdução de poluentes orgânicos e inorgânicos na água (Gleeson *et al.*, 2020).

Os parâmetros químicos, físicos e biológicos avaliados em um corpo hídrico podem fornecer informações sobre o nível de contaminação da água. Eles constituem a base para a gestão desse recurso, facilitando a tomada de decisões voltadas para sua preservação, recuperação e proteção (Brasil, 2005).

O monitoramento é uma das ferramentas de gestão estipuladas na Política Nacional de Recursos Hídricos, com o objetivo de enquadrar os corpos de água em classes, de acordo com os usos predominantes desse recurso.

Os indicadores de qualidade da água desempenham um papel fundamental na gestão de recursos hídricos, permitindo a identificação do impacto do uso dos corpos d'água e sua influência nas características qualitativas dos recursos hídricos. Isso é essencial para assegurar a proteção da comunidade e preservar a saúde pública, como enfatizado por Santos *et al.* (2019).

Portanto, a relevância de pesquisas sobre a qualidade da água é evidente, uma vez que essas investigações desempenham um papel crucial na preservação dos recursos hídricos e dos ecossistemas, além de contribuírem para a gestão da saúde pública. Isso possibilita a adoção de medidas corretivas e preventivas apropriadas.

A necessidade de um Índice de Qualidade da Água (IQA) se torna ainda mais clara quando consideramos a quantidade de parâmetros que ele abrange e a variação de sua análise conforme o contexto de uso do solo e da água. O IQA é uma ferramenta essencial para sintetizar

informações complexas sobre a qualidade da água em um indicador compreensível, permitindo a avaliação rápida e eficiente da condição dos corpos hídricos. Ele leva em conta diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos, como pH, oxigênio dissolvido, turbidez, temperatura, nutrientes e presença de contaminantes, entre outros.

1.4.3. IQA

O Índice de Qualidade da Água (IQA) oferece um resultado de forma sucinta com o intuito de fornecer informações sobre a situação atual de um corpo hídrico em relação ao seu enquadramento, conforme estipulado pela Resolução n.º 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) no Brasil. Este enquadramento é estabelecido com base nas metas de qualidade da água inicialmente concebidas em conformidade com os usos predominantes planejados (Brasil, 2005).

Ao analisar a qualidade da água, diversos parâmetros são considerados, como pH, oxigênio dissolvido, turbidez, presença de substâncias tóxicas, entre outros. O IQA combina esses parâmetros em um único índice, fornecendo uma visão geral da qualidade da água de uma determinada região.

A incorporação do Índice de Qualidade da Água (IQA) como recurso adicional na avaliação da qualidade tem demonstrado eficácia, uma vez que simplifica a comunicação entre especialistas e promove o entendimento do público interessado no tema (Lopes *et al.*, 2016).

Entretanto, não se deve depender exclusivamente do IQA para avaliar a saúde dos recursos hídricos. Os padrões estabelecidos pelas legislações ambientais são fundamentais para se determinar os níveis aceitáveis de cada parâmetro. Portanto, é necessário analisar cada parâmetro individualmente para verificar se eles atendem aos padrões estabelecidos.

O papel crucial do IQA está em identificar possíveis deteriorações nos recursos hídricos ao longo das bacias hidrográficas. Ele pode ser utilizado para monitorar a evolução da qualidade da água ao longo do tempo e identificar tendências preocupantes, auxiliando na tomada de decisões e no desenvolvimento de medidas de proteção e conservação dos corpos d'água.

1.4.4. Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento da qualidade da água

Os levantamentos de campo desempenham um papel fundamental ao considerar os fatores que influenciam o meio ambiente. Ao realizar observações diretas e coletar dados *in loco*, os levantamentos de campo fornecem informações valiosas sobre as características físicas, biológicas e socioeconômicas de determinada área. No entanto, para efetuar estudos de longo prazo, é necessário conduzir observações de campo no decorrer de vários anos, o que demanda recursos financeiros, equipamentos adequados e uma equipe dedicada de forma contínua (Hall *et al.*, 1991).

Uma das inúmeras possibilidades de contornar essas limitações é por meio do uso de imagens coletadas por sensoriamento remoto. Isso amplia significativamente o número de áreas disponíveis para modelagem estatística e possibilita uma interpretação mais precisa das características ambientais (Schroeder *et al.*, 2007).

Segundo Figueiredo (2005), o sensoriamento remoto é um método de obtenção de informações sobre fenômenos e características terrestres por meio de sensores, sem a necessidade de contato físico direto com eles. Essas informações são obtidas por meio de uma variedade de sensores, que permitem a prática do sensoriamento remoto.

De acordo com Assad e Sano (1998), é inegável que os produtos de sensoriamento remoto orbital têm desempenhado um papel importante não apenas na aquisição primária de informações, mas também no inventário e gerenciamento da paisagem agroflorestral em países de dimensões continentais, como o Brasil. Esses produtos fornecem uma visão abrangente e atualizada das áreas de interesse, permitindo o monitoramento de extensas áreas de forma eficiente e sistemática.

O componente temporal do sensoriamento remoto possibilita a observação de padrões complexos e a análise da dinâmica da cobertura da superfície ao longo do tempo. Além disso, o termo "monitoramento" pressupõe implicitamente a consideração do aspecto temporal das observações, destacando claramente o papel fundamental que as imagens multitemporais de sensoriamento remoto podem desempenhar em várias áreas de aplicação relacionadas à dinâmica dos processos ambientais e antropológicos (Bruzzone *et al.*, 2003).

Vários estudos correlacionaram a qualidade da água com o uso da terra e o estado de conservação da cobertura vegetal em bacias hidrográficas.

Por exemplo, Bonnet *et al.* (2008) analisaram as possíveis relações entre a qualidade da água e o uso do solo em bacias hidrográficas destinadas ao abastecimento público em Goiás. Para isso, foram coletados dados de 174 pontos de captação operados pelo Saneamento de Goiás

durante o período de janeiro de 2002 a dezembro de 2004. Os parâmetros considerados incluíram médias anuais de variáveis, como seca e cheia, turbidez, cor aparente, pH, cloretos e índices de coliformes totais e fecais. Eles analisaram por meio da técnica de análise de componentes principais, a fim de gerar um Índice de Qualidade da Água (IQA). Utilizando um mapa de cobertura e uso do solo de Goiás em escala 1:250.000 e um mosaico de imagens do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), foram delimitadas as bacias de 89 pontos de captação. Para essas bacias, foi calculado um Índice Normalizado de Vegetação Remanescente (NRVI). Os resultados evidenciaram que parâmetros como cor aparente, turbidez, pH, índice de coliformes totais e fecais estavam abaixo dos padrões legalmente requeridos em até 62,43% das captações analisadas, principalmente durante os períodos de cheia, quando foram observados os piores valores de IQA. Os autores destacam que o IQA utilizado foi sensível às variações sazonais e respondeu ao aporte de sedimentos e matéria orgânica por meio do escoamento superficial. Além disso, esse índice apresentou uma relação, embora tênue, com as variações regionais nos valores de NRVI.

Bucci *et al.* (2014), em seu estudo, analisaram a represa Dr. João Penido, que é a principal fonte de abastecimento de água doce para o abastecimento do município de Juiz de Fora, localizado na Região Sudeste do Brasil. Sua construção ocorreu em 1934 e, desde então, tem enfrentado problemas decorrentes do uso inadequado e da ocupação desordenada das terras ao seu redor. O objetivo deste estudo foi caracterizar a qualidade da água e estabelecer uma relação entre os resultados obtidos a partir do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica. Para isso, foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas em amostras de água, abrangendo os seguintes parâmetros: temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fósforo total, clorofila a e coliformes termotolerantes.

Os resultados obtidos neste estudo, que considerou a Resolução 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), constataram que alguns parâmetros estavam em desconformidade com a norma, tais como: oxigênio dissolvido, pH, turbidez, fósforo total e demanda bioquímica de oxigênio. Os autores calcularam o Índice de Qualidade da Água (IQA) e o Índice de Estado Trófico (IET) para as amostras analisadas.

Os resultados desta pesquisa revelaram a predominância do estado "mesotrófico" e um nível de qualidade da água classificado como "médio", indicando que as práticas de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica têm causado impactos negativos no ecossistema aquático. Além disso, puderam concluir que o monitoramento foi uma ferramenta fundamental,

fornecendo subsídios para o desenvolvimento de um plano de gestão integrada, voltado para a preservação e recuperação da qualidade do manancial.

2 REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas, 2023. **Índice de Qualidade – Índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Disponível em: <https://portalpnqa.ana.gov.br/pnqa.aspx> . Acesso em: 19 fev. 2024.

ASSAD, E. D.; Sano E.E. **Sistemas de Informações Geográficas**. Aplicações na agricultura. 2.ed, rev. e ampl. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC, 1998.

Behmel, S., Damour, M., Ludwig, R., Rodriguez, M. J., 2016. **Water quality monitoring strategies - A review and future perspectives**. *Science of The Total Environment* [online] 571, 1312–1329. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.235>

BONNET, Barbara Rocha Pinto; FERREIRA, Laerte Guimarães; LOBO, Fabio Carneiro. **Relações entre qualidade da água e uso do solo em Goiás: uma análise à escala da bacia hidrográfica**. *Revista Árvore*, v. 32, p. 311-322, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000200014>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento**. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/35705.pdf> Acesso em: 29 de jun. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Águas Ministério do Meio Ambiente. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil**. 2005. Disponível em: PANORAMA_DA_QUALIDADE_DAS_AGUAS.pdf. Acesso em: 14 set. 2023.

Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n° 357, de 17 de março de 2005**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 mar. 2005.

BRASIL. **Lei n° 9.433/1997, de 08 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. 1° da Lei n° 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n° 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 09 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm . Acesso em: 22 abr. 2023.

BRUZZONE, L.; SMITS, P. C.; TILTON, J. C. *Special issue on analysis of multitemporal remote sensing images*. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, New York, v. 41, n. 11, p. 2419-2422, 2003. DOI: 10.1109/MGRS.2015.2443494

BUCCI, Magaly HS; OLIVEIRA, Luiz Fernando C. de. **Índices de qualidade da água e de estado trófico na represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG)**. *Revista Ambiente & Água*, v. 9, p. 130-148, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1290>

CALLISTO, Marcos *et al.* **Avaliação Ecológica Rápida de Qualidade de Água e Bioindicadores Bentônicos no Parque Nacional da Serra do Gandarela, Minas Gerais**. *Revista Espinhaço*, v. 12, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7996142>

CETESB–COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/publicacoes-e-relatorios/> Acesso em: 19 fev. 2024.

DA SILVA ALVES, Luciano; MARTINS, Lorena Alencar; DE JESUS, Lucineide Bispo. **Avaliação da qualidade da água na bacia do rio Camarajipe (Salvador–Brasil): diagnóstico dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e determinação do IQA**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 6, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3312009>

DE LIMA CARDOSO, Rayssa *et al.* **Histological and genotoxic biomarkers in *Prochilodus lacustris* (Pisces, Prochilodontidae) for environmental assessment in a Protected area in the Northeast of Brazil**. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 101, p. 570-579, 2018.

FRAGA, DE SOUZA, Micael *et al.* **Avaliação da qualidade das águas superficiais na circunscrição hidrográfica do rio Piranga utilizando análise estatística multivariada e não-paramétrica**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 02, p. 694-710, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Brasília: CONAB, 2005. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf . Acesso em: 06 jan. 2022.

GLEESON, T., Cuthbert, M., Ferguson, G., Perron, D. **Global groundwater sustainability, resources and systems in the Anthropocene**. *Annual review of earth and planetary sciences*, v.48, p.431-463, 2020. DOI:10.1146/annurevearth-071719-055251

Gomes Silva, P.A.J.; Lima, S.D.; Golin, R. Figueiredo, D.M.; Lima, Z.M., Morais, E.B.; Dores, E.F.G.C. 2014. **Qualidade da água de uma microbacia com fins de abastecimento público, Chapada dos Guimarães, MT**. HOLOS, 4, 22-33. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2014.1977>

HALL, F. G. *et al.* **Large-scale patterns of forest succession as determined by remote sensing**. *Ecology*, Durham, v. 72, n. 2, p. 628-646, 1991. DOI: <https://doi.org/10.2307/2937203>

KATUSIIME, Juliet; SCHÜTT, Brigitta. **Integrated water resources management approaches to improve water resources governance**. *Water*, v. 12, n. 12, p. 3424, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12123424>

_____. 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.

LEVÊQUE, Jonas G.; BURNS, Robert C. **A Structural Equation Modeling approach to water quality perceptions**. *Journal of environmental management*, v. 197, p. 440-447, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.024>

EISENBERG, Joseph NS; BARTRAM, Jamie; WADE, Timothy J. *The water quality in Rio highlights the global public health concern over untreated sewage*. *Environmental Health Perspectives*, v. 124, n. 10, p. A180-A181, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1289/EHP66>

LIMA, B. S.; RIBEIRO, E. V.; MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira. **Índice de Qualidade da Água no Baixo Rio das Velhas**: Experiência Metodológica com IQAccme. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

LOPES, Raynner Menezes et al. **Qualidade da água consumida na Ilha do Mosqueiro, Belém PA**. *Revista DAE*, 2017. DOI: 10.4322/dae.2016.024

NAÇÕES UNIDAS. Conheça os novos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU. 25 set. 2015. Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-dedesenvolvimento-sustentavel-da-onu/> >. Acesso em: 16 jun. 2024.

MARQUES, Amanda Carneiro; VERAS, Carlos Eduardo; RODRIGUEZ, Daniel Andres. *Assessment of water policies contributions for sustainable water resources management under climate change scenarios*. *Journal of Hydrology*, v. 608, p. 127690, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127690> .

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomias – **Coleção 2022 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**, acessado em 02 fevereiro 2024. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org> Acesso em: 02 fev. 2024. DOI: <https://doi.org/10.58053/MapBiomias/VJIJCL>

_____. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

PIZELLA, Denise Gallo; SOUZA, Marcelo Pereira de. **Análise da sustentabilidade ambiental do sistema de classificação das águas doces superficiais brasileiras**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, p. 139-148, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522007000200005>

Rocha, H. M.; Cabral, J. B. P.; Braga, C. C., 2014. **Avaliação Espaço-Temporal das Águas dos Afluentes do Reservatório da UHE Barra dos Coqueiros/Goias**. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 19, 131-142. DOI: 10.21168/rbrh.v19n1.p131-142

SANTOS, G. O.; RIBEIRO, R. L.; PARREIRA, T. P.; SILVA, D. F.; SILVA, K. A.; AZEREDO, C. F. **Monitoramento da água em bacia hidrográfica com diferentes usos do solo no município de Rio Verde (GO)**. *Rev Agronegócio Meio Ambiente*. 12(1):249-271, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n1p249-271>

SCHROEDER, T. A.; COHEN, W. B.; YANG, Z. *Patterns of forest regrowth following clearcutting in western Oregon as determined from a Landsat time-series*. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 243, n. 2/3, p. 259-273, May 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.019>

SILVA, Adriana Maria Cunha; CUNHA, Maristela Casé Costa; LOPES, Denise Vieira. **Qualidade da água como reflexo de atividades antrópicas em bacias hidrográficas do Nordeste, Brasil.** Geosul, v. 34, n. 72, p. 102-123, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p102>.

SILVA, Hernane Teixeira da *et al.* **Avaliação da evolução da qualidade da água superficial na bacia do Rio Pomba, MG, utilizando o índice IQA-CCME.** 2021. Disponível em <http://www.bdtd.uerj.br/handle/1/18738> Acesso em: 18 fev. 2024.

SOBRAL, Maria do Carmo Martins *et al.* **Classificação de corpos d' água segundo a diretiva-quadro da água da união européia–2000/60/CE.** *Brazilian Journal of Environmental Sciences* (Online), n. 11, p. 30-39, 2008. Disponível em https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/416 Acesso em: 18 fev. 2024.

SOUZA, S. O., Folharini, S de O., 2019. **Mapeamento do Uso e Ocupação da Terra do Município de Petrolina (PE) – Médio Vale do Rio São Francisco Através do NDVI de Imagem Landsat 8 (OLI).** *Revista Equador* [online] 2. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26694/equador.v8i2.9204>. Acesso em: 18 fev. 2024.

SHAH, S. M., Liu, G., Yang, Q., Wang, X., Casazza, F. A., Agostinho, F., Giannetti, B. F. **Emergy-based valuation of agriculture ecosystem services and dis-services.** *Journal of Cleaner Production*, 239, 118019, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118019>

TOLEDO, L. G.; Nicoletta G. **Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano.** *Scientia Agrícola* 59, 181- 186, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000100026>

TUNDISI, José Galizia. **Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos.** *Revista USP*, n. 70, p. 24-35, 2006. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i70p24-35>

UDDIN, Md Galal; NASH, Stephen; OLBERT, *Agnieszka I.* **A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality.** *Ecological Indicators*, v. 122, p. 107218, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>

3 ARTIGO 1

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA CORUMBÁ – GOIÁS

Resumo

A água é um recurso essencial para a vida, e barragens são construídas para diversos fins, como abastecimento humano e geração de energia, o que gera impactos ambientais. O Índice de Qualidade da Água (IQA) é uma ferramenta importante para a gestão hídrica, permitindo uma compreensão integrada e comparativa da qualidade da água. Este estudo aplicou o IQA no reservatório e em afluentes da UHE Corumbá, avaliando a qualidade da água em nove pontos de coleta entre julho de 2018 e abril de 2022. Os resultados indicam que a qualidade da água no reservatório varia de boa a ótima, enquanto nos afluentes varia de regular a boa, influenciada por vegetação, desmatamento e diluição ao desaguar no reservatório. A diluição e a sedimentação no ambiente lântico do reservatório reduzem a concentração de poluentes e melhoram a qualidade da água. Portanto, o monitoramento contínuo é crucial para a saúde ambiental e a gestão dos recursos hídricos. Se o principal fator de alteração é o deflúvio associado às chuvas, o reservatório, com seus processos de sedimentação, tende a manter melhores níveis de qualidade da água.

Palavras-chave: Índice de Qualidade da Água (IQA). Recursos hídricos. Usina Hidrelétrica.

Artigo submetido à Revista Geoambiente Online em 30 de janeiro 2024.

3.1. Introdução

A água desempenha um papel fundamental no desenvolvimento e na preservação da vida, sendo insubstituível e indispensável, além de ser um recurso vital utilizado pela sociedade humana para atender às suas necessidades pessoais e atividades econômicas. Segundo Ribeiro *et al.* (2020), a ação humana tem um impacto significativo na degradação da água, devido às atividades promovidas em busca do desenvolvimento econômico de uma área, região ou país.

Neste contexto, Tundisi (1999) destaca que as mudanças na quantidade, distribuição e qualidade dos recursos hídricos representam uma ameaça para a sobrevivência da humanidade e das demais espécies do planeta, assim como para o desenvolvimento econômico e social dos países que dependem fundamentalmente da disponibilidade de água de boa qualidade, assim como da capacidade de conservação e proteção desse recurso.

Pesquisas sobre a qualidade da água são fundamentais, pois essas investigações desempenham um papel crucial na preservação dos recursos hídricos e dos ecossistemas, ao mesmo tempo que são essenciais para a gestão da saúde pública e tomadas de decisão em medidas corretivas e preventivas.

O estudo de barragens se destaca, pois essas estruturas desempenham diversas funções, com destaque para o abastecimento humano e a geração de energia elétrica. Um exemplo relevante é o reservatório da Usina Hidrelétrica de Corumbá, situada no rio Corumbá. Sua construção teve início em 1979, e o lago Corumbá foi formado em 1996 (Medeiros *et al.*, 2017).

De acordo com Furnas Eletrobras (2022), a UHE Usina Hidrelétrica de Corumbá possui um reservatório com a área inundada de 65 km², com comprimento aproximado de 60 km, profundidade média de 23 metros e profundidade máxima de 75 metros. Esses dados ressaltam a importância de monitorar a qualidade da água nessa região, considerando não apenas as necessidades de abastecimento dos municípios e da geração de energia, mas também os impactos ambientais e a saúde pública associados a esse empreendimento.

A UHE Corumbá tem potência instalada de 375 MW e, devido à sua localização estratégica, contribui para o aumento da capacidade energética do sistema interligado das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, beneficiando especialmente o Distrito Federal (Furnas Eletrobras 2022).

O rio Pirapitinga tem o ribeirão Caldas como seu principal afluente e sua nascente na Serra de Caldas Novas, localizada na parte oeste do município. Ele flui em direção leste e deságua na margem direita do rio Pirapitinga. Este rio desempenha um papel de extrema importância no fornecimento de água potável para a população local e, atualmente, sua água desemboca no lago criado pela represa do rio Corumbá para a instalação da Usina Hidrelétrica Corumbá (Biella *et al.*, 2009).

Neste contexto, os índices utilizados para avaliar a qualidade das águas, com base em características físico-químicas e biológicas, constituem uma ferramenta significativa para

acompanhar a qualidade dos corpos hídricos, sendo que os limites de seus parâmetros são definidos por legislação específica (Ribeiro *et al.*, 2020).

Os parâmetros que medem a qualidade da água permitem a identificação do uso dos corpos d'água, revelando como esse uso afeta suas propriedades qualitativas, tendo como finalidade assegurar a proteção da comunidade, sem comprometer a saúde pública (Santos *et al.*, 2018).

Ainda de acordo com Santos *et al.* (2018), o índice de qualidade da água (IQA) tem sido extensamente utilizado para a avaliação de bacias hidrográficas, permitindo a detecção e quantificação dos graus de impacto ambiental causado pelas atividades humanas. Isso reflete na análise de diversos parâmetros que viabilizam a gestão hídrica, incluindo a conformidade com os requisitos legais e a classificação dos corpos d'água.

No Brasil, o Índice de Qualidade da Água (IQA) é considerado o padrão de referência que viabiliza a comparação entre diferentes áreas analisadas. Com base em estudos, esses índices se demonstraram eficientes em diversas regiões do país (Menezes *et al.*, 2018).

Conforme mencionado por Von Sperling (2008), é importante destacar que o IQA não é um instrumento utilizado para avaliar o cumprimento da legislação ambiental. Em vez disso, ele é empregado como uma ferramenta de comunicação, fornecendo ao público informações sobre as condições ambientais de um corpo d'água. Este índice busca transmitir uma visão geral da qualidade da água de forma acessível e compreensível, facilitando o entendimento e conscientização sobre o estado do corpo d'água em questão.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo é aplicar o Índice de Qualidade das Águas (IQA) no reservatório e nos rios tributários da UHE Corumbá, distribuídos em pontos localizados a montante, dentro do reservatório e a jusante. Dado que o reservatório é utilizado para diversas finalidades, este trabalho busca avaliar a qualidade da água e verificar se atende aos padrões normativos estabelecidos para seus diversos usos.

Portanto, a seleção do lago Corumbá como área de estudo justifica-se pela significativa influência que exerce sobre a segurança da saúde da população, a manutenção dos usos múltiplos e sua importância na economia local. A construção desse lago desencadeou mudanças substanciais, incluindo o desenvolvimento de diversos loteamentos em suas proximidades e a criação de diversas opções de lazer, contribuindo, assim, para a geração de empregos nos setores da construção civil e serviços em geral. Além disso, esse tema tem relevância notável no campo da ciência geográfica, uma vez que se conecta a outros estudos já existentes sobre o assunto.

3.2. Área de estudo

A UHE Corumbá está situada no rio Corumbá, localizada entre as coordenadas geográficas de 17°59'21.44" de latitudes S 48°31'54.97" longitude O, no município de Corumbá, no estado de Goiás, a aproximadamente 30 km da cidade de Caldas Novas-GO, na margem direita do reservatório.

A região possui um clima regional classificado como "tropical continental" (A_w , de acordo com a classificação de Köppen (1996)). Este clima é caracterizado por apresentar precipitações durante o verão, que se enquadram no padrão de savana tropical chuvoso, enquanto a estação seca ocorre de abril a outubro. A temperatura média anual na região é de 20,5°C, e a umidade relativa do ar varia de 45%, durante a estação seca, a 85% nos meses úmidos (Furnas Centrais Elétricas S.A. Sondotécnica S.A., 1989).

O rio Corumbá é um afluente do rio Paranaíba, localizado no estado de Goiás. A bacia de drenagem da Usina Hidrelétrica de Corumbá abrange uma área de 27.800 km², e seus principais afluentes incluem os rios do Peixe e Pirapitinga. O rio Pirapitinga, por sua vez, recebe o escoamento de águas residuais de Caldas Novas e os efluentes de um matadouro situado em sua zona de inundação, como afirma Aoyagui *et al.* (2003).

Geologicamente, a área está inserida entre as dobras da orogenia Brasileira, mais precisamente em seu Domínio Interno. Essa região corresponde a um cinturão de dobras neoproterozoicas que se estende ao longo da margem ocidental do Cráton do São Francisco, abrangendo porções dos estados de Tocantins, Goiás e Minas Gerais, como afirma Lunardi (2022).

Costa *et al.* (2011) podem concluir que a região é predominantemente composta por rochas metamórficas pertencentes ao Grupo Paranoá (filitos, quartzitos e metacalcários) e ao Grupo Araxá (composto por diversos tipos de xistos, além de cristas de quartzitos, quartzitos micáceos e quartzos xistos). Essa diversidade caracteriza a presença provável de arenitos e arenitos impuros, os quais estão interdigitados e intercalados com pelitos.

De acordo com Medeiros *et al.* (2017), na região, o bioma cerrado do tipo rupestre é predominante, juntamente com colúvion, campos úmidos, veredas e enclaves de florestas decíduas. No entanto, a exploração do cerrado para a extração de madeira e pecuária fez com que houvesse grandes impactos sobre o meio ambiente e sobre a vida animal na região.

3.3. Materiais e Métodos

A coleta de dados foi realizada no banco de dados de Furnas Eletrobras. As amostras de água foram obtidas com garrafa de Van Dorn, de acordo com os procedimentos de coleta e conservação recomendados por Agudo (1987) e Macêdo (2003), para manter os padrões de higiene e controle de amostragem. Também foram seguidas as orientações do Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água da CETESB (2011) e os métodos de análise laboratorial descritos na 23ª edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). Essas medidas foram adotadas para assegurar a qualidade e integridade das amostras durante o processo de coleta e posterior análise.

As amostras foram coletadas na camada superficial, garantindo a representatividade das condições da água da região. Em campo, uma sonda multiparâmetros modelo *YSI Pro DSS–Clean*, devidamente calibrada, foi utilizada para medir a temperatura da água (°C), turbidez (NTU), potencial hidrogeniônico (pH) e oxigênio dissolvido (mg/L). Em laboratório, foram analisados os parâmetros: coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, fósforo total, turbidez, sólidos totais e oxigênio dissolvido (OD).

Buscando obter diagnóstico detalhado da qualidade da água, foram analisados 09 (nove) pontos distribuídos entre montante (Ponto CRB 10), reservatório (Pontos CRB 20, CRB 25, PRP 15 e STA 20), tributários (Pontos PRP 05, PRP 10 e CRC 10) e jusante (Ponto CRB 40), coletados no período entre julho de 2018 e abril de 2022. Na Tabela 1, estão presentes a nomenclatura dos pontos de amostragem, as coordenadas geográficas e a descrição da localização de cada ponto. A Figura 1 ilustra a localização geográfica desses pontos.

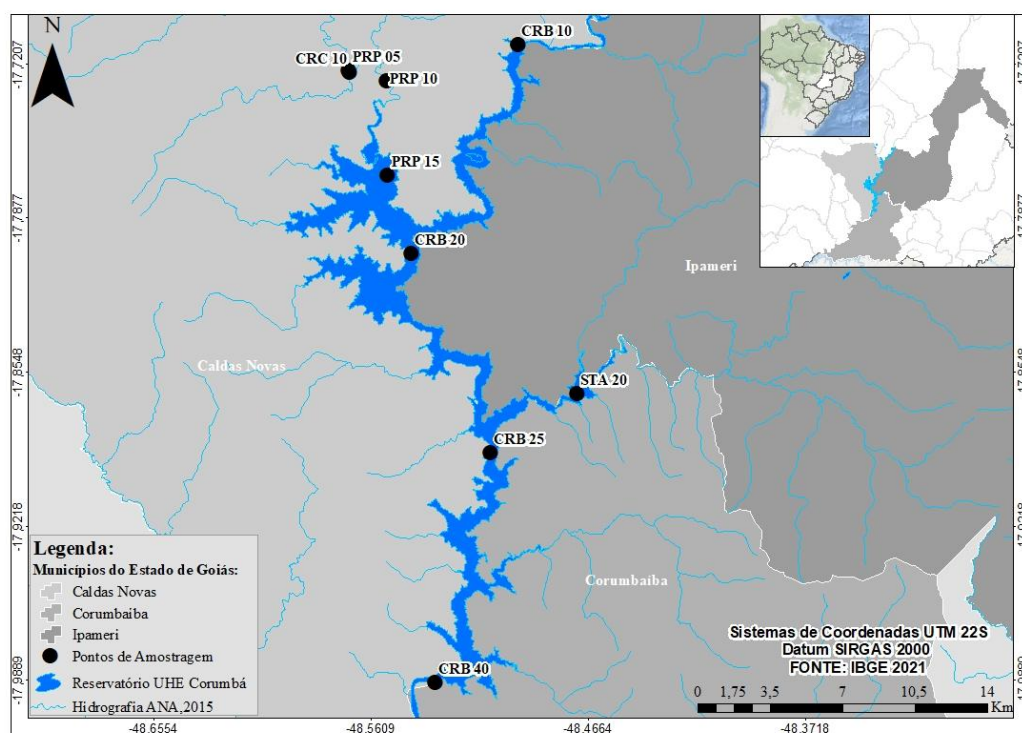
Tabela 1: Relação dos pontos de amostragem, coordenadas e a descrição da localização.

Estação		Latitude (sul)	Longitude (oeste)	Localização
Montante	CRB 10	17°42'48.5"	48°29'51.4"	Ponto alocado no rio Corumbá; principal afluente do reservatório; a montante do Barramento
	CRB 20	17°48'11.0"	48°32'33.7"	Ponto alocado no reservatório a jusante da foz do rio Corumbá, principal rio que deságua do reservatório.
Reservatório	CRB 25	17°53'11.4"	48°30'32.6"	
	PRP 15	17°46'09.0"	48°33'10.0"	No reservatório da UHE Corumbá seguindo o fluxo de chegada do rio Pirapitinga

Estação		Latitude (sul)	Longitude (oeste)	Localização
Tributários	STA 20	17°51'49.0"	48°28'13.3"	Localizado à margem esquerda do reservatório. Próximo ao rio Santo Antônio afluente,
	PRP 05	17°43'24.4"	48°34'11.3"	No rio Pirapitinga, afluente da margem direita do reservatório.
	PRP 10	17°43'35.6"	48°33'08.1"	No rio de Caldas, afluente do rio Pirapitinga.
	CRC 10	17°43'31.3"	48°34'12.1"	
Jusante	CRB 40	17°59'21.9"	48°31'55.6"	A Jusante do barramento da UHE Corumbá

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Figura 1: Mapa de localização dos pontos de amostragem.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para calcular o Índice de Qualidade da Água (IQA), foram examinados os seguintes parâmetros, conforme especificado na Resolução n.º 357/2005 do Conama (ANA, 2005): oxigênio dissolvido (OD), coliformes termotolerantes, pH (potencial hidrogeniônico), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitratos, fosfatos, turbidez, sólidos totais e temperatura da água, cada um com seu respectivo peso (w), determinado com base em sua relevância para a avaliação geral da qualidade da água, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivo peso.

PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA	PESO (w)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO 5,20	0,10
Temperatura da água	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08

Fonte: Agência Nacional de Águas (2023).

A fórmula utilizada para calcular o Índice de Qualidade da Água (IQA) é por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros, conforme expresso na seguinte equação:

$$IQA = \prod_{i=0}^9 q_i^{w_i}$$

onde:

IQA = Índice de Qualidade da Água. Um valor entre 0 e 100;

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro. Um valor entre 0 e 100, obtido a partir do gráfico de qualidade correspondente, relacionado à concentração ou medição do parâmetro (resultado da análise);

w_i = peso atribuído ao i -ésimo parâmetro, determinado com base em sua importância para a avaliação global da qualidade da água. É um valor entre 0 e 1, de modo que:

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

Sendo n o número de parâmetros considerados no cálculo do IQA.

Os valores do IQA são classificados em diferentes faixas, que variam de acordo com os Estados brasileiros, conforme segue na Tabela 3.

Tabela 3: Classificação do IQA – CETESB.

Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS	Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP	Categoria
91-100	80-100	ÓTIMA
71-90	52-79	BOA
51-70	37-51	REGULAR
26-50	20-36	RUIM
0-25	0-19	PÉSSIMA

Fonte: Agência Nacional de Águas (2023).

Os resultados das análises das variáveis limnológicas e do Índice de Qualidade da Água foram tabulados em planilhas eletrônicas utilizando-se o *software Microsoft Excel®* (Microsoft 360), a fim de organizar as informações e identificar possíveis erros de digitação, erros laboratoriais e falhas nas séries de dados. Para facilitar a compreensão de diversos aspectos do sistema em estudo, os dados foram submetidos a análises estatísticas com o uso do *software Statistica®* (*data analysis software system*), versão 6.0.

Foi realizada a exploração dos dados por meio da Estatística Descritiva Básica, que apresenta os parâmetros clássicos, tais como: número total de amostras (n), valores mínimo e máximo; e medidas de tendência central, como a média (\bar{x}) e mediana (Md), bem como o desvio padrão (s), que é uma medida de dispersão.

Para avaliar diferenças estatisticamente significativas entre os grupos amostrais, foi selecionado o Teste de *Kolmogorov-Smirnov* (KS) modificado por Lilliefors, que compara o quão próximo os dados amostrais estão de uma distribuição de probabilidade de referência para um universo amostral maior ou igual a 50. Esse teste foi escolhido devido à distribuição não normal dos dados coletados. Coeficiente de Correlação de *Spearman* é uma técnica estatística não paramétrica que permite comparar duas amostras pareadas ou independentes. No presente estudo, efetuou-se a Correlação de *Spearman* entre o Índice de Qualidade da Água e os parâmetros: coliformes termotolerantes, Fósforo total, Nitrogênio total, temperatura da água, Oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio e da água, potencial hidrogeniônico, Oxigênio dissolvido e turbidez.

Após a verificação da normalidade dos dados e do cálculo do coeficiente de correlação com os principais parâmetros, foram elaborados os gráficos do tipo Diagrama de Caixa (*Box-Plot*), juntamente com a aplicação do Teste de *Kruskal-Wallis*, para observar a variação dos dados no Tempo (anos e campanhas de amostragem) e Espaço (áreas no entorno do reservatório e estações de coleta).

3.4. Resultados e Discussões

O IQA, originalmente desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF), dos Estados Unidos, adaptado no Brasil pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), do estado de São Paulo, é obtido a partir do produto ponderado dos seus nove parâmetros.

Para este estudo, foi calculado o IQA de 09 pontos, totalizando 144 amostras, utilizadas para avaliar a qualidade da água na área sob a influência da UHE Corumbá no período de 2018 a 2022 nas nove estações de coleta.

Na Tabela 4, são apresentados os valores do IQA em cada estação de coleta durante o período de estudo. Seus valores variaram de 39,4 a 89,0 (Md= 75,0), enquadrando a área entre as categorias regular a ótima, segundo a Agência Nacional de Águas (2023). De modo geral, os resultados indicaram uma melhor qualidade da água do reservatório.

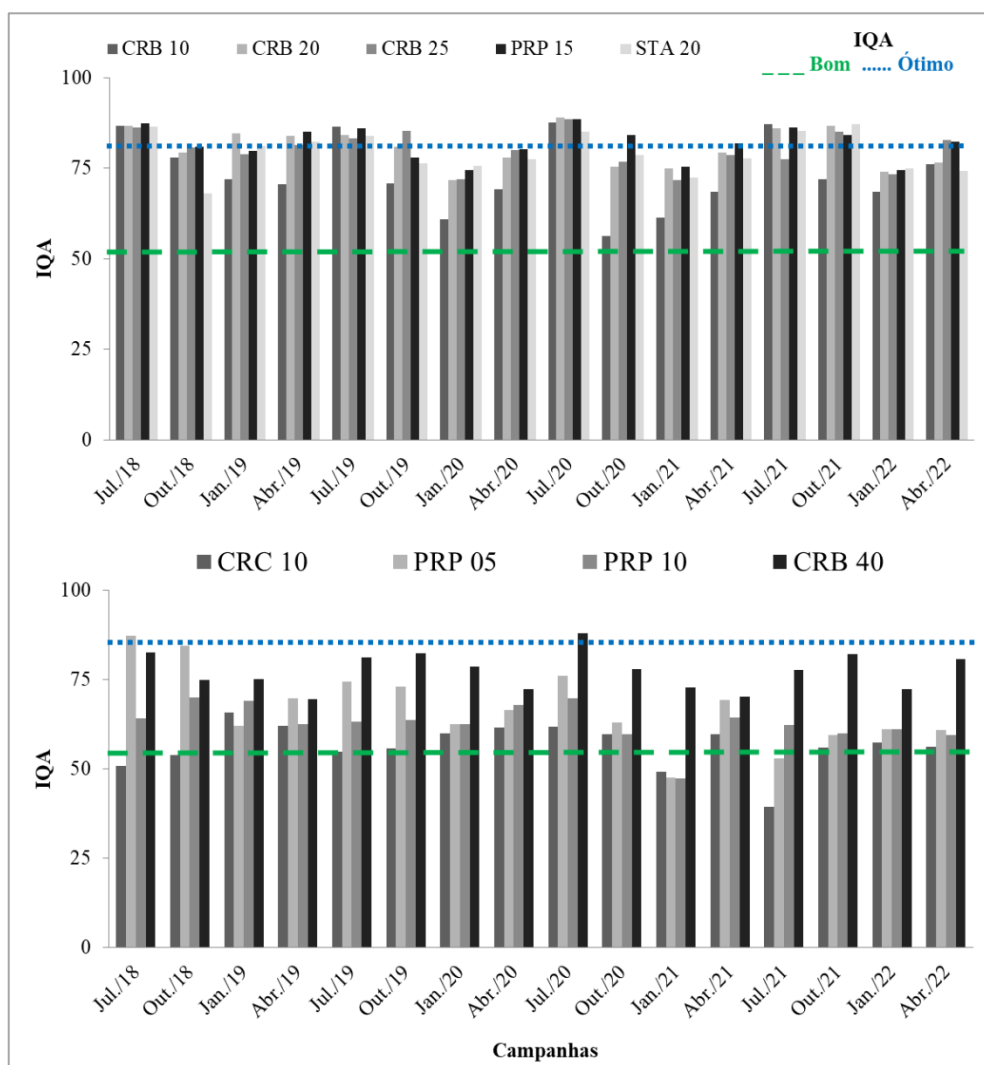
Tabela 4: Resultados e Classificação do Índice de Qualidade da Água.

Estação	Montante		Reservatório			Tributários			Jusante
	CRB 10	CRB 20	CRB 25	PRP 15	STA 20	CRC 10	PRP 05	PRP 10	CRB 40
Jul./18	87	87	86	87	87	51	87	64	83
Out./18	78	79	81	81	68	54	85	70	75
Jan./19	72	85	79	80	81	66	62	69	75
Abr./19	71	84	81	85	82	62	70	63	70
Jul./19	86	84	83	86	84	55	74	63	81
Out./19	71	81	85	78	76	56	73	64	82
Jan./20	61	72	72	75	76	60	63	63	79
Abr./20	69	78	80	80	78	62	67	68	72
Jul./20	88	89	88	89	85	62	76	70	88
Out./20	56	75	77	84	79	60	63	60	78
Jan./21	61	75	72	75	72	49	48	47	73
Abr./21	68	79	79	82	78	60	69	64	70
Jul./21	87	86	78	86	85	39	53	62	78
Out./21	72	87	85	84	87	56	59	60	82
Jan./22	68	74	73	75	75	57	61	61	72
Abr./22	76	77	83	82	74	56	61	59	81
Qualidade de água			REGULAR (37-51)			BOA (52-79)		ÓTIMA (80-100)	

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os pontos localizados a montante, no reservatório, a jusante e em alguns pontos nos tributários se revelaram como ambientes de águas entre boas e ótimas. Eles são, de fato, ambientes preservados que mantêm características naturais para esse tipo de água. Isso destaca a importância de se implementar políticas de proteção para esses ambientes, especialmente considerando a intensa pressão sobre os recursos hídricos.

Figura 2: Variação do Índice de Qualidade da Água (IQA) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022, com destaque para as categorias de água Boa e Ótima.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

É válido ressaltar que os pontos CRC10, PRP05 e PRP10 foram os únicos a apresentar qualidade de água regular, especialmente nas campanhas realizadas em julho de 2018, janeiro de 2021 e julho de 2021 (Figura 2). Observa-se que esses períodos coincidem com a estação chuvosa, o que sugere uma correlação entre a qualidade da água e o volume de precipitação. Durante a estação chuvosa, o escoamento superficial pode transportar maiores quantidades de poluentes para os corpos d'água, impactando negativamente a sua qualidade. Portanto, a variação na qualidade da água pode estar associada ao aumento do fluxo de água e ao transporte de contaminantes durante as chuvas. O rio Pirapitinga recebe o escoamento de águas residuais de Caldas Novas, além dos efluentes de um matadouro localizado em sua zona de inundação, conforme afirmam Aoyagui *et al.* (2003).

A classificação como regular nesses pontos surgiu devido à discrepância nos resultados encontrados nas áreas urbanas de Caldas Novas, principalmente nos meses de férias escolares, quando há um aumento significativo no turismo da região, atraído pelas águas termais. Esse aumento no turismo pode resultar em uma maior descarga de esgotos e outras fontes pontuais de poluição, contribuindo para a deterioração da qualidade da água. Além disso, durante o período de estiagem, o menor volume de água nos rios reduz a capacidade de diluição dos efluentes, agravando ainda mais a situação. Assim, o rio, com menor volume de água, recebe uma carga maior de efluentes, o que compromete a qualidade da água e resulta na classificação regular observada.

O Complexo Termal de Caldas Novas, localizado no Planalto Central Brasileiro, ganha destaque por ser reconhecido como a maior estância hidrotermal do mundo sem associação com magmatismo (Colto *et al.*, 2020).

Valores elevados de coliformes termotolerantes influenciam negativamente nos resultados gerais. Assim, é possível concluir que, quanto mais elevados são os valores desses parâmetros medidos na cidade, menor é o Índice de Qualidade da Água (IQA), como concluem Lages *et al.* (2023).

Mesmo diante do panorama que sugere a boa e ótima qualidade das águas do reservatório de Corumbá, uma análise detalhada da composição da pontuação que compõe o Índice de Qualidade da Água (IQA), considerando o peso de cada parâmetro, revela fragilidades.

Essas fragilidades apontam para parâmetros específicos e, por conseguinte, para possíveis fatores ambientais que comprometem a obtenção da pontuação máxima em qualidade da água. Portanto, os dados indicam a necessidade de desenvolver diretrizes específicas para as atividades que são realizadas nas proximidades dos cursos d'água analisados, visando atenuar os impactos causados pelos coliformes termotolerantes e pelo fósforo. Com isso, a construção e manutenção de estações de tratamento de esgoto eficientes são fundamentais para reduzir a carga de poluentes lançados nos corpos d'água. Além disso, é crucial promover a educação ambiental entre os moradores e turistas, conscientizando-os sobre a importância do descarte adequado de resíduos e a preservação dos recursos hídricos.

A estatística descritiva organizou o conjunto de dados para apresentar os principais descritores de cada parâmetro, ou seja, os valores mínimos e máximos, as medidas de tendência central (mediana e média), bem como o desvio-padrão, que é uma medida de dispersão (Tabela

5). A apresentação dos resultados e a discussão deles serão feitas no item relativo a cada parâmetro.

Tabela 5: Estatística Descritiva Básica dos principais parâmetros da água na UHE Corumbá no período de 2018 a 2022.

Parâmetros limnológicos (n=44)	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio padrão
Índice de qualidade da água	39,4	89,0	75,0	73,2	10,8
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	1,0	2419,6	6,3	588,5	964,5
Potencial Hidrogeniônico	6,4	10,1	7,5	7,5	0,6
Demanda Bioquímica do oxigênio (mg/L)	2,0	36,2	2,0	3,0	3,5
Nitrogênio total (mg/L)	1,4	56,0	7,6	10,4	9,6
Fósforo total (mg/L)	0,01	1,48	0,02	0,10	0,24
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	4,7	9,2	7,2	7,2	0,8
Temperatura da água (°C)	17,5	31,6	26,6	25,7	3,0
Sólidos (mg/L)	20	640,7	20	31,6	59,6
Turbidez (UNT)	1,0	279,8	8,4	18,9	39,8

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A comparação da média com a mediana sempre fornece uma medida da assimetria da distribuição dos dados. Por ser suscetível aos valores extremos, a média, normalmente, só é utilizada quando os dados estão dispostos de forma homogênea. Já a mediana representa o valor do meio no conjunto de dados, sendo menos influenciada por valores extremos e comumente adotada quando os dados são apresentados de forma heterogênea (Vieira, 2021). Portanto, no presente trabalho, a mediana foi selecionada como medida de tendência central devido aos valores muito discrepantes (outliers) da maioria dos parâmetros analisados.

O tratamento estatístico contemplou a verificação da normalidade dos dados, correlação do IQA com as variáveis limnológicas e a verificação de diferenças significativas no tempo (anos e campanhas) e no espaço (áreas no entorno do reservatório e as estações de coleta). Os valores do IQA foram correlacionados com as variáveis para identificar as associações mais expressivas dentro da área de estudo.

Existem diversos tipos de correlação, bem como diferentes coeficientes a serem utilizados, alguns assumindo a normalidade amostral, outros não. Sendo assim, primeiramente, foi necessário analisar a distribuição amostral do IQA e de todos os parâmetros através do Teste de *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) modificado por *Lilliefors*, conforme já descrito na metodologia. O teste de normalidade revelou, em um nível de confiança de 95% e um grau de significância de 0,05, que os dados não seguem uma distribuição normal.

Uma vez constatada a não normalidade dos dados, foram selecionados o Teste de Correlação de *Spearman*, para verificar a associação entre as variáveis, e o Teste não paramétrico de *Kruskall-Wallis*, para comparar três ou mais amostras independentes, indicando se há diferença entre pelo menos dois deles. A aplicação do teste utiliza os valores numéricos transformados em postos e agrupados num só conjunto de dados.

A Tabela 6 apresenta a correlação do Índice de Qualidade da Água com os principais parâmetros, assim como a intensidade de cada correlação (Fraca, Moderada ou Forte). O IQA teve uma correlação negativa com os coliformes termotolerantes (-0,90), turbidez (-0,74), fósforo total (-0,61), DBO (-0,33), nitrogênio total (-0,15) e sólidos (-0,48); e positiva com o oxigênio dissolvido (0,22) e pH (0,22). Associando os maiores valores dos coeficientes de correlação (>0,5) e o mais alto nível de intensidade (>0,5), observa-se que os parâmetros que mais se destacaram na área de estudo nas campanhas de 2018 a 2022 foram os coliformes termotolerantes, turbidez e fósforo total.

De maneira geral, os resultados encontrados para o coeficiente de correlação indicaram que valores de (ρ) acima de -0,61 apontam para uma forte influência das variáveis no meio estudado e que valores de (ρ) entre -0,22 e -0,48 representam influência moderada. Valores abaixo de -0,15 denotam baixa influência que as variáveis exercem no sistema.

Tabela 6: Coeficiente de *Spearman Rhô* (ρ) e Intensidade da Correlação entre o Índice de Qualidade da Água e os parâmetros limnológicos na área sob a influência da UHE Corumbá.

Parâmetros limnológicos	Coeficiente de Correlação (ρ)	Intensidade da correlação (Cohen, 1992)
Coliformes termotolerantes	-0,90	Forte
Turbidez	-0,74	
Fósforo total	-0,61	
DBO	-0,33	Moderada
Oxigênio Dissolvido	0,22	
pH	0,22	
Sólidos suspensos fixos	-0,48	
Sólidos suspensos voláteis	-0,37	Fraca
Nitrogênio total	-0,15	
Temperatura da água	-0,01	Desprezível

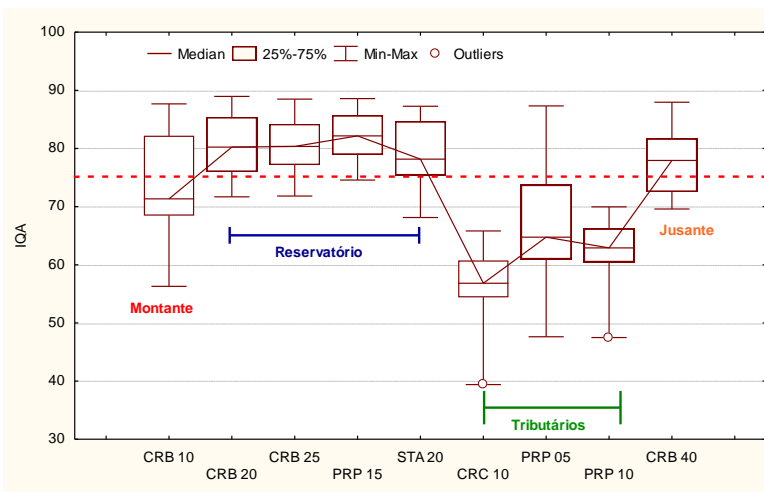
Legenda: valores em destaque (negrito) representam correlação significativa ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

De acordo com Felix *et al.* (2023), a propensão para acentuação das concentrações de fósforo pode, nesta situação, estar associada ao escoamento superficial das regiões onde não há tratamento de esgoto, nos municípios, assim como presença de atividades agropecuárias.

Nos trechos mencionados, uma porção da vegetação natural foi transformada em pastagem devido às práticas econômicas relacionadas à agricultura e à pecuária extensiva (Carvalho *et al.*, 2008). Visto que essas regiões são identificadas pela alta concentração de nutrientes no solo, esses elementos têm a possibilidade de serem lixiviados para os leitos dos rios.

Figura 3: Box-plot do Índice de Qualidade da Água (IQA) das Estações de coleta nas Áreas a Montante, Reservatório, Tributários e a Jusante no período de 2018 a 2022.

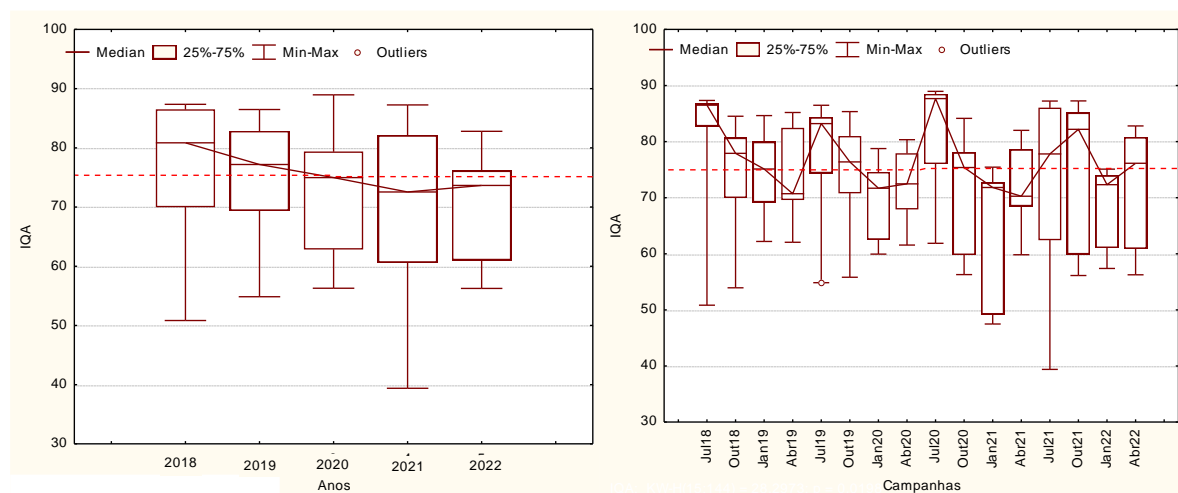


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Com relação à variação temporal do IQA (Figura 3 e 4), não foi evidenciada diferença significativa entre os anos ($p > 0,05$), mas sim entre as campanhas de amostragem ($p < 0,05$). Isso indica que, embora a qualidade da água tenha se mantido relativamente constante de ano para ano, há variações significativas em períodos específicos de amostragem.

Essas variações temporais podem ser atribuídas a fatores sazonais e às atividades humanas que ocorrem em diferentes épocas do ano. Por exemplo, nos meses de férias escolares, há um aumento significativo do turismo em Caldas Novas, o que resulta em uma maior descarga de esgotos e outras fontes pontuais de poluição. Esse aumento de poluentes é mais relevante durante os períodos de estiagem, quando o menor volume de água reduz a capacidade de diluição dos efluentes, resultando em uma piora na qualidade da água.

Figura 4: *Box-plot* do Índice de Qualidade da Água (IQA): (A) Anos; (B) Campanhas de amostragem no período de 2018 a 2022.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Similarmente aos resultados apresentados por Borges (2009), o escoamento superficial pode ter desempenhado um papel significativo nesse processo, facilitando a entrada de contaminantes de origem fecal e carga orgânica, além de aumentar o volume de água. Isso, por sua vez, levou à perturbação do leito do corpo d'água e à ressuspensão de partículas, resultando em níveis elevados de turbidez, sólidos suspensos e demanda bioquímica de oxigênio.

Rabelo *et al.* (2009), ao investigarem a qualidade da água em bacias localizadas no bioma cerrado e sujeitas a diferentes tipos de uso do solo, constataram que, quanto maior o grau de preservação da bacia, melhor a qualidade da água.

Lopes *et al.* (2008) apontam que uma avaliação abrangente da qualidade dos corpos d'água não deve se limitar apenas aos resultados do IQA. Esse índice considera apenas os parâmetros que afetam as propriedades organolépticas, o equilíbrio ecológico (por exemplo, eutrofização) e os riscos sanitários imediatos. No entanto, substâncias como hidrocarbonetos tóxicos e metais pesados também devem ser consideradas, uma vez que podem ocorrer em concentrações prejudiciais à saúde e ao bem-estar dos organismos vivos, mesmo em águas com IQA dentro da faixa considerada ideal.

No estudo realizado por Peres (2012), a qualidade da água do rio São Francisco foi avaliada entre os municípios de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), imediatamente após a Usina Hidrelétrica de Sobradinho. O estudo ressaltou a importância do monitoramento do pH, uma vez que esse parâmetro faz parte do cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA) e é

considerado o terceiro mais relevante, com um peso de 0,12. Embora os valores de pH tenham se mantido dentro dos limites regulamentados, foi observada uma alteração na qualidade da água nos trechos a montante das cidades, entre elas e a jusante. Nesses trechos, os resultados do IQA classificaram a qualidade da água como "Boa" e "Ótima", seguida de "Boa" e "Péssima", e novamente "Boa" e "Ótima", indicando queda na qualidade da água na área de maior influência das regiões urbanas.

3.5. Conclusões

A construção do reservatório da Usina Hidrelétrica de Corumbá teve como principal objetivo aumentar a produção de energia elétrica para atender às necessidades da capital do País. No entanto, as águas do reservatório são utilizadas para múltiplos fins, incluindo atividades recreativas, que merecem destaque.

Em síntese, os resultados do IQA apontam que as águas do reservatório possuem qualidade boa e ótima, diferente do que foi observado nos tributários, que demonstraram variação da qualidade de regular a boa na maioria dos pontos. As análises estatísticas não evidenciaram diferenças significativas entre os anos, mas sim entre as campanhas de amostragem. Os resultados podem ser explicados pela existência de vegetação e pelo efeito de diluição causado pela contribuição de afluentes ao longo do curso do rio. Além disso, a sazonalidade climática desempenha um papel crucial nessas variações. Durante os períodos de chuvas intensas, ocorre maior escoamento superficial, o que pode transportar poluentes para os cursos d'água, afetando temporariamente a qualidade da água. Em contrapartida, na estação seca, o menor volume de água nos rios reduz a capacidade de diluição dos poluentes, resultando em concentrações mais elevadas de contaminantes nos tributários. Essa sazonalidade influencia significativamente as campanhas de amostragem, evidenciando a necessidade de monitoramento contínuo e a implementação de estratégias de gestão hídrica adaptativas que considerem essas variações sazonais, para garantir a manutenção da qualidade da água.

As atividades humanas na região analisada do corpo d'água apresentam indícios de terem causado aumento nos níveis de matéria orgânica, especialmente no ponto CRC 10, localizado às margens do rio de Caldas, próximo ao município de Caldas Novas, em Goiás.

Já em relação aos pontos PRP05 e PRP10, até o momento, o impacto do córrego de Caldas, no rio Pirapitinga, não provocou alterações em suas características, mantendo sua classificação pelo IQA como boa e ótima em quase todos os meses analisados, e a classificação

como ruim em janeiro, que é um mês de muita incidência de chuva. Portanto, a classificação da qualidade da água no rio Pirapitinga não é consistente e não define um padrão que afete uniformemente a bacia de drenagem em que está inserido.

Fica como proposta uma complementação dos estudos, onde se propõe fazer análise dos resultados considerando a classificação dos valores de IQA de outros estados, como Minas Gerais - o que é considerado regular em Goiás poderia ser enquadrado como ruim em Minas Gerais. Esta consideração destaca a importância de contextos regionais na avaliação da qualidade da água, sugerindo que os critérios de classificação podem variar significativamente entre diferentes locais. Portanto, é essencial adotar uma abordagem contextualizada ao interpretar os resultados do IQA, levando em conta as especificidades ambientais e socioeconômicas de cada região.

Essas inconsistências reforçam a complexidade do processo de variação na qualidade das águas, o qual está sujeito à imprevisibilidade das precipitações e à descarga de poluentes difusos e fontes pontuais. Por isso, é recomendável manter o monitoramento ambiental contínuo e a avaliação da qualidade da água.

Este estudo destaca a relevância de monitoramentos contínuos realizados pelas empresas de concessão de energia. A observação a longo prazo da evolução da qualidade da água, seja por meio de recursos internos ou por meio de acordos colaborativos, possibilita identificar causas, como a descarga de esgotos e fontes pontuais de poluição, sazonalidade climática e impacto da atividade humana. As responsabilidades associadas incluem o planejamento e a implementação de medidas de saneamento, monitoramento contínuo e adaptativo, educação e conscientização, fiscalização e regulamentação, e recuperação de áreas degradadas para mitigar a degradação da qualidade ambiental do reservatório.

Além disso, este estudo se alinha diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 14 (Vida na Água) e ODS 15 (Vida Terrestre). Ao abordar questões de qualidade da água, uso sustentável do solo e impactos ambientais, contribui para a promoção de práticas sustentáveis que são fundamentais para alcançar esses objetivos globais de desenvolvimento sustentável.

3.6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio de Furnas Eletrobras, por meio de uma parceria com o IFMG, que disponibilizou os dados para execução do estudo.

3.7. Referências Bibliográficas

AGUDO, E. G. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1987. 150p.

APHA, Awwa. Wpcf. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, Washington. 2012.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil. Brasília: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos**, 2005. Disponível em: https://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA_DA_QUALIDADE_DAS_AGUAS.pdf . Acesso em: 15 jan. 2024.

AOYAGUI, A. S. M. *et al.* **Estrutura e dinâmica dos rotíferos no reservatório de Corumbá, Estado de Goiás, Brasil**. Acta Scientiarum, v. 25, n. 1, p. 31-39, 2003. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v25i1.2079> .

BIELLA, C. A.; Costa, R. A. **Análise da qualidade ambiental das nascentes urbanas de Caldas Novas – GO**, 2009. Disponível em <http://200.199.231.226/portal/publicacao/arqprof/artigo2.pdf> . Acesso em: 10 out. 2023.

BORGES, D.V.C. **Avaliação da qualidade da água e ocorrência de cianobactérias do ribeirão do Funil, Ouro Preto-MG**. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2009. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/3308.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2024.

CARVALHO, F.A.; Rodrigues, V.H.P.; Kilca, R.V.; Siqueira, A.S.; Araújo, G.M.; Schiavini, I. **Composição florística, riqueza e diversidade de um cerrado sensu stricto no sudeste do estado de Goiás**. *Bioscience Journal*, v.24, n.4, 2008. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6769>. Acesso em: 12 jan. 2024.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. 1. ed. Brasília: Athalaia, 2011. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Guia-nacional-de-coleta-e-preservacao-de-amostras-2012.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2024.

COUTO JR., A.A. **Geocronologia, taxas de denudação e evolução do relevo na região de Caldas Novas-Rio Quente, sudeste de Goiás, durante o Cenozóico**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. 117 p, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/192562>. Acesso em: 13 jan. 2024.

COSTA, R. A.; Nishiyama, L. **Caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados das áreas urbana e de expansão urbana da cidade de Caldas Novas (GO)**. Revista Geoaraguaia,

v. 1, n. 2, p. 40-51, 2011. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4025598> . Acesso em: 10 jan. 2024.

COHEN, J. *Statistical power analysis. Current directions in psychological science*, Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 1, n. 3, p. 98–101, 1992. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/20182143> Acesso em: 10 jan. 2024.

DA SILVA Lages, A. *et al.* **Índice de Qualidade de Água (IQA) para ambientes amazônicos usando estatística multivariada.** *Peer Review*, v. 5, n. 11, p. 306-323, 2023. DOI: <https://doi.org/10.53660/593.prw1607>.

FÉLIX, E. A. *et al.* **Índice de Qualidade da Água (IQA) Como Indicador de Vulnerabilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica o Rio Cabaçal–MT.** *Revista Georaguaia*, v. 13, n. Especial, p. 87-106, 2023. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/15276> Acesso em: 03 jan. 2024.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.; Sondotécnica S.A. **Estudos de avaliação de impacto ambiental – EIA.** Rio de Janeiro. (Relatório). *biomass and structure of phytoplankton in large rivers. Arch. Hydrobiol. Suppl., Stuttgart*, v. 113, no.1-4, p.161-187, 1989.

FURNAS ELETROBRAS, 2022. Disponível em: <https://www.furnas.com.br/subsecao/118/usina-de-corumba?culture=pt> Acesso em: 08 abr. 2023.

LOPES, F.B.; Teixeira, A.S.; Andrade, E.M., Aquino, D.N.; Araújo, F.L.P. **Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e geoprocessamento.** Fortaleza, CE: UFC/CCA. 19 p, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1953/195317435019.pdf> Acesso em: 07 jan. 2024.

LILLIEFORS, H. W. *On the kolmogorov-smirnov test for normality with mean and variance unknown.* *Journal of the American statistical Association, Taylor & Francis*, v. 62, n. 318, p. 399–402, 1967.

KÖEPPEN, W.. **Sistema geográfico dos climas.** Trad. Antônio C. de Barros Corrêa. Série B: Textos Didáticos, n. 13, 1996.

LUNARDI, M. **Estudo geoquímico das águas do Complexo Termal de Caldas Novas (GO), Brasil,** 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/217788> . Acesso em: 07 jan. 2024.

Macêdo, J. A. B. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas.** 2. ed. Belo Horizonte: CRQ/MG. 601p., 2003.

MEDEIROS, B. R. S., Oliveira, H. A. **Os impactos socioambientais no turismo: o caso do lago Corumbá em Caldas Novas (GO).** Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade da Universidade Estadual de Goiás (PPGAS/UEG) – Campus Morrinhos–09 a, v. 12, 2017. Disponível em: <https://anais.ueg.br/index.php/sias/article/view/12016> . Acesso em: jan. 2024.

MENEZES, J.M.; Sabino, H.; Cristo, V.; Prado, R.B.; Lima, L.A.; Di Lulo, L.B.; JR, G.C.S. **Comparação entre os Índices de Qualidade de Água Cetesb e Bascarán.** Anuário do instituto de geociência, V. 41, n.1, p. 194-202, 2018. DOI: https://doi.org/10.11137/2018_1_194_202.

PERES, J. M. **Avaliação da qualidade da água do rio São Francisco nos municípios de Petrolina - PE e Juazeiro – BA.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 96 p., 2012. Disponível em:< <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/18403> >Acesso em: out. 2023.

RABELO, C. G.; Ferreira, M. E.; Araújo, J. V. G.; Stone, L. F.; Silva, S. C.; Gomes, M. P. **Influência do uso na qualidade da água no bioma Cerrado: um estudo comparativo entre bacias hidrográficas no estado de Goiás, Brasil.** Revista Ambiente e Água, v. 4, n. 2, p. 172-187, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.96>.

RIBEIRO, N.U.F.; Bega, J.M.M.; Carvalho, S.L. **Índice de qualidade das águas no rio Paraná, Aparecida do Taboado - MS, Brasil: dados preliminares.** Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v.8, n.64, p.101-116, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17271/2318847286420202571>.

RIBEIRO, H. M. C. *et al.* **Índice do Estado Trófico (IET) em águas amazônicas: baía do Marajó e baía do Guajará.** *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, p. e547997376-e547997376, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7376>.

SANTOS, R. C. L. *et al.* **Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da bacia costeira do Sapucaia em Sergipe.** Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.23, n.1, p. 33-46, jan./fev., 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017159832>.

SPEARMAN, C. ***The Proof and Measurement of Association Between Two Things.*** In J. J. Jenkins & D. G. Paterson (Eds.), *Studies in individual differences: The search for intelligence.* Appleton-Century-Crofts. pp. 45–58, 1961 <https://doi.org/10.1037/11491-005>

VIEIRA, S. **Bioestatística.** 296 p. 2021. Editora: GEN Guanabara Koogan.

TUNDISI, J. G. *et al.* ***Theoretical basis for reservoir management.*** In: Tundisi, J. G.; Straskraba, M. (Ed.) *Theoretical reservoir ecology and its applications.* s. l.: IIE, BAS, Backhuys Publishers. p.505-28, 1999.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

4 ARTIGO 2

ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO RESERVATÓRIO DA USINA HIDRELÉTRICA CORUMBÁ – GOIÁS

RESUMO

A intensificação das atividades humanas sem preocupação ambiental exerce pressão sobre os recursos hídricos, comprometendo a qualidade da água devido ao uso inadequado do solo, poluição e desmatamento. Práticas sustentáveis e monitoramento contínuo são essenciais para garantir a disponibilidade de água potável e a saúde dos ecossistemas aquáticos. Este estudo teve como objetivo identificar o perfil de uso e analisar as alterações no uso do solo nos três municípios que mais influenciam o reservatório da UHE Corumbá. Para alcançar o objetivo, utilizaram-se dados do MapBiomas, realizando-se uma reclassificação segundo a demanda da pesquisa. Além disso, foram analisados os mapas elaborados a partir de dados da Coleção 8 do MapBiomas e processados no ArcGIS, para o levantamento do uso do solo de 1992 a 2022 nos municípios de Corumbá, Caldas Novas e Ipameri. Os resultados foram reclassificados em cinco categorias principais. Verificaram-se uma redução significativa na área florestal e um aumento expressivo na agricultura e expansão urbana. A pesquisa destaca a importância do entendimento e do uso sustentável do solo na região da UHE Corumbá, ressaltando a eficácia do MapBiomas na análise do uso do solo. Enfatiza, também, a necessidade de medidas para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos para as gerações futuras.

Palavras-chave: Recursos hídricos; Qualidade da água; Sustentabilidade; MapBiomas e Expansão urbana.

Artigo submetido à *Élisée* - Revista de Geografia da UEG. Em 18 de março 2024.

4.1. Introdução

Os recursos hídricos têm grande importância como fornecedores essenciais de serviços ambientais fundamentais, contribuindo para o desenvolvimento econômico, a preservação ambiental e a melhoria da qualidade de vida. A variedade de utilizações dos recursos hídricos possibilita uma diversidade de atividades, tais como recreação, agricultura,

consumo humano, transporte, abastecimento industrial, produção de energia, entre outras (Uprety *et al.*, 2019).

Neste cenário, a expansão urbana, aliada ao crescimento econômico e populacional, aumenta a busca por recursos naturais. De acordo com Sotto *et al.* (2019), a sustentabilidade é um elemento crucial no planejamento urbano, representando simultaneamente uma meta, um processo e um objetivo coletivo, permeado por particularidades e diversos interesses locais. Guimarães *et al.* (2021) afirmam que a configuração dos espaços urbanos envolve o planejamento e preservação de vários ecossistemas presentes em uma cidade, abrangendo aspectos físicos, econômicos, ambientais e sociais.

O mapeamento do uso e ocupação do solo contribui para a tomada de decisões na preservação das bacias hidrográficas, no planejamento territorial e no monitoramento do uso sustentável e legal dos recursos naturais (Pereira *et al.*, 2016). É uma ferramenta essencial para compreender padrões ambientais, uma vez que o uso inadequado do solo acarreta impactos diretos no meio ambiente. Isso inclui impermeabilização do solo, poluição de corpos hídricos, alterações nas vazões e no balanço hídrico de bacias hidrográficas, ocorrência de erosões, exploração inadequada de recursos naturais, desmatamento e até emissão de gases de efeito estufa (Trindade *et al.*, 2021).

Oliveira *et al.* (2021) apontam que a análise e investigação dos cenários de uso e ocupação do solo e a identificação de tendências auxiliam na compreensão de seu comportamento e permitem antecipar situações e efeitos qualitativos e quantitativos futuros.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi identificar o perfil de uso e analisar as alterações no uso do solo nos três municípios que mais influenciam o reservatório da UHE Corumbá.

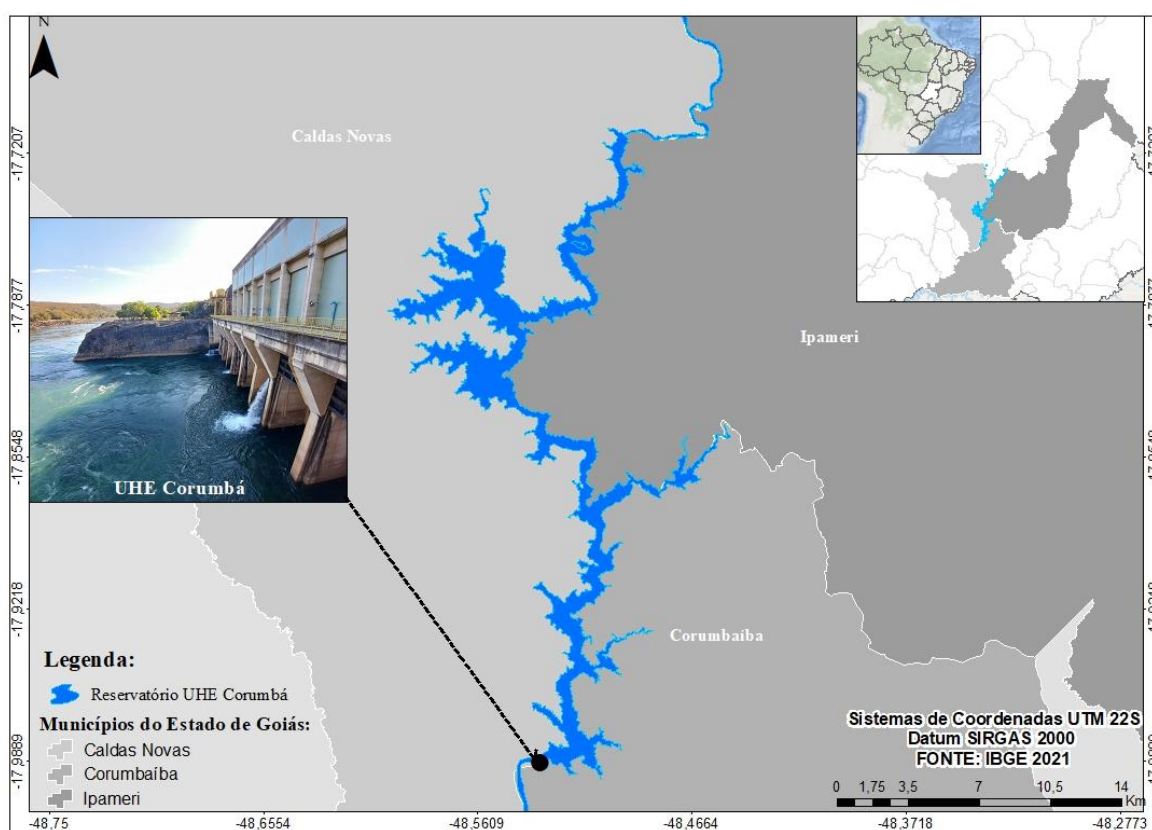
A escolha do lago Corumbá como área de estudo para esta pesquisa é justificada pela sua significativa influência sobre a economia local e pela sua crucial disponibilidade hídrica. O lago desempenha um papel vital no fornecimento de água para consumo humano, irrigação agrícola, atividades industriais e turismo, sendo um recurso essencial para a sustentabilidade econômica e ambiental da região.

A construção desse lago desencadeou mudanças substanciais, como o desenvolvimento de diversos loteamentos próximos e a criação de opções de lazer, contribuindo para a geração de empregos nos setores da construção civil e serviços em geral. Além disso, esse tema possui relevância notável no campo da ciência geográfica, conectando-se a outros estudos já existentes sobre o assunto.

4.2. Área de estudo

Localizada no rio Corumbá, entre as coordenadas geográficas de 17°59'21.44" de latitudes S 48°31'54.97" longitude O, está a UHE Corumbá (Figura 5), entre os municípios de Corumbaíba, Caldas Novas e Ipameri, no estado de Goiás. Estes três municípios têm a população correspondente a 9.164, 98.622 e 25.548 pessoas, respectivamente, de acordo com IBGE (2022).

Figura 5: Mapa de localização da UHE Corumbá.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

O rio Corumbá é um tributário do rio Paranaíba, situado no estado de Goiás. A bacia de drenagem da Usina Hidrelétrica de Corumbá abrange uma área de 27.800 km², sendo seus afluentes principais os rios do Peixe e Pirapitinga. O rio Pirapitinga, por sua vez, recebe o escoamento de águas residuais de Caldas Novas, além dos efluentes de um matadouro localizado em sua zona de inundação, como afirmam Aoyagui *et al.* (2003).

Quanto à hidrografia da região, o rio Pirapitinga possui o ribeirão Caldas como seu principal afluente, com nascente na Serra de Caldas Novas, localizada na parte oeste do

município. O curso do rio segue em direção leste, desaguando na margem direita do rio Pirapitinga. Este rio desempenha um papel crucial no fornecimento de água potável para a população local, e, atualmente, suas águas desembocam no lago formado pela represa do rio Corumbá, destinada à Usina Hidrelétrica Corumbá (Biela *et al.*,2009).

4.3. Materiais e métodos



Para a elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo, foram utilizados os mapas da Coleção 8, disponíveis na plataforma online dos projetos, MapBiomias. A metodologia do MapBiomias é toda automatizada, com o processamento realizado no *Google Earth Engine* (GEE) e armazenado no *Google Cloud*. Para o processo de classificação, utilizaram-se mosaicos anuais de imagens Landsat e algoritmos de árvore de decisão do tipo *Random Forest*, disponíveis na plataforma GEE, com área mínima mapeada equivalente a 900 metros quadrados (30 x 30 metros), devido à classificação pixel a pixel (Mapbiomas, 2022).

No âmbito deste estudo, os dados foram baixados em formato GeoTiff para os anos de 1992, 2002, 2012 e 2022 (um mapa para cada ano), com recorte específico para os municípios de Corumbá, Caldas Novas e Ipameri, no estado de Goiás.

Esses dados foram processados e manipulados em um sistema de informação geográfica (SIG) por meio do programa Arcgis 10.2. Após o *download*, os rasters foram reprojatados para o sistema de coordenadas planas UTM, datum Sirgas 2000. Os projetos MapBiomias apresentam suas próprias legendas de classificação; no entanto, neste estudo, os mapas foram reclassificados em cinco categorias principais, para facilitar o entendimento.

Durante o procedimento de reclassificação, classes com características semelhantes foram agrupadas, formando uma única classe, conforme apresentado no Quadro 2, a seguir.

Quadro 2: Reclassificação das tipologias.

ID nativo do MapBiomias v8.0	Tipologia	Cor atribuída
1.1-Formação Florestal; 1.2-Formação Savânica; 1.3-Mangue; 1.4-Floresta Alagável; 1.4-Restinga Arbórea	Floresta	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa; 2.2. Formação Campestre; 2.6. Outras Formações não Florestais; 2.4. Afloramento Rochoso; 2.3. Apicum; 2.5. Restinga Herbácea	Formação Natural não Florestal	

ID nativo do MapBiomias v8.0	Tipologia	Cor atribuída
3.3. Silvicultura; 3.1. Pastagem; 3.2.1.2. Cana; 3.4. Mosaico de Usos; 3.2.2.3. Dendê (beta); 3.2.1.1. Soja; 3.2.1.3. Arroz; 3.2.1.5. Lavouras Temporárias; 3.2.2.1. Café; 3.2.2.2. Citrus; 3.2.2.4. Outras Lavouras Perenes; 3.2.1.4. Algodão (beta)	Agropecuária	
4.1. Praia, Duna e Areal; 4.2. Área Urbanizada; 4.4. Outras Áreas não vegetadas; 4.3. Mineração	Área não vegetada	
5.2. Aquicultura; 5.1. Rio, Lago e Oceano	Corpo D'água	

Fonte: Elaborado pela autora 2024.

Após a reclassificação das tipologias nos mapas, os resultados em hectares das áreas de uso e ocupação de cada classe foram obtidos através do *download* de quatro tabelas no *software Microsoft Excel®* (Microsoft 360), respectivamente, para cada ano analisado, retirados na plataforma online do MapBiomias, objetivando que os dados estejam sincronizados e buscando maior grau de confiabilidade de resultados.

4.4. Resultados e discussão

O Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias), estabelecido em março de 2015, gera mapas anuais abrangendo todo o território brasileiro, possibilitando a reconstrução do histórico nas últimas décadas. O MapBiomias realiza uma análise separada da classe floresta, proporcionando resultados mais detalhados em relação às áreas florestais; além disso, abrange a análise do uso e das modificações da terra em todo o Brasil (Neves *et al.*, 2020).

Em seus estudos, Almeida *et al.* (2018) empregaram imagens da versão 2.3 do MapBiomias, comparando-as com imagens do sensor TM do satélite Landsat 5, para analisar a variabilidade espacial de cobertura e uso do solo em uma bacia hidrográfica. Os resultados obtidos foram semelhantes para ambas as fontes.

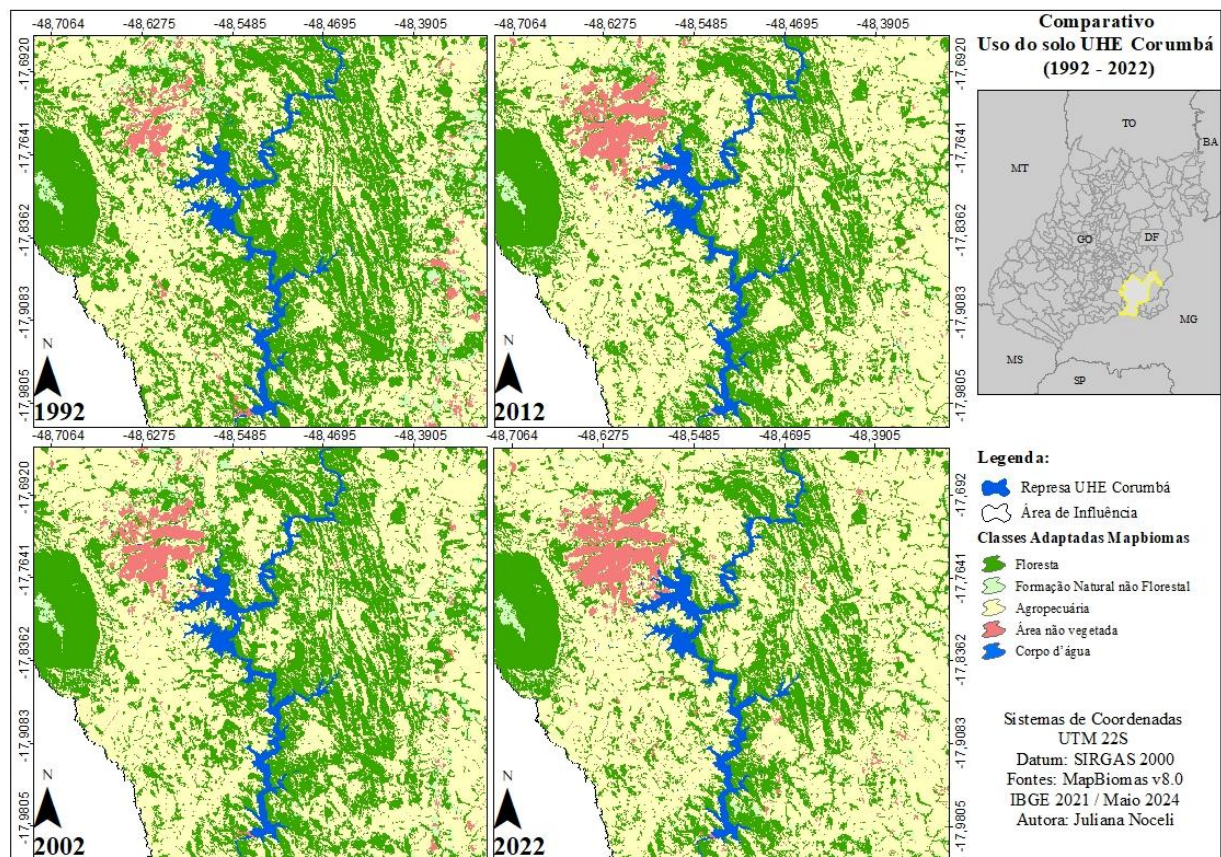
Os produtos e a plataforma do MapBiomias estão sendo empregados em diversas pesquisas aplicadas, abrangendo temas como o planejamento do uso do solo e conservação, incluindo restauração, biodiversidade, agricultura e mudanças climáticas (Crouzeilles *et al.*, 2019). A escolha de utilizar os produtos e a plataforma do MapBiomias em vez de imagens diretas de satélite, para esta pesquisa, oferece uma análise temporal abrangente, dados processados e classificados de maneira padronizada, acesso a informações multiespectrais,

facilidade de uso, integração com ferramentas de análise geoespacial, dados validados e de alta qualidade, cobertura nacional e suporte à formulação de políticas públicas e gestão ambiental, sendo elas vantagens significativas. O MapBiomias fornece dados pré-processados e classificados, facilitando a análise e interpretação das informações sobre o uso e cobertura do solo. Este processamento prévio economiza tempo e recursos, já que a plataforma integra dados de diferentes fontes e aplica métodos de classificação padronizados e validados.

O MapBiomias oferece uma consistência temporal e espacial que pode ser difícil de se obter ao trabalhar diretamente com imagens de satélite. A plataforma agrega informações de várias décadas, permitindo análises de tendências e mudanças ao longo do tempo. Essa continuidade é crucial para estudos de longo prazo, como a análise do uso do solo e suas implicações ambientais.

Neste estudo, foram gerados quatro mapas, que estão apresentados na Figura 6, divididos por ano, sendo eles 1992, 2002, 2012 e 2022, respectivamente, com o uso e cobertura do solo de cada ano analisado. Após o mapeamento, as áreas de cada tipologia foram quantificadas e serão apresentadas a seguir.

Figura 6: Mapa de classificação de uso do solo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Na Tabela 7, são apresentados os dados do mapeamento, valores em hectares do uso e ocupação das classes de cobertura do solo, assim como sua variação espaço-temporal.

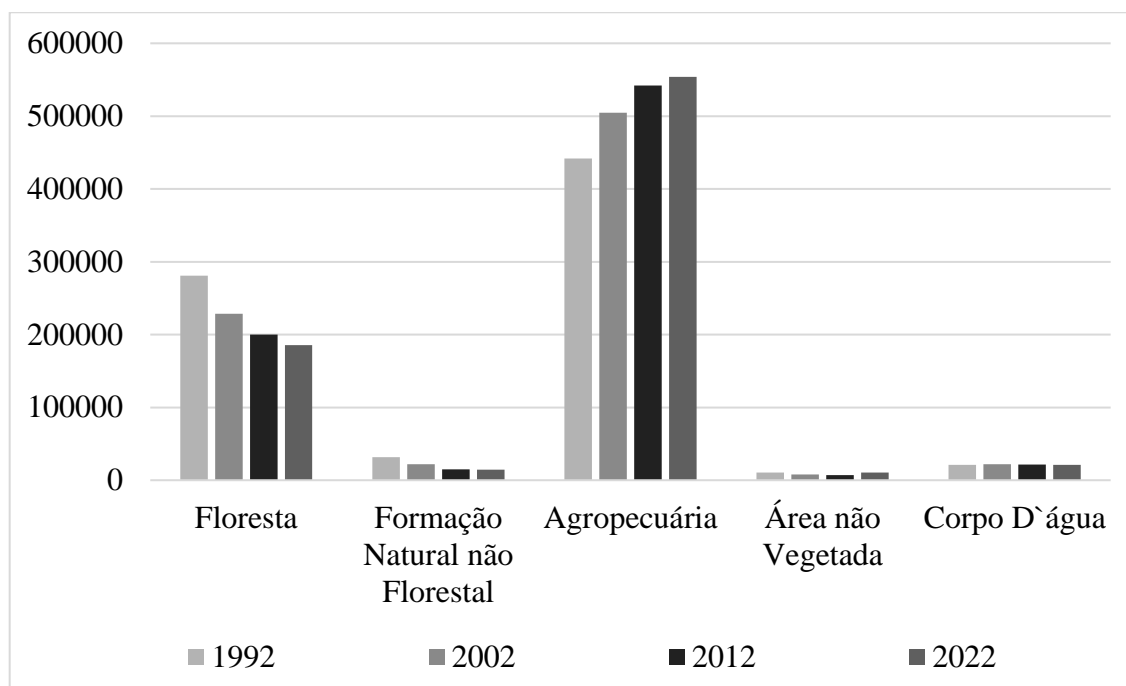
Tabela 7: Valores das tipologias de uso e cobertura do solo, por ano.

Tipologia	Área (Ha)			
	1992	2002	2012	2022
Anos				
Floresta	280899,37	228438,21	199990,53	185583,32
Formação Natural não Florestal	31618,66	22175,35	14896,58	14493,84
Agropecuária	441765,00	504847,97	542150,23	553761,41
Área não vegetada	10378,75	8007,76	7076,79	10612,30
Corpo D'água	20899,78	22092,29	21447,44	21110,70

Fonte: Elaborado pela autora 2024.

Dentro deste contexto, a Figura 7 foi criada para avaliação espaço-temporal da evolução do uso do solo na área de estudo.

Figura 7: Evolução do uso do solo (Ha) - Áreas de Influência da UHE Corumbá.



Fonte: Elaborado pela autora 2024.

Para os dados analisados no presente estudo, entre os anos de 1992 (36%) e 2022 (24%), constata-se a diminuição significativa no total de 95316,05 ha na classe Floresta. É possível perceber que a diminuição foi crescente no decorrer dos anos, demonstrando a maior

diferença entre os primeiros anos de 1992 (36%) e 2002 (29%), com a diminuição de 52461,17 ha, classificados como Floresta.

A mudança temporal ao longo dos 30 anos entre os cenários 1 (1992) e 4 (2022) confirma o domínio e a expansão da atividade agropecuária na região. No cenário 4, observa-se um maior número de propriedades rurais e, no último e mais recente cenário, foi notada a estabilização da extensão da classe Floresta.

A redução em extensão florestal, seja pela retirada parcial ou total da cobertura vegetal, ocorre devido ao uso inadequado do solo, resultando na diminuição da biodiversidade local e podendo causar a degradação do solo. As atividades humanas são as principais causadoras de degradação do solo, frequentemente resultando em desmatamento, ocasionado, de modo geral, por práticas agropecuárias, afirmam Dos Santos *et al.* (2022).

O contrário foi observado na classe Agropecuária, apresentando crescimento exponencial no intervalo entre os trinta anos analisados, com 56%, em 1992, crescendo 14% neste intervalo, com 70% desta classificação em 2022. É possível observar uma menor diferença entre o aumento desta classe nos anos de 2012 e 2022, crescendo apenas 1%, constatando que o crescimento desta classe foi maior nos anos de 1992 a 2002.

Ao analisar a cobertura do solo no cerrado do Tocantins, Schwaida (2021) identificou resultados. Notou-se um aumento significativo nas áreas de pastagem, registrando um crescimento de 79,88% entre 1988 e 1998, 40,59% entre 1998 e 2008, e 59,2% entre 2008 e 2018, totalizando um aumento de 302,68% ao longo de 30 anos. Concluiu-se que o desmatamento está fortemente relacionado às áreas com menor declividade e solos mais adequados para atividades agropastoris, o que impulsionou a expansão das áreas de pastagem.

Quanto às outras três classes analisadas: Formação Natural não Florestal e Área não vegetada, em porcentagem, fica explícito que são as classes que menos sofrem influência da ação antrópica. É possível identificar uma leve redução na classe Formação Natural não Florestal de 4% em 1992 para 2% em 2022. E a área não vegetada se mantém em 1% durante os 30 anos analisados, revelando um aspecto positivo para esta análise.

Para a redução da classe Formação Natural não Florestal, considerando que, no cenário inicial de 4% em 1992, ainda não havia atividades humanas intensas na região, as áreas de Formação Natural não Florestal foram gradualmente substituídas por atividades de desenvolvimento produtivo, principalmente a agropecuária, até o ano de 2012. Além disso, há um menor crescimento na porcentagem de conversão de áreas naturais, o que ressalta a crescente conscientização e fiscalização ambiental na região.

Já o não crescimento da Área Não Vegetada pode estar associado à expansão da área urbanizada, outras áreas não vegetadas e/ou mineração. Esse fenômeno também representa um fator de influência significativo na quantidade e qualidade dos recursos hídricos na região, seja devido à impermeabilização do solo, à movimentação deste, ou mesmo ao lançamento de efluentes. Outro fator que deve ser considerado é o aumento do setor turístico em Caldas Novas e, a partir de 1997, a construção da UHE Corumbá.

Nos estudos de Silva (2021), a pesquisadora encontrou resultados semelhantes no município de Pedras de Fogo, na Paraíba. Houve um aumento na classe de áreas urbanizadas, com incrementos de 0,47%, 0,66% e 1% nos anos de 1990, 2000 e 2010, respectivamente. O autor destaca que esse aumento foi impulsionado, principalmente, pelo surgimento de novos loteamentos na zona urbana do município.

Neste contexto, Oliveira (2010) salienta que o cerrado apresenta um grande potencial para diversas modalidades de turismo ligadas à natureza, tais como ecoturismo, turismo de aventura, turismo rural, entre outras. O estado de Goiás destaca-se como um exemplo significativo dessa realidade.

Silva *et al.* (2006) indicaram, em seus estudos, que a construção da usina hidrelétrica de Corumbá, em 1997, impulsionou o desenvolvimento imobiliário, resultando em uma transformação significativa do espaço urbano. Entretanto, nota-se que não foi a construção que impactou a área urbana, mas sim o contrário. Devido à beleza das margens do lago, estas foram valorizadas, resultando na expansão de loteamentos, condomínios e investimentos imobiliários que se estenderam até suas proximidades.

Em Caldas Novas, o lago Corumbá desencadeou a criação de diversos loteamentos ao longo de suas margens, juntamente com clubes de lazer, restaurantes e uma variedade de serviços, como aluguel de barcos, jet-skis e passeios turísticos. Isso contribuiu significativamente para a geração de empregos nos setores de serviços e construção civil (Albuquerque, 1998).

É válido destacar que, ao longo da história no cerrado goiano, o turismo ecológico e de natureza, juntamente com as áreas de águas termais em Rio Quente e Caldas Novas, têm sido alvo de investimentos tanto públicos quanto privados, de acordo com Almeida (2002).

Carvalho (2015) enfatiza que o turismo em Goiás, em comparação com o cenário nacional, ainda permanece à margem, com um impacto econômico sutil. Isso porque, quando considerado dentro da economia do Estado, não consegue competir com as atividades

produtivas relacionadas à indústria, agricultura e pecuária. O turismo, por sua vez, se concentra em áreas urbanas que precisam ter infraestrutura adequada para sustentar essa atividade.

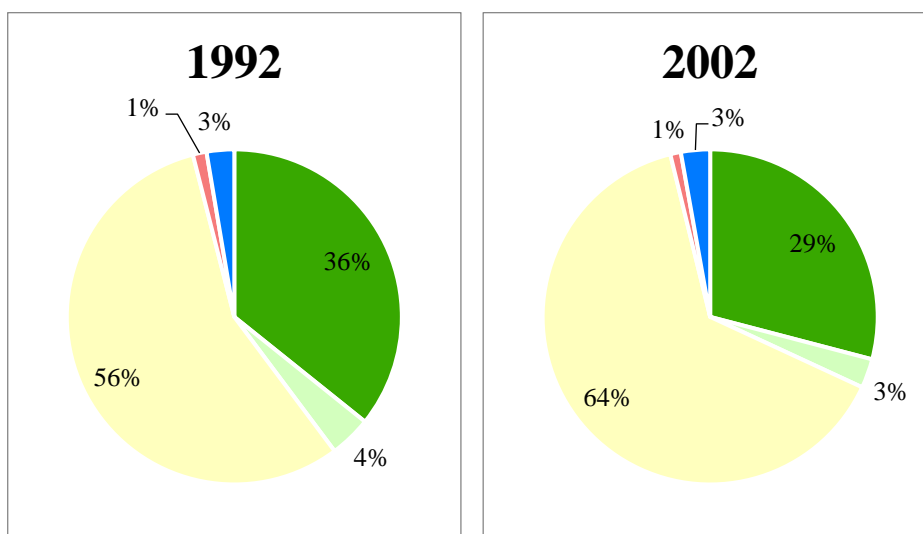
Dentro do contexto, o município de Caldas Novas experimentou um aumento significativo na sua população, impulsionado pela intensa exploração local resultante das atividades turísticas. Isso tem levado a uma transformação contínua na região, que está adquirindo cada vez mais importância ecológica devido às complexidades que apresenta em favor do meio ambiente (Palmerston *et al.*, 2020).

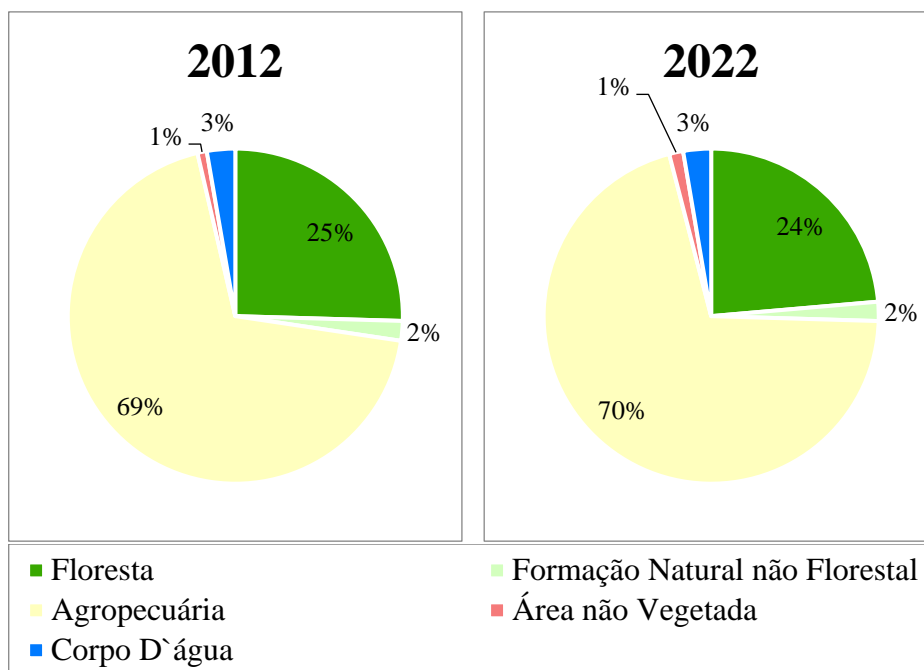
Assim, o desenvolvimento econômico e turístico de Caldas Novas está intrinsecamente ligado à presença das águas termais, que possibilitaram o surgimento de centros urbanos, uma variedade de setores comerciais e uma atração adicional por contar com o Parque Ecológico Estadual da Serra de Caldas Novas, o Balneário Municipal, o lago de Pirapitinga, o lago de Corumbá, além de hotéis, clubes e outras infraestruturas (Santos *et al.*, 2020).

Consequentemente, as atividades turísticas em Caldas Novas causam impactos ambientais, resultando na transformação de toda a região. Essa convergência de fatores leva a mudanças no espaço físico, refletindo o dinamismo da construção de paisagens num contexto impulsionado pelas relações de produção e pelas forças produtivas que facilitam o crescimento urbano em larga escala (Medeiros *et al.*, 2022).

A Figura 8 mostra o percentual ilustrado em gráficos, separados anualmente, onde é possível verificar as diferenças entre as cinco classes de uso do solo no intervalo dos últimos 30 anos.

Figura 8: Percentual das tipologias de uso e cobertura da terra.





Fonte: Elaborado pela autora 2024.

Devido aos vários usos do solo nas áreas de influência da UHE Corumbá, tornou-se evidente a importância de estudos de caracterização física nessa região para a formulação de medidas preventivas. Esses estudos também desempenham um papel significativo na redução dos impactos resultantes do uso e ocupação do solo.

Fernandes *et al.* (2015), em suas pesquisas no estado do Sergipe, concluíram que a expansão das áreas próximas ao represamento, está associada à presença de terras potencialmente irrigáveis, refletindo um esforço sistemático para aproveitar os recursos hídricos disponíveis.

De acordo com Albuquerque (1998), uma das vantagens significativas proporcionadas pelo reservatório da Usina de Corumbá é sua notável capacidade de recuperação. Enquanto alguns lagos podem levar até três anos para atingirem sua capacidade total, o reservatório de Corumbá alcança sua capacidade máxima em apenas alguns meses após o início das chuvas. Além disso, a variação na altura da superfície do lago é de, no máximo, 15 metros, em contraste com outros reservatórios, onde pode chegar a 25 metros (Saint, 2008).

Pires *et al.* (2012) apresentaram resultados que corroboram a natureza agregadora dos impactos em áreas de ocupação intensiva, especialmente quando se destacam em meio a pressões decorrentes de demandas críticas e perdas de qualidade ambiental. Nesse contexto, foram fornecidos exemplos de estudos conduzidos utilizando bioindicadores para avaliar a qualidade da água no município de Morrinhos, no estado de Goiás.

Nesses estudos, ainda de acordo com Pires *et al.* (2012), eles confirmaram a

presença de alterações cromossômicas nas águas das nascentes de uma fonte, além da detecção de metais pesados em níveis acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 em outra fonte na região de Morrinhos.

Rosa *et al.* (2023) constataram que Rio Verde, no estado do Goiás, está passando por uma rápida urbanização, afetando negativamente os recursos hídricos e o meio ambiente, especialmente nas subbacias dos córregos Galinha e Campestre. A análise destacou um aumento expressivo da área urbanizada em detrimento das áreas de vegetação, ressaltando a necessidade de medidas de conservação.

Para abordar essa situação, várias práticas podem ser aplicadas. A criação e gestão eficaz de Unidades de Conservação (UCs) podem proteger áreas críticas de florestas e garantir a preservação da biodiversidade. Além disso, as Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs) representam uma oportunidade para proprietários privados contribuírem para a conservação, preservando ecossistemas valiosos em suas terras.

Outra medida importante é a adoção de práticas agroflorestais, que integram o cultivo de árvores com atividades agrícolas e pecuárias. Essas práticas não apenas promovem a sustentabilidade, mas também ajudam na restauração de áreas degradadas e aumentam a resiliência dos ecossistemas.

Portanto, é essencial implementar uma combinação de estratégias para enfrentar os desafios causados pela rápida urbanização e promover a conservação dos recursos naturais em Rio Verde e em outras regiões afetadas.

Durante o período de três décadas analisado, houve redução considerável na cobertura florestal, ao passo que as áreas dedicadas à agropecuária apresentaram um aumento significativo. Essa comparação é fundamental para evidenciar o papel das atividades agrícolas e pecuárias como os principais agentes impulsionadores do desmatamento.

O desmatamento é, muitas vezes, resultado da retirada de áreas florestais para dar lugar a plantações agrícolas, pastagens para o gado e infraestrutura associada, como estradas e assentamentos rurais. Essas atividades, frequentemente, causam impactos ambientais significativos, incluindo perda de biodiversidade, alterações nos ciclos hidrológicos e aumento das emissões de gases de efeito estufa. Portanto, é crucial implementar práticas agrícolas e pecuárias sustentáveis, juntamente com políticas de conservação ambiental, para mitigar os efeitos adversos do desmatamento.

4.5. Conclusões

A utilização do MapBiomas como ferramenta para analisar o uso e cobertura do solo demonstrou resultados satisfatórios, destacando-se pela rapidez e precisão. Algumas mudanças significativas foram observadas nas classes de Floresta, Formação Não Natural e Agropecuária, com os maiores desvios registrados nessas áreas.

A análise espaço-temporal das áreas de influência da UHE Corumbá revelou uma substituição da área florestal por áreas agrícolas entre 1992 e 2022. Projeções indicam reduções na área de agricultura e aumento na área urbanizada, especialmente devido ao crescimento de condomínios e áreas de lazer nas proximidades da represa da UHE Corumbá, no município turístico de Caldas Novas.

Em geral, o uso do solo na área do reservatório de Corumbá é dinâmico e influenciado por diversos fatores, como desenvolvimento econômico, crescimento populacional, práticas agrícolas, conservação ambiental e atividades recreativas. O desafio-chave é equilibrar esses diferentes usos do solo, garantindo a sustentabilidade dos recursos hídricos e a conservação ambiental.

O estudo ressalta a importância do entendimento e uso sustentável do solo na região da UHE Corumbá, especialmente no que diz respeito aos impactos das atividades humanas na conservação ambiental, qualidade da água e sustentabilidade dos recursos naturais.

Com base neste estudo, algumas ações podem ser estabelecidas nas áreas de influência do reservatório, como a implementação de práticas de manejo sustentável do solo, zoneamento e planejamento territorial equilibrando desenvolvimento econômico e conservação ambiental, monitoramento contínuo do uso do solo e engajamento da comunidade na tomada de decisões relacionadas ao uso do solo, garantindo consideração de suas preocupações e necessidades.

Essas iniciativas estão alinhadas diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especificamente o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 14 (Vida na Água) e ODS 15 (Vida Terrestre). Ao promover práticas sustentáveis de uso do solo e gestão integrada dos recursos naturais, este estudo contribui significativamente para a promoção de um desenvolvimento sustentável e resiliente na região da UHE Corumbá.

4.6. Referências

ALBUQUERQUE, Carlos. **Caldas Novas ecológica**. Editora Kelps, 1998.

ALMEIDA, MG de. **Políticas públicas e o delineamento do espaço turístico goiano**. _____ (Org.). Abordagens geográficas de Goiás. Goiânia: Ed. UFG, p. 197-222, 2002.

ALMEIDA, D. N. O., OLIVEIRA, L. M.M., CANDEIAS, A. L. B., BEZERRA, U. A. & LEITE A. C. S. (2018). **Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municípios do Agreste de Pernambuco**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, 4(1), 58-68. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/95> Acesso em: 02 de fev. 2024.

AOYAGUI, ANDERSON SETSUO MIYASHIRO *et al.* **Estrutura e dinâmica dos rotíferos no reservatório de Corumbá, Estado de Goiás, Brasil**. Acta Scientiarum, v. 25, n. 1, p. 31-39, 2003. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/79641047/1523.pdf> Acesso em: 16 de fev. 2024.

BIELLA, C. A.; COSTA, R. A. **Análise da qualidade ambiental das nascentes urbanas de Caldas Novas – GO**. Disponível em: <http://200.199.231.226/portal/publicacao/arqprof/artigo2.pdf> Acesso em: 31 de out. 2023.

CARVALHO, GISÉLIA LIMA. **A política de turismo no Estado de Goiás: um estudo sobre as escalas institucionais de intervenção**. 212 f. Tese (Doutorado) –Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/20286> Acesso em: 16 de fev. 2024.

CROUZEILLES, R.; SANTIAMI, E.; ROSA, M.; PUGLIESE, L.; BRANCALION P. H. S.; RODRIGUES, R.R.; METZGER, J.P.; CALMON, M.; SCARAMUZZA, C.A.DEM.; MATSUMOTO, M.H.; PADOVEZI, A.; BENINI, R.DEM.; CHAVES, R.B.; METZKER, T.; FERNANDES, R. B.; SCARANO, F. R.; SCHMITT, J.; LUI, G.; PINTO, S. **There is hope for achieving ambitious Atlantic Forest restoration commitments. Perspectives in Ecology and Conservation**, v.17, n.2, p.80-83, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2019.04.003>

DOS SANTOS BAIA, ANA RAFAELA *et al.* **O Processo do Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Baixo Tocantins**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 8, n. 12, p. 657-665, 2022. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v8i12.8053>

FERNANDES, MÁRCIA RODRIGUES DE MOURA *et al.* **Mudanças do uso e de cobertura da terra na região semiárida de Sergipe**. Floresta e Ambiente, v. 22, p. 472-482, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.121514>

GUIMARÃES, C.M.; PASQUALETTO, A.; MAGALHÃES, A.T. **Planejamento urbano-ambiental: percepção da população sobre o parque zoológico de Goiânia**. Research, Society and Development, v. 10, n. 12, p. 413101219991, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.19991>

IBGE. **Cidades e Estados: Corumbáiba. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** IBGE. Corumbáiba. [S. 1.], 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/corumbaiba/panorama> Acesso em: 01 de fev. 2024.

IBGE. **Cidades e Estados: Caldas Novas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** IBGE. Caldas Novas. [S. 1.], 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/caldas-novas/panorama> Acesso em: 01 de fev. 2024.

IBGE. **Cidades e Estados: Ipameri. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** IBGE. Ipameri. [S. 1.], 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/ipameri/panorama> Acesso em: 01 de fev. 2024.

MEDEIROS, RAIMUNDO MAINAR DE *et. al.* **A lagoa do portinho - Piauí, Brasil e suas contribuições ao turismo e meio ambiente.** Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218, 3(2), e321177, 2022. DOI: <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i2.1177>

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomias – Coleção 2022 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil.** Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org> Acesso em: 02 fev. 2024. DOI: <https://doi.org/10.58053/MapBiomias/VJIJCL>

NEVES, A. K.; KORTING, T. S.; FONSECA, L. M. G.; ESCADA, M. I. S. **Avaliação dos dados do TerraClass e do MapBiomias sobre a legenda e concordância dos mapas para o bioma brasileiro Amazônico.** Acta Amaz. vol.50 no.2 Manaus abr./junho 2020 Epub 18 de maio de 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201900981>

OLIVEIRA, IVANILTON JOSÉ DE. **Turismo no Cerrado.** Revista UFG, Goiânia, Ano XII, n. 9, p. 49-56, 2010. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/revistaufg/article/view/48322> . Acesso em: 16 fev. 2024.

OLIVEIRA, W.N.; RIBEIRO, H.J.; FERREIRA, N.C.; SIQUEIRA, R.V.; OLIVEIRA, V.T. **Simulação Hidrossedimentológica da Bacia Hidrográfica e do Reservatório de Abastecimento do Ribeirão João Leite, utilizando o modelo SWAT.** Revista Geociências. São Paulo, UNESP, v. 40, n. 3, p. 695 – 708, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i3.13172>

PALMERSTON, SHEILA CRISTINA ENDRES *et al.* **Legislação, licenciamento ambiental e turismo: os desafios da sustentabilidade e da ecoeficiência no uso dos recursos hidrotermais em Caldas Novas-GO.** 2020. Disponível em: <http://www.bdtd.ueg.br/handle/tede/599> . Acesso em: 16 fev. 2024.

PEREIRA, B. W. F.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; ALVES, M. A. M. S.; RIBEIRO, A. M.; FERREIRA, B. M.; RIBEIRO, E. G. P. **Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil.** Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 472-485, abr./jun. 2016. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1802>

PIRES, D. DE J. & MACÊDO, M. DE P. . **Meio Físico-Geográfico e Comprometimentos Ambientais: a natureza das causas e o efeito biológico em Morrinhos (GO).** In: SILVA, M. V. da; PESQUERO, M. A. (Orgs.). Caminhos Interdisciplinares pelo Ambiente, História e Ensino: o sul goiano no contexto. Uberlândia (MG): Assis Editora 2012.

ROSA, PAOLY *et al.* **Índice de qualidade da água em córregos com trechos urbanos sob influência do uso e ocupação do solo—estudo dos córregos Campestre e Galinha.** 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/4110> Acesso em: 16 fev. 2024.

SANTOS, JEAN CARLOS VIEIRA; BARBOSA, OTÁVIA XAVIER; DE MENDONÇA, DIEGO PINTO. **Cinquenta anos do Parque Estadual da Serra de Caldas Novas (PESCaN), Goiás, Brasil em 2020: meio ambiente, sociedade e turismo.** Revista *Élisée*, Porangatu, v. 9, n. 2, p. 01-14, 2020. Disponível em: <https://revista.ueg.br/index.php/elisee/article/view/10922> Acesso em: 16 fev. 2024.

SAINT-HILAIRE, AUGUST DE. **Uma abordagem histórica do turismo—Caldas Novas (GO): de espaço de cura a espaço de lazer e entretenimento.** História de Goiás: Memória e Poder. Goiânia: Ed. da UCG, 2008.

SCHWAIDA, SAMUEL FERNANDO. **Passado, presente e futuro no planejamento territorial e conservação da biodiversidade: uma análise integrada no Cerrado do Tocantins.** 2022. Disponível em: <http://repositorio2.unb.br/jspui/handle/10482/42687> Acesso em: 26 fev. 2024.

SILVA, SAYONARA CRISTINE. **Dinâmica do uso e ocupação do solo no município de Pedras de Fogo, Paraíba, nos anos de 1990 a 2020.** 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/21850> Acesso em: 26 fev. 2024.

SILVA JR., CLÓVIS CRUVINEL DA.; VAZ, SANDRA DE FÁTIMA. **Caldas Novas: O processo de ocupação territorial e a influência ambiental - uma visão geomorfológica.** Monografia apresentada à Universidade Estadual de Goiás – Unidade Universitária de Morrinhos, 2006.

SOTTO, D.; RIBEIRO, D.G.; ABIKO, A.K.; SAMPAIO, C.A.C.; NAVAS, C.A.; MARINS, K.R.C.; SOBRAL, M.C.M.; PHILIPPI JR, A.; BUCKERIDGE, M.S. **Sustentabilidade urbana: dimensões conceituais e instrumentos legais de implementação.** Estudos Avançados, v. 33, n. 97, p. 61-80, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2019.3397.004> .

TRINDADE, P.M.P PEIXOTO, D.W.B, KUPLICH, T.M; ALMEIDA, C.A. **Land Cover Mapping in Brazilian Pampa with Landsat OLI and TIRS bands.** Revista Geociências. São Paulo, UNESP, v. 40, n. 4, p. 1115 – 1124, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i04.15930>

UPRETY, M.; *et al.* **Improving water resources management using participatory monitoring in a remote mountainous region of Nepal,** Journal of Hydrology: Regional Studies, v.23, p. 100604, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100604>

5 PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO 1

Relatório Técnico Conclusivo Sobre da Qualidade da Água no Reservatório da Usina Hidrelétrica Corumbá – Goiás

RESUMO

A água é essencial para a vida, e preservar sua qualidade é um desafio crucial tanto para diversos usos quanto para a conservação dos ecossistemas aquáticos. Seu monitoramento constante é essencial para avaliar e gerenciar sua qualidade, com indicadores desempenhando um papel fundamental nesse processo. Investigações sobre qualidade da água são primordiais para garantir a saúde pública e a conservação dos recursos hídricos, visando a um ambiente sustentável para as futuras gerações. Furnas monitora a água na Usina Hidrelétrica de Corumbá, e este trabalho utiliza os dados de 2018 a 2022. Os resultados foram comparados com os padrões da Resolução n.º 357/2005 do CONAMA para águas doces de classe dois. Apesar de alguns desvios em relação aos padrões estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA, o rio Corumbá exibe características naturais que não estão em conformidade com esses padrões, devido às particularidades da região. Parâmetros como pH, oxigênio dissolvido, turbidez, DBO, fósforo total e coliformes termotolerantes, frequentemente, não atendem aos limites estabelecidos pela legislação ambiental em pelo menos uma das estações. E análises estatísticas apresentaram diferenças significativas entre áreas e estações de coleta; anos e campanhas de amostragem indicam a importância do monitoramento regular, especialmente em áreas sujeitas a fontes de poluição e durante períodos de aumento de sua influência. As atividades humanas na área estudada demonstram um impacto significativo no aumento dos níveis de matéria orgânica, principalmente no ponto CRC 10, localizado próximo ao município de Caldas Novas, GO.

5.1. Introdução

As águas continentais oferecem bens e serviços ecossistêmicos essenciais para populações humanas, animais e plantas. Isso inclui fornecimento de água de qualidade para consumo e irrigação, geração de energia hidrelétrica, produção de alimentos, além da preservação de valores culturais e espirituais (Shah *et al.*, 2019).

No entanto, as ações humanas podem resultar na exploração excessiva dos recursos hídricos e provocar alterações nas características dos ecossistemas aquáticos, tais como a modificação das margens, o assoreamento de corpos d'água, o aumento da temperatura e a introdução de poluentes orgânicos e inorgânicos na água (Gleeson *et al.*, 2020).

Os parâmetros químicos, físicos e biológicos avaliados em um corpo hídrico podem fornecer informações sobre o nível de contaminação da água. Eles constituem a base para a gestão desse recurso, facilitando a tomada de decisões voltadas para sua preservação, recuperação e proteção (Brasil, 2005).

O monitoramento é uma das ferramentas de gestão estipuladas na Política Nacional de Recursos Hídricos, com o objetivo de enquadrar os corpos de água em classes, de acordo com os usos predominantes desse recurso.

Os indicadores de qualidade da água desempenham um papel fundamental na gestão de recursos hídricos, permitindo a identificação do impacto do uso dos corpos d'água e sua influência nas características qualitativas dos recursos hídricos. Isso é essencial para assegurar a proteção da comunidade e preservar a saúde pública, como enfatizado por Santos *et al.* (2019).

Portanto, a relevância de pesquisas sobre a qualidade da água é evidente, uma vez que essas investigações desempenham um papel crucial na preservação dos recursos hídricos e dos ecossistemas, além de contribuírem para a gestão da saúde pública. Isso possibilita a adoção de medidas corretivas e preventivas apropriadas.

5.2. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é gerar um relatório técnico da avaliação da qualidade da água na Usina Hidrelétrica de Corumbá e compará-lo com a legislação ambiental vigente. Isso é feito com o propósito de verificar se os padrões de qualidade da água definidos pela legislação estão sendo atendidos ou se há discrepâncias que possam indicar a necessidade de intervenções ou melhorias na gestão ambiental da área.

5.3. Objetivos Específicos

- Comparar os resultados de análise da qualidade das águas com os padrões da Resolução n.º 357/2005 do CONAMA;
- Realizar a comparação de forma clara e objetiva, para garantir que seja de fácil entendimento;
- Apresentar os resultados da análise de maneira organizada e compreensível, utilizando gráficos e mapas;
- Utilizar linguagem acessível e explicações concisas para descrever os resultados, destacando se os valores encontrados estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental ou se há alguma violação desses padrões.

5.4. Metodologia

O monitoramento da qualidade da água envolve: estabelecer objetivos, selecionar parâmetros, escolher locais de coleta, determinar frequência de amostragem, coletar amostras, analisar em laboratório, interpretar resultados, comunicar achados e tomar ações corretivas.

5.4.1. Periodicidade das coletas limnológicas

Em 2018, Furnas contratou uma empresa terceirizada para execução do Monitoramento Limnológico e Avaliação da Qualidade da Água na Usina Hidrelétrica de Corumbá. A coleta de dados, com periodicidade trimestral, foi iniciada em julho de 2018 até abril de 2022, no banco de dados de Furnas Eletrobras, em meio a uma parceria com laboratório credenciado, realizada previamente.

5.4.2. Parâmetros limnológicos analisados neste estudo

As amostras de água foram obtidas com garrafa de *Van Dorn*, de acordo com os procedimentos de coleta e conservação recomendados por Agudo (1987) e Macêdo (2003), para manter os padrões de higiene e controle de amostragem. Também foram seguidas as orientações do Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água da CETESB (2011) e os métodos de análise laboratorial descritos na 23ª edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* - SMEWW (APHA, 2017). Essas medidas foram adotadas para assegurar a qualidade e integridade das amostras durante o processo de coleta e posterior análise.

As amostras foram coletadas na camada superficial, garantindo a representatividade das condições da água da região. Em campo, uma sonda multiparâmetros modelo YSI Pro DSS – Clean, devidamente calibrada, foi utilizada para medir a temperatura da água (°C), turbidez (NTU), potencial hidrogeniônico (pH) e oxigênio dissolvido (mg/L). Em laboratório, foram analisados os seguintes parâmetros: coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, fósforo total, turbidez, sólidos totais e oxigênio dissolvido (OD).

As médias dos resultados no perfil foram utilizadas para cada parâmetro, com lavagem do material de coleta na água do próprio ponto de amostragem a cada mudança de ponto. As amostras foram acondicionadas em caixas de isopor com gelo, devidamente identificadas e lacradas, enviadas para o laboratório responsável pelas análises dentro dos prazos estabelecidos.

5.4.3. Análise dos resultados por parâmetro limnológico

A comparação entre os dados das Áreas e Estações de Coleta foi similar, com o teste de *Kruskal-Wallis* revelando diferenças significativas ($p < 0,05$) para todos os parâmetros.

Na comparação entre os anos, houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas para as variáveis pH, DBO e temperatura da água. Já entre as campanhas de amostragem, ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre todas as variáveis, exceto coliformes termotolerantes e fósforo total. Estes resultados expressam a importância do monitoramento regular, particularmente em áreas sujeitas à influência de fontes poluidoras, bem como em períodos do ano em que estas possam sofrer uma maximização de seus efeitos, por fatores naturais, como as chuvas, ou mesmo fatores antrópicos, como aumento do turismo ou de áreas de agricultura e/ou pecuária.

O comportamento individual de cada parâmetro e os valores encontrados nas estações e período de estudo, após as análises, foram comparados com os da Resolução n.º 357, de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2005), para águas doces de classe dois, e serão evidenciados nos gráficos que se seguem.

5.5. Resultados e Discussões

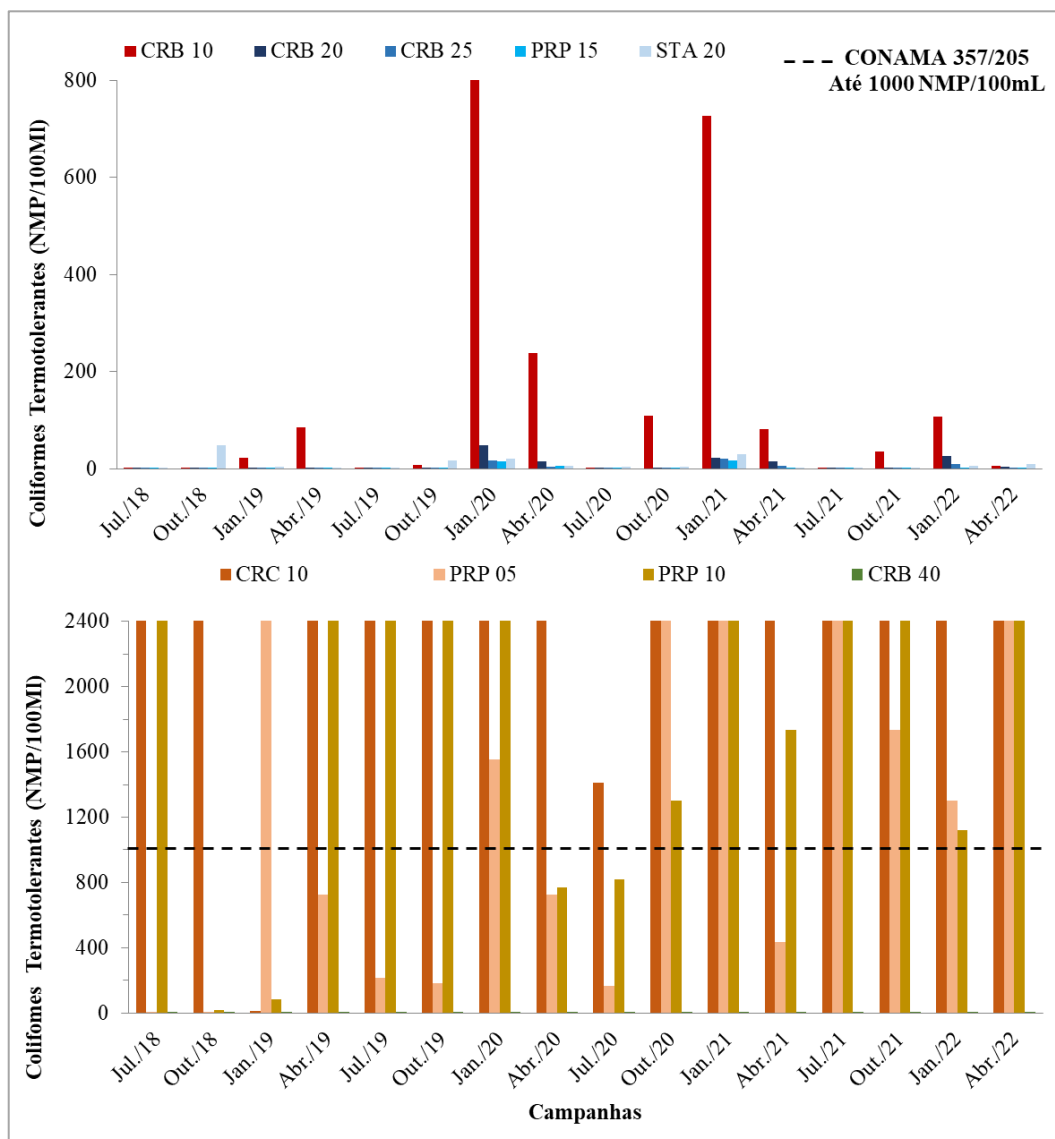
5.5.1. Coliformes Termotolerantes

Conforme a legislação vigente, para águas doces de Classe 2, o limite máximo permitido para coliformes termotolerantes é de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano. Os resultados obtidos estão representados na Figura 9. Esse parâmetro é importante para monitorar a contaminação microbiológica da água e garantir que ela atenda aos padrões estabelecidos para proteger a saúde pública e o meio ambiente.

Os valores dos NMP/100mL de coliformes termotolerantes variaram de 1 a 2.420 NMP/100ML (Md= 6,3). A metodologia de análise dos coliformes termotolerantes permite uma leitura máxima de (2.420 NMP/100ML), com registro de concentrações superiores a este valor apenas nas estações posicionadas nos Tributários. Estas altas concentrações ocorreram no ponto CRC10 em todas as campanhas, exceto em janeiro de 2019; no ponto PRP05, em janeiro de 2019, janeiro e outubro de 2020, janeiro, julho e outubro de 2021 e todas as campanhas de 2022; no ponto PRP10, em julho de 2018, abril, julho e outubro de 2019, janeiro e outubro de 2020, bem como em todas as campanhas de 2021 e 2022.

Outro ponto relevante é que, nos trechos dos rios Pirapitinga e Caldas, situados a jusante do município de Caldas Novas, houve um aumento significativo no número de coliformes termotolerantes. Isso sugere que os efluentes provenientes dessa área urbana contribuem para a presença de coliformes de origem humana em ambos os cursos d'água.

Figura 9: Variação dos dados dos Coliformes Termotolerantes (NMP/100MI) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

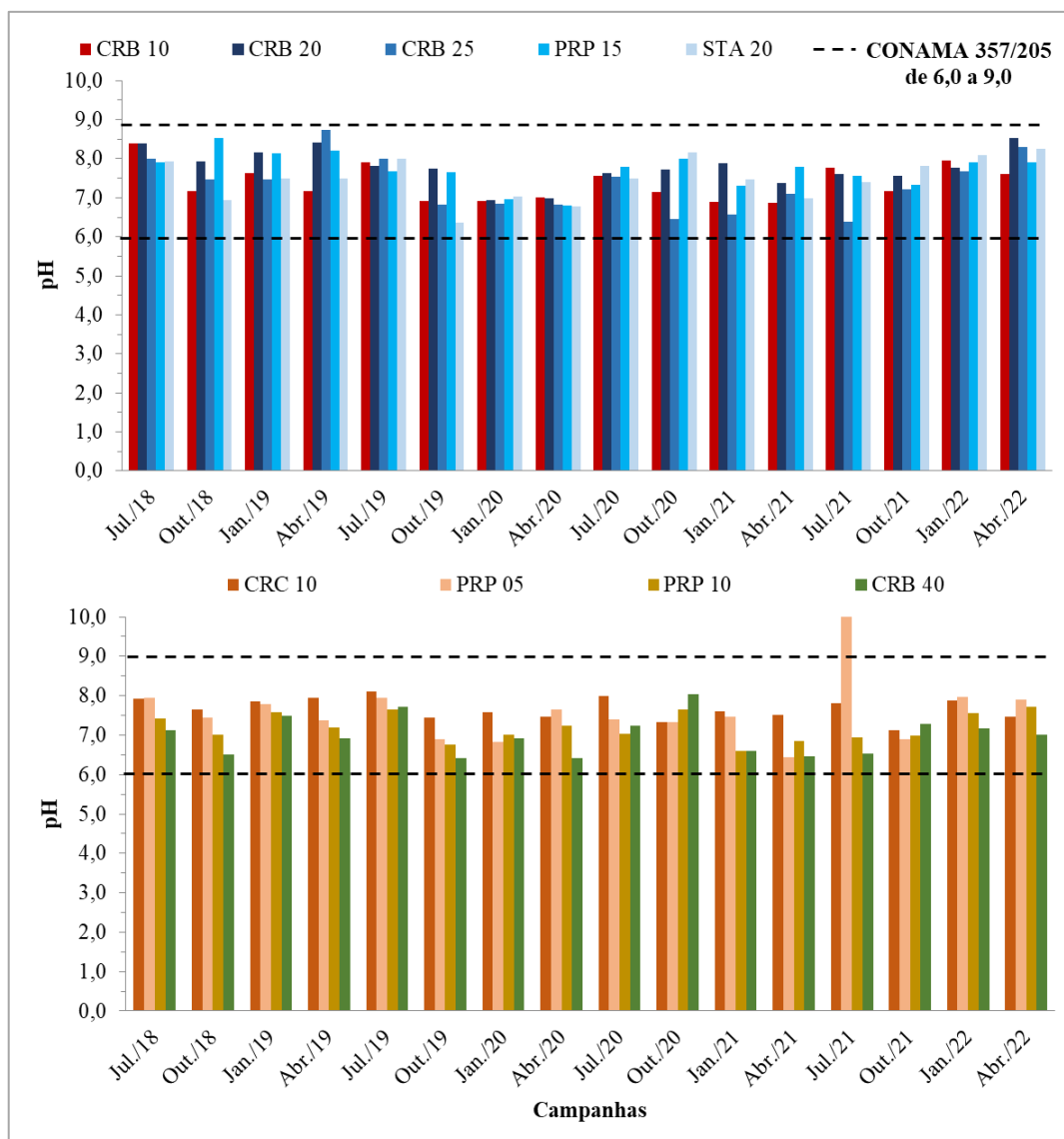
5.5.2. Potencial Hidrogeniônico (pH)

A legislação ambiental vigente estabelece que, para que as águas estejam dentro dos padrões estabelecidos, o parâmetro pH poderá variar na faixa de 6,0 a 9,0. Manter o pH dentro desse intervalo é fundamental para garantir a qualidade da água e preservar a vida aquática, uma vez que valores muito ácidos ou alcalinos podem afetar negativamente os organismos e ecossistemas presentes no ambiente aquático.

O pH apresentou resultados que estiveram entre 6,37, na STA 20 em out./19, a 10,08, na PRP 05 em jul./21 (Md= 7,5 mg/L), com grande parte das amostras estando em acordo com a Resolução Conama n.º 357/2005 em águas doces de Classe 2, valores estes de 6,0 a 9,0.

Desta forma, somente o PRP 05, em jul./21, apresentou resultado acima do limite máximo estabelecido pela legislação ambiental, como pode ser visto na Figura 10.

Figura 10: Variação dos dados do pH (UpH) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

5.5.3. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, o limite máximo estabelecido para este parâmetro é de até 5,0 mg/L. Os resultados obtidos são visualizados na Figura 11. Esse limite tem importância para monitorar a concentração de determinada substância na água

e garantir que esteja dentro dos padrões aceitáveis, a fim de preservar a qualidade do recurso hídrico e proteger o meio ambiente.

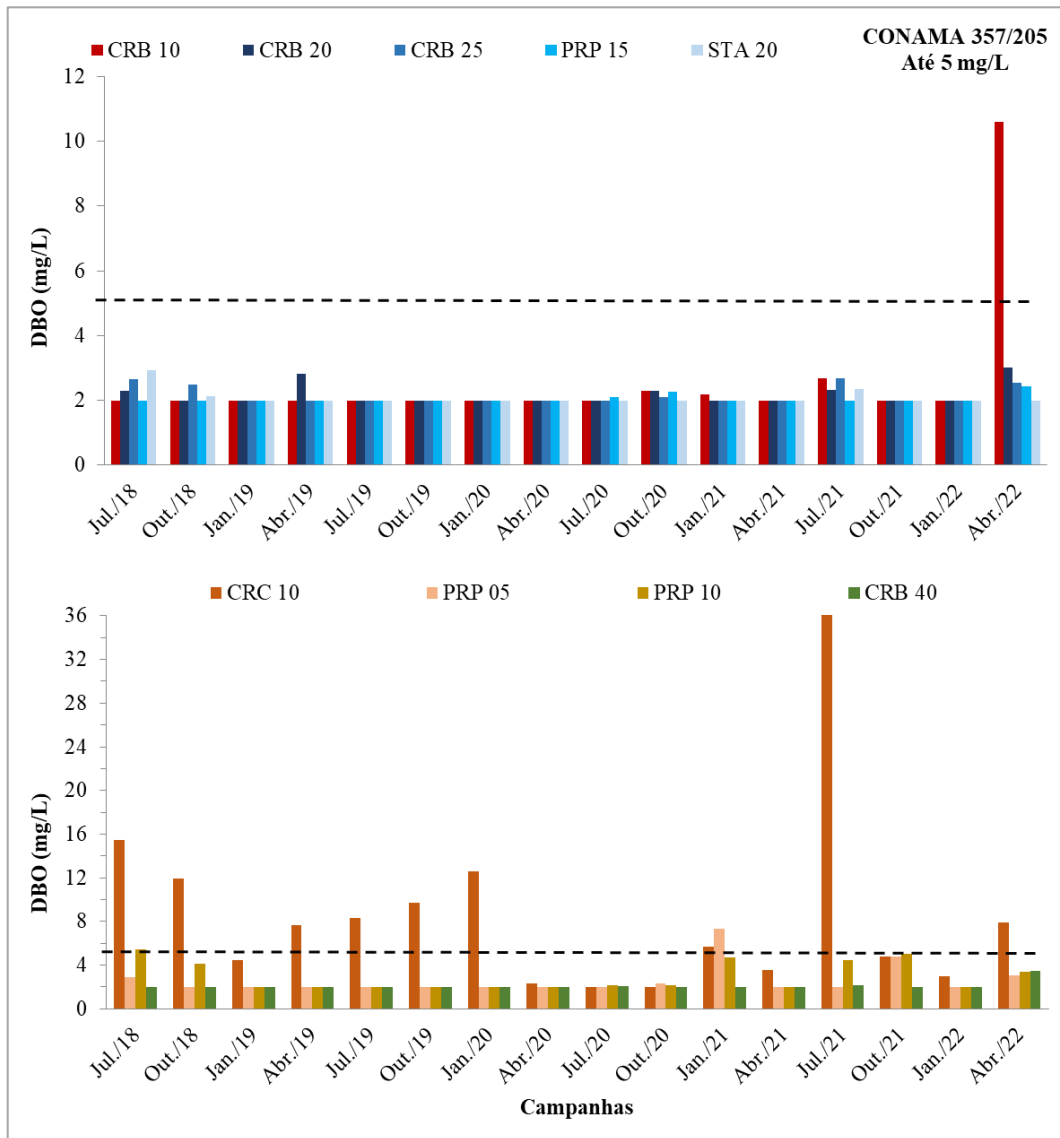
A DBO apresentou muitos resultados menores que o limite de quantificação da metodologia analítica (<2,0 mg/L), sendo que os resultados possíveis de quantificar estiveram entre 2,02 mg/L, no CRB 40 em out./20, e 36,2 mg/L, no CRC 10 em jul./21, com mediana igual a 2,0.

Desta forma, foram poucos os resultados que estiveram em desacordo com a legislação ambiental, sendo eles o CRB 10, a montante em abr./22, e os tributários CRC 10 em oito das dezesseis campanhas analisadas neste trabalho; no PRP 05, em jan./21, e no PRP 10, em jul./18 e out./21.

A figura mencionada evidencia que, em termos gerais, a presença de alguns picos isolados com as concentrações mais elevadas de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) encontra-se nas águas nos pontos CRB 10, CRC 10, PRP 05 e PRP 10, quando os níveis de sólidos na água aumentam nos 3 pontos localizados nos tributários (CRC 10, PRP 05 e PRP 10).

Ainda neste contexto, há uma clara divisão na oscilação da DBO em duas regiões distintas do trecho analisado, durante as dezesseis campanhas amostrais: a primeira, na área a montante da Usina Hidrelétrica (UHE) Corumbá, e a segunda, nos afluentes próximos ao município de Caldas Novas, onde se constatou uma faixa de variação mais ampla da DBO, especialmente no ponto CRC 10.

Figura 11: Variação dos dados da DBO (mg/L) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

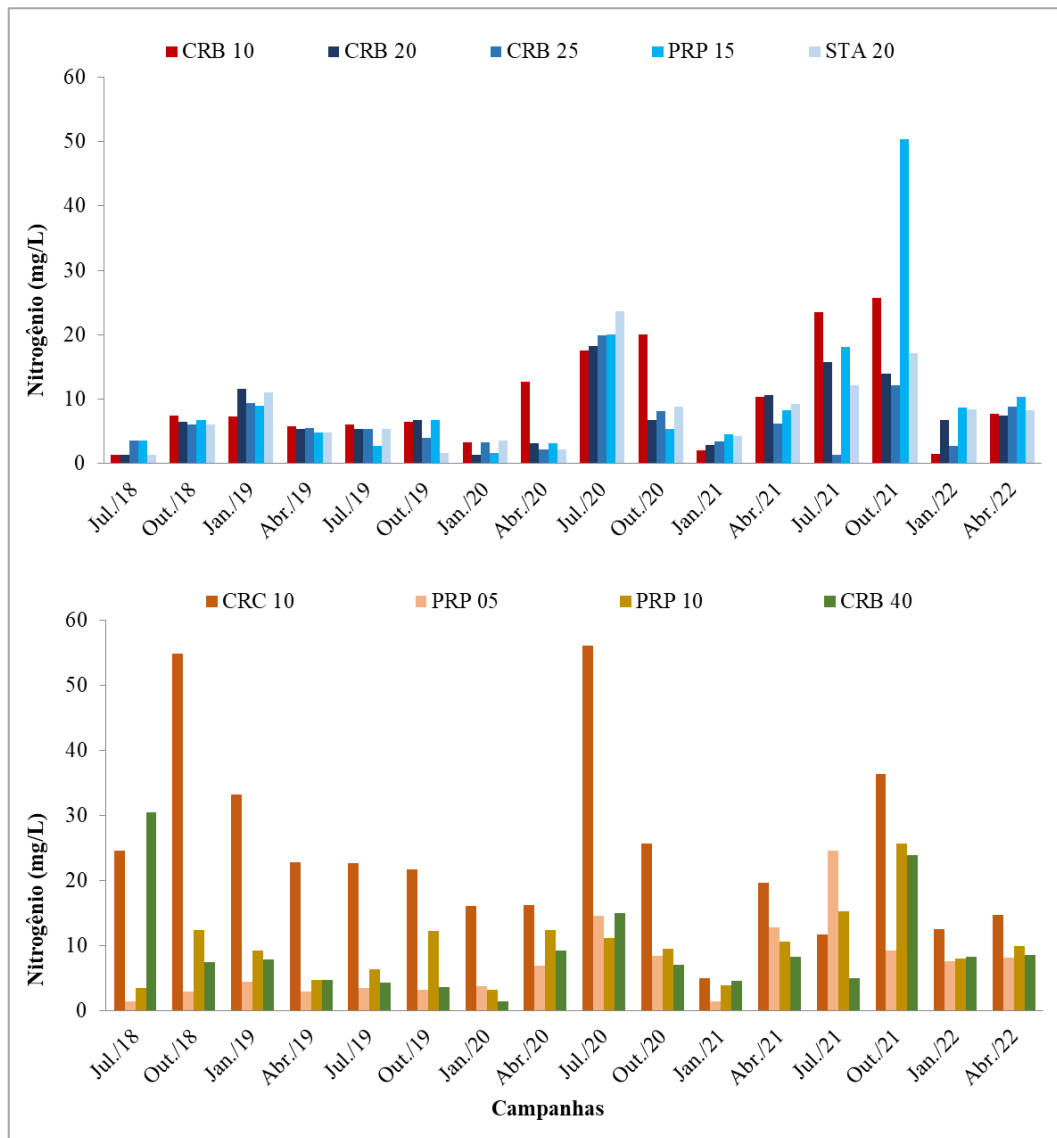
5.5.4. Nitrogênio Total

O nitrogênio total apresentou variação de 1,42 mg/L no CRB 40, em jan./20, a 56 mg/L no CRC 10, em jul./20, com a mediana de 7,6. Os resultados obtidos para esse parâmetro são apresentados na Figura 12, onde é possível verificar que os maiores resultados foram detectados nos tributários, com ressalva para o CRC 10, que apresentou os maiores valores em todas as campanhas deste estudo.

Para o nitrogênio total, a Resolução CONAMA 357/2005 não estabelece um limite específico para a sua concentração na água. É importante ressaltar que as fontes de nitrogênio nas águas naturais são variadas. Os esgotos sanitários, geralmente, são a principal fonte de

lançamento de nitrogênio orgânico nas águas, devido à presença de proteínas, nitrogênio amoniacal e outros compostos nitrogenados. Essa contribuição de esgotos pode influenciar significativamente os níveis de nitrogênio na água, afetando sua qualidade e impactando potencialmente o ecossistema aquático.

Figura 12: Variação dos dados do Nitrogênio Total (mg/L) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

5.5.5. Fósforo Total

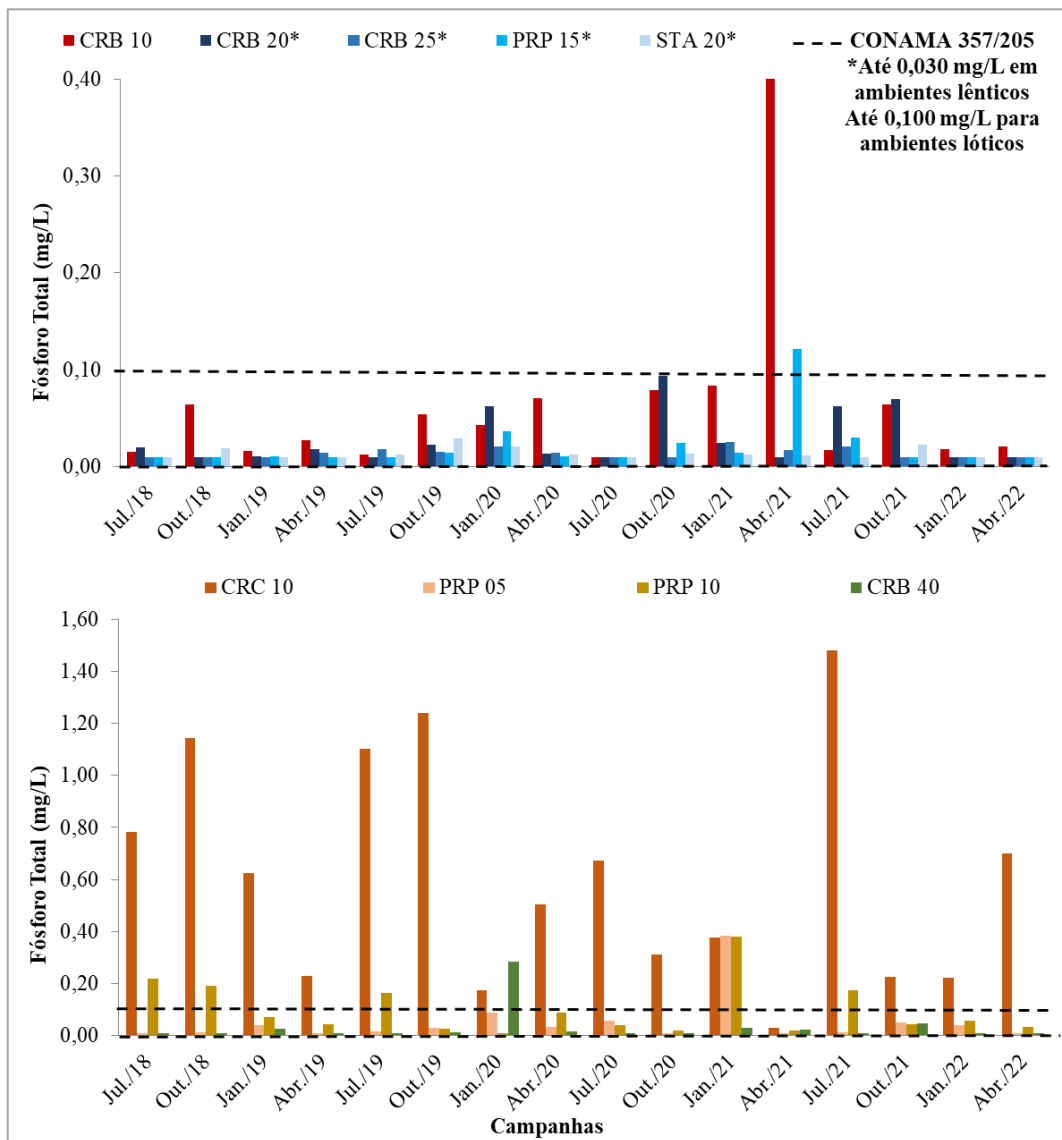
Para as águas doces de Classe 2, a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece os seguintes limites para fósforo total em águas superficiais:

- Até 0,030 mg/L em ambientes lênticos;
- Até 0,050 mg/L em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambientes lênticos;
- Até 0,100 mg/L para ambientes lóticos e tributários de ambientes intermediários.

Esses valores são determinados para controlar os níveis de fósforo nas águas, garantindo sua qualidade e a preservação dos ecossistemas aquáticos em águas de Classe 2, que são destinadas ao abastecimento após tratamento convencional. O fósforo é um nutriente essencial, mas, em excesso, pode levar à eutrofização e desequilíbrios ambientais.

A Figura 13 apresenta os resultados obtidos para Fósforo Total, que variaram de 0,01005 mg/L no PRP 15, em jul./19, a 1,48 mg/L no CRC 10, em jul./21, com mediana de 0,02. Muitos resultados não atenderam à legislação vigente em pelo menos uma das campanhas nos pontos a montante, reservatório, nos tributários e a jusante. É importante ressaltar que o tributário CRC 10 esteve em desacordo em todas as campanhas, com ressalva somente de abr./21.

Figura 13: Variação dos dados do Fósforo Total (mg/L) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

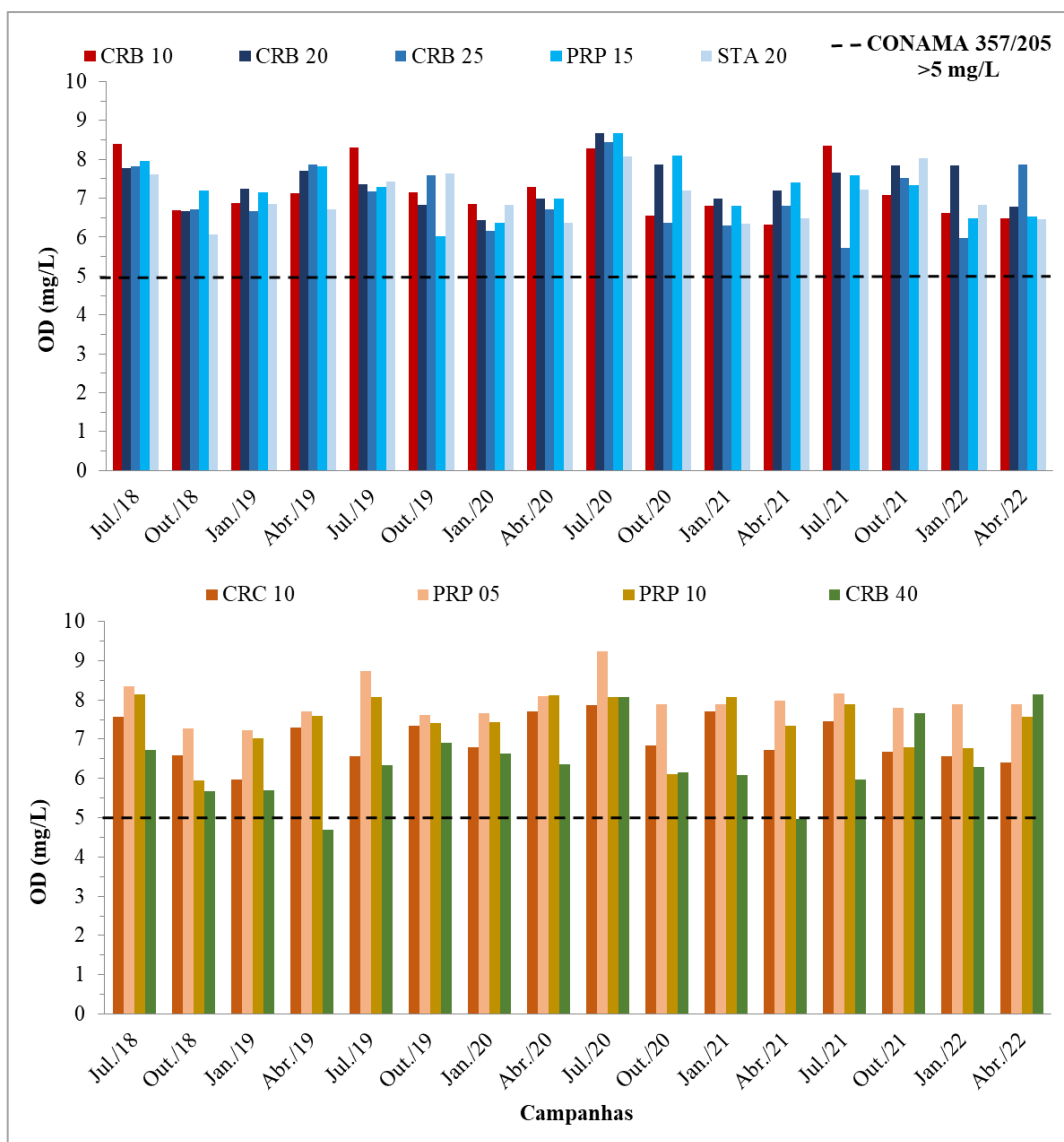
5.5.6. Oxigênio Dissolvido (OD)

De forma geral, a variação sazonal deste parâmetro demonstrou notável estabilidade, com a maioria das leituras permanecendo consistentemente acima de 5 mg/L. Os valores do Oxigênio Dissolvido variaram de 4,69 no ponto CRB40, em abril de 2019, a 9,23 mg/L no ponto PRP05, em jul./20 (Md= 7,2 mg/L), com a quase totalidade das amostras ficando acima do valor mínimo aceitável pela Resolução Conama n° 357/2005 em águas doces de Classe 2, ou seja, acima de 5,0 mg/L (Figura 14).

Os resultados que estiveram abaixo de 5,0 mg/L foram registrados somente a jusante do reservatório no ponto CRB 40, em abril de 2019 (4,69 mg/L) e abril de 2021 (4,96 mg/L), devido à influência de dois fatores.

Por causa da maior intensidade de radiação solar sobre o corpo d'água, a concentração de oxigênio dissolvido (OD) tende a diminuir naturalmente durante a estiagem, uma vez que essa relação é inversamente proporcional, resultando em uma redução na solubilidade do oxigênio na água.

Figura 14: Variação dos dados do Oxigênio Dissolvido (OD) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

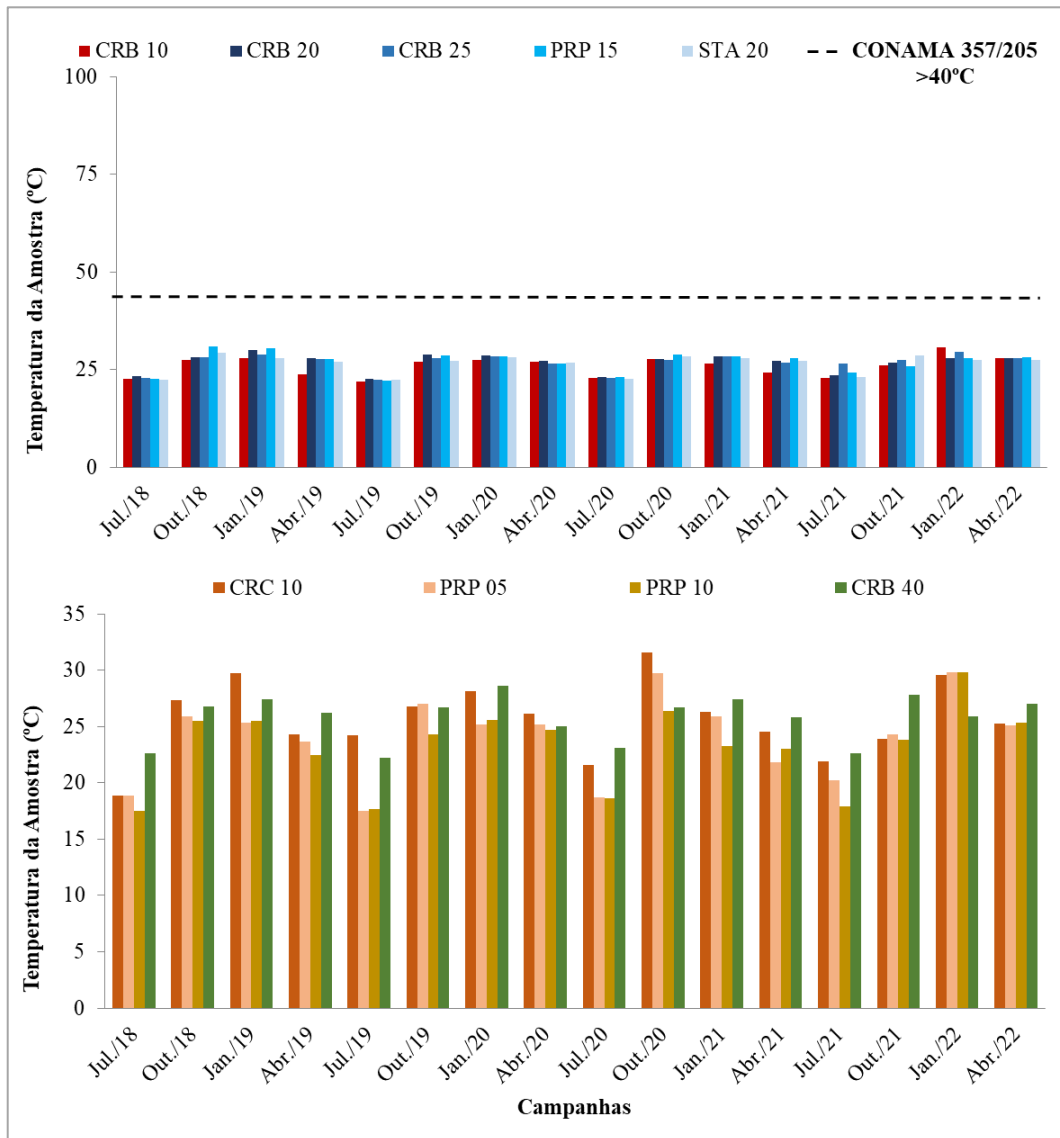
5.5.7. Temperatura da Amostra

A Resolução Conama n.º 357/2005 estabelece que, para águas de Classe 2, o valor máximo permitido para a temperatura da amostra deve ser inferior a 40°C. Esse limite é importante para monitorar a temperatura da água e assegurar que ela não ultrapasse valores que possam afetar negativamente o ecossistema aquático e o uso sustentável desse recurso natural.

Os valores obtidos tendem a diminuir à medida que a profundidade aumenta, sendo registradas temperaturas menores nas amostragens de fundo. Esse comportamento é comum em reservatórios, pois as camadas superiores dos corpos d'água apresentam temperatura mais elevada devido à incidência direta da radiação solar, que é convertida em energia calorífica. À medida que nos afastamos da superfície e mergulhamos em maiores profundidades, a influência do calor solar diminui, resultando em temperaturas mais baixas nas camadas mais profundas dos reservatórios. Esse gradiente térmico vertical é uma característica relevante para compreender o comportamento térmico dos corpos d'água e suas implicações nos ecossistemas aquáticos.

A temperatura da amostra apresentou resultados oscilando de 17,5°C no PRP 05, em jul./19, e no PRP 10, em jul./18, a 31,6°C no CRC 10, em out./20, como está apresentado na Figura 15. Desta forma, todos os resultados estiveram abaixo de 40°C. Este limite de temperatura foi estabelecido para áreas de lançamento de efluentes, conforme detalhado na Resolução 430/2011 do CONAMA, que regulamenta as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água, garantindo que a temperatura dos efluentes não cause impacto negativo ao meio ambiente aquático.

Figura 15: Variação dos dados da Temperatura da amostra (°C) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.



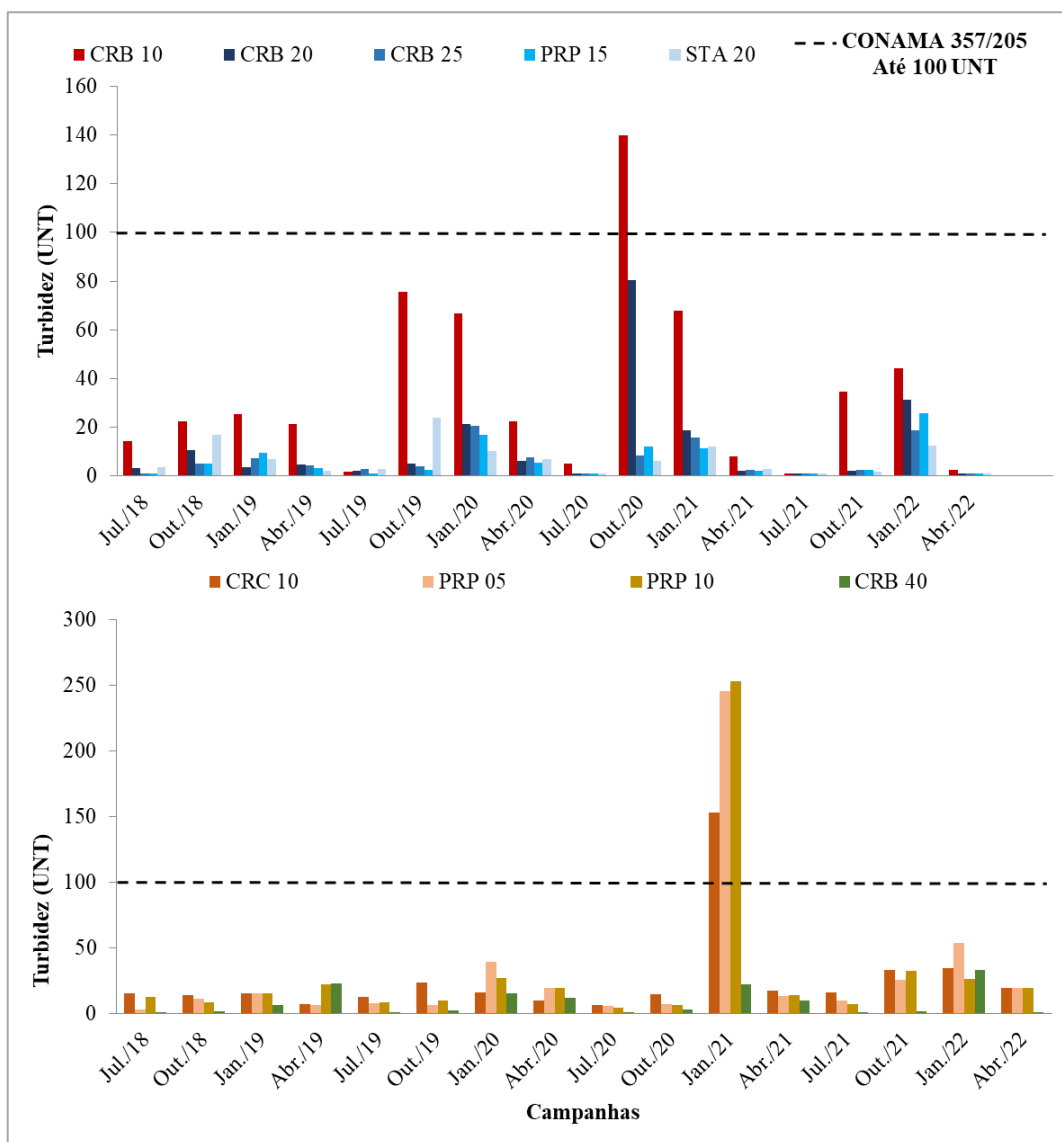
Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

5.5.8. Turbidez

A Resolução Conama n.º 357/2005 estabelece que, para águas de Classe 2, o valor máximo permitido para o parâmetro turbidez é de 100 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez). A medição da turbidez permite avaliar a presença de sólidos em suspensão na água, o que afeta diretamente sua transparência. O controle desse parâmetro é importante para garantir a qualidade e a transparência das águas de Classe 2, que são aquelas destinadas ao abastecimento público após tratamento convencional.

Os resultados da turbidez esteve entre 1,02 UNT no CRB 40, em jul./20, a 279,8 UNT no CRB 10, em out./20. Foram poucos os resultados que estiveram em desacordo com a legislação vigente; somente o CRB 10 a montante do reservatório, em out./20, e nos tributários CRC 10, PRP 05 e PRP 10, em jan./21, como pode ser observado na Figura 16.

Figura 16: Variação dos dados de Turbidez (UNT) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A relação das alterações na turbidez com o uso do solo é evidente. O aumento da turbidez nos pontos mencionados pode ser atribuído a atividades humanas intensificadas na região, como a expansão agrícola, pecuária e urbanização. Essas atividades frequentemente resultam em erosão do solo, aumento do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior

carga de sedimentos transportados para os corpos d'água. A falta de cobertura vegetal adequada e o manejo inadequado do solo exacerbam esses efeitos, levando a picos de turbidez, especialmente durante períodos de chuva intensa, quando o escoamento é mais pronunciado.

5.5.9. Sólidos Dissolvidos Totais (STD)

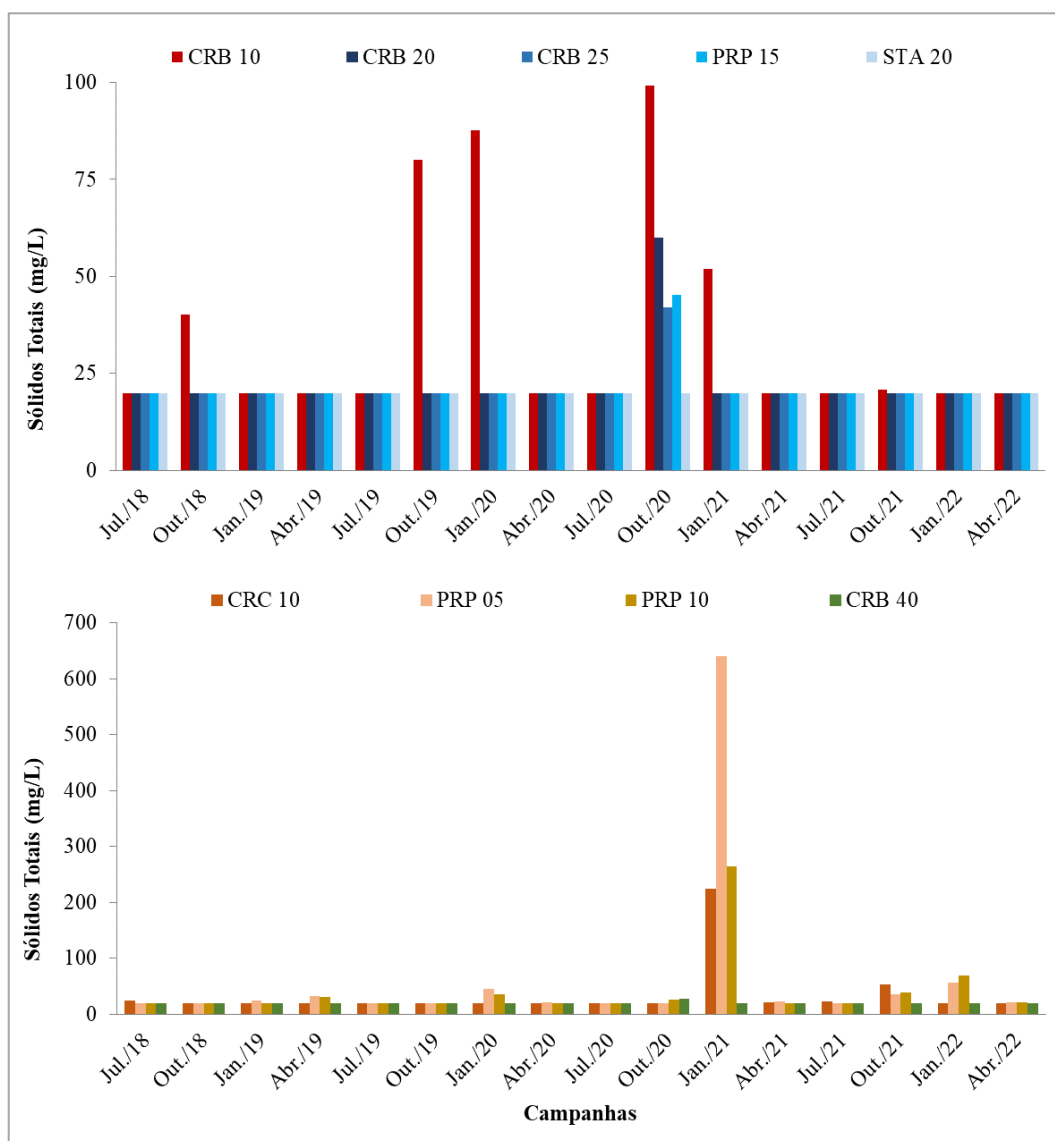
Para este parâmetro, é importante observar que não existem limites preestabelecidos na legislação ambiental vigente. Os resultados obtidos durante as campanhas realizadas estão representados na Figura 17. Essa ausência de limites regulamentares pode indicar a necessidade de uma análise mais aprofundada para compreender o impacto dos dados obtidos e sua relevância para a qualidade da água e a preservação do ecossistema aquático.

Quanto aos Sólidos Totais dissolvidos, apresentaram resultado igual a 20 mg/L na maior parte dos pontos analisados e variaram até 640,66 no ponto PRP 05 em jan./21. Conforme afirmam Marques *et al.* (2015), o aumento nos níveis de sólidos, especialmente durante os meses de janeiro, outubro e abril, pode ser explicado pelo influxo de material alóctone devido à temporada de chuvas, uma vez que todos os poluentes na água, exceto os gases dissolvidos, contribuem para o acúmulo de sólidos.

É importante ressaltar que os valores mais elevados foram registrados no ponto a montante e em jan./21 nos tributários, isso porque os períodos mais propensos a chuva tendem a interferir nos resultados mais elevados para os sólidos presentes na água. As partículas em suspensão, que incluem substâncias sólidas com diâmetro superior a 1 μ , de acordo com Vasco *et al.* (2011), têm influência de seus valores sobre a turbidez, quando exercem impacto sobre os ecossistemas aquáticos, afetando tanto a fotossíntese quanto a dinâmica hidrossedimentométrica (Bárbara *et al.*, 2010).

Outro fator que merece atenção é o leve aumento nas concentrações de sólidos dentro da área da barragem em relação aos demais pontos, pois a velocidade da água diminui, favorecendo esse aporte mais lento de sólidos em ambiente lântico.

Figura 17: Variação dos dados dos Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L) nos diferentes pontos de coleta no período de 2018 a 2022.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Durante períodos de chuva, o aumento do escoamento superficial leva ao carregamento de materiais alóctones (externos ao sistema aquático) para os rios e reservatórios, aumentando tanto a turbidez quanto os níveis de STD. Este fenômeno é evidente nos dados coletados em janeiro de 2021, onde os picos de turbidez e STD coincidem com o período de alta precipitação.

As correlações entre esses parâmetros destacam a importância de monitorar e gerenciar o uso do solo e as atividades humanas nas bacias hidrográficas, para minimizar os efeitos negativos sobre os recursos hídricos. Implementar práticas de manejo sustentável e

conservar áreas de vegetação nativa são estratégias essenciais para reduzir a carga de sedimentos e melhorar a qualidade da água nos reservatórios e cursos d'água.

5.6. Conclusões

A comparação dos dados monitorados com a Resolução 357/2005 do CONAMA, apesar de terem ocorrido desvios em relação a alguns parâmetros estipulados, o rio Corumbá exibe características que, embora não estejam em conformidade com os padrões estabelecidos por esse órgão, são inerentes às particularidades naturais da região.

Os parâmetros que frequentemente apresentam descumprimento dos limites estabelecidos, sendo estes em pelo menos uma das estações - pH; oxigênio dissolvido; turbidez; DBO; fósforo total e coliformes termotolerantes - não atenderam à legislação ambiental. As atividades humanas na área examinada do corpo d'água mostram evidências de impacto no aumento dos níveis de matéria orgânica, principalmente no ponto CRC 10, no rio de Caldas, localizado próximo ao município de Caldas Novas-GO. Esse aumento é mais pronunciado durante a temporada de chuvas, quando o escoamento superficial transporta maiores quantidades de poluentes e matéria orgânica para os corpos d'água.

Os períodos de chuva intensificam esses impactos, pois o escoamento carrega sedimentos, nutrientes e outros poluentes das áreas urbanas e agrícolas para os rios e reservatórios. Isso resulta em picos nos níveis de turbidez, DBO e fósforo total, além de aumentos nos coliformes termotolerantes, devido à maior carga de esgoto e resíduos orgânicos sendo levados para os cursos d'água.

Embora haja desafios significativos, é essencial implementar medidas eficazes de gestão e conservação para proteger a qualidade da água e os ecossistemas aquáticos. Isso inclui a adoção de práticas sustentáveis e o engajamento da comunidade local na preservação desses recursos vitais para o bem-estar humano e a saúde dos ecossistemas.

Este estudo destaca a importância crucial de implementar estratégias sustentáveis de gestão apropriadas para preservar a cobertura vegetal e realizar o devido tratamento de esgotos. Essas abordagens têm o objetivo não apenas de proteger, mas também de aprimorar a qualidade dos recursos hídricos. Ao adotar tais medidas, é possível reduzir os efeitos negativos na qualidade da água, garantindo a disponibilidade de água limpa e saudável para as gerações presentes e futuras.

5.7. Referências

APHA - American Public Health Association; **American Water Work Association -AWWA; Water Pollution Control Federation – WPCF**. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23^a ed. Denver, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento.** Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/35705.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Águas Ministério do Meio Ambiente. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil.** 2005. Disponível em: PANORAMA_DA_QUALIDADE_DAS_AGUAS.pdf. Acesso em: 14 set. 2023.

Gleeson, T., Cuthbert, M., Ferguson, G., Perron, D. **Global groundwater sustainability, resources and systems in the Anthropocene.** Annual review of earth and planetary sciences, v.48, p.431-463, 2020. DOI:10.1146/annurevearth-071719-055251

SANTOS, G. O.; RIBEIRO, R. L.; PARREIRA, T. P.; SILVA, D. F.; SILVA, K. A.; AZEREDO, C. F. **Monitoramento da água em bacia hidrográfica com diferentes usos do solo no município de Rio Verde (GO).** Rev Agronegócio Meio Ambiente. 12(1):249-271, 2019.

Shah, S. M., Liu, G., Yang, Q., Wang, X., Casazza, F. A., Agostinho, F., Giannetti, B. F. (2019). **Emergy-based valuation of agriculture ecosystem services and dis-services.** *Journal of Cleaner Production*, 239, 118019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118019>

6 PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO 2

Mapas Temáticos - Identificação do Uso e Ocupação do Solo nas Áreas de Influência do Reservatório da Usina Hidrelétrica Corumbá – Goiás

6.1. Apresentação

Este trabalho originou-se da dissertação desenvolvida durante o Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – *Campus Bambuí*. O título da dissertação é "Índice de Qualidade da Água e a Influência do Uso e Ocupação do Solo no Reservatório da Usina Hidrelétrica Corumbá – Goiás", apresentada e defendida em 16/05/2024, sob a orientação do professor Dr. Jairo Rodrigues Silva.

O objetivo foi diagnosticar a ocupação das áreas que possam ter impacto direto sobre o reservatório da UHE Corumbá, durante o período da pesquisa, e identificar suas possíveis influências na qualidade das águas. Para isso, foram coletados dados sobre a extensão das áreas rurais e urbanas dos municípios circundantes, assim como sobre os usos e ocupações do solo.

6.2. O produto

Os mapas temáticos representam visualmente uma situação específica, utilizando principalmente imagens capturadas por satélite. Eles oferecem uma representação macro das informações geográficas de uma área específica, destacando temas específicos, conforme necessário.

Para elaborar os mapas de uso e ocupação do solo, foram utilizados mapas da Coleção 8 do projeto MapBiomás, acessíveis online. Esses mapas são gerados de forma automatizada no *Google Earth Engine* (GEE) e armazenados no *Google Cloud*. A metodologia emprega imagens Landsat e algoritmos de árvore de decisão tipo *Random Forest*. Os dados foram baixados em formato GeoTiff para os anos de 1992, 2002, 2012 e 2022, com recorte para os municípios de Corumbá, Caldas Novas e Ipameri, em Goiás. No ArcGIS 10.2, os rasters foram reformatados para o sistema UTM, datum Sirgas 2000. Os mapas foram reclassificados em cinco categorias principais, agrupando classes semelhantes para facilitar a análise, conforme apresentado no Quadro 3, a seguir.

Quadro 3: Reclassificação das tipologias.

ID nativo do MapBiomas v8.0	Tipologia	Cor atribuída
1.1-Formação Florestal; 1.2-Formação Savânica; 1.3-Mangue; 1.4-Floresta Alagável; 1.4-Restinga Arbórea	Floresta	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa; 2.2. Formação Campestre; 2.6. Outras Formações não Florestais; 2.4. Afloramento Rochoso; 2.3. Apicum; 2.5. Restinga Herbácea	Formação Natural não Florestal	
3.3. Silvicultura; 3.1. Pastagem; 3.2.1.2. Cana; 3.4. Mosaico de Usos; 3.2.2.3. Dendê (beta); 3.2.1.1. Soja; 3.2.1.3. Arroz; 3.2.1.5. Lavouras Temporárias; 3.2.2.1. Café; 3.2.2.2. Citrus; 3.2.2.4. Outras Lavouras Perenes; 3.2.1.4. Algodão (beta)	Agropecuária	
4.1. Praia, Duna e Areal; 4.2. Área Urbanizada; 4.4. Outras Áreas não vegetadas; 4.3. Mineração	Área não vegetada	
5.2. Aquicultura; 5.1. Rio, Lago e Oceano	Corpo D`água	

Fonte: Elaborado pela autora 2024.

Após a reclassificação das tipologias nos mapas, os resultados, em hectares, das áreas de uso e ocupação de cada classe foram obtidos por meio do download de quatro tabelas no *Microsoft Excel*®, uma para cada ano analisado. Essas tabelas foram retiradas da plataforma online do MapBiomas, garantindo a sincronização dos dados e buscando maior confiabilidade nos resultados.

Portanto, os mapas são altamente aplicáveis em estudos e constituem um acervo fundamental para análises e tomadas de decisão sobre a importância e o controle destinados à zona rural e à expansão planejada da zona urbana da cidade. Eles permitem considerar os usos que se pretende promover ou restringir, orientando o planejamento e o desenvolvimento urbano de forma mais eficaz.

6.3. Relevância Social e Econômica

O produto destaca sua relevância social e econômica ao servir como um instrumento que reflete a realidade das áreas, mostrando as ocupações e atividades que refletem a economia e o perfil social locais.

6.4. Aderência

Com foco no desenvolvimento, avaliação e aplicação de métodos para aumentar a produção agropecuária e promover sistemas conservacionistas de uso do solo, a dissertação, apoiada pelo produto gerado, contribui para aperfeiçoar o manejo e a conservação do solo. Ele permite avaliar as causas do uso inadequado do solo, especialmente em áreas de interesse agropecuário e ambiental, monitorando e recuperando essas áreas.

A discussão dos resultados do diagnóstico das ocupações ilegais nas proximidades a recursos hídricos não só tem relevância prática, mas também é importante para o meio acadêmico, com impacto multidisciplinar. Conhecer o território da cidade e seus usos por meio dos mapas temáticos é crucial para disciplinas como direito ambiental e urbanístico, geografia urbana, urbanismo, sociologia, agronegócio e gestão pública.

Além disso, o uso de mapas temáticos e o estudo do território são extremamente valiosos para o ensino de Geografia. Eles permitem que os alunos compreendam melhor a relação entre o uso do solo e a qualidade dos recursos hídricos, a importância da conservação ambiental e os impactos das atividades humanas no meio ambiente. A integração de tais ferramentas no ensino pode enriquecer a aprendizagem, proporcionando uma visão prática e aplicada dos conceitos geográficos, além de incentivar uma conscientização ambiental mais profunda entre os estudantes.

6.5. Impacto

Os mapas, juntamente com a dissertação, têm uma aplicabilidade significativa, pois servem como base para análises e decisões sobre o controle e importância atribuída à zona rural e à expansão planejada da zona urbana da cidade. Eles permitem considerar os usos que se pretende promover ou restringir, auxiliando na tomada de decisões estratégicas. O estudo não apenas destaca a redução da zona rural do município, um aspecto crucial da economia local, mas também chama a atenção para a falta de planejamento nesse sentido, alertando os leitores e os envolvidos na gestão do território municipal.

6.6. Complexidade

Apesar da possibilidade de aplicabilidade, tanto a produção dos mapas quanto a dissertação que os fundamenta demandam uma abordagem multidisciplinar para sua

elaboração. Isso se deve ao envolvimento de conhecimentos em engenharia relacionados a conceitos e técnicas de geografia e geoprocessamento, além de uma compreensão sensível da história e realidade do mercado, do crescimento urbano, rural, econômico e social do objeto de estudo.

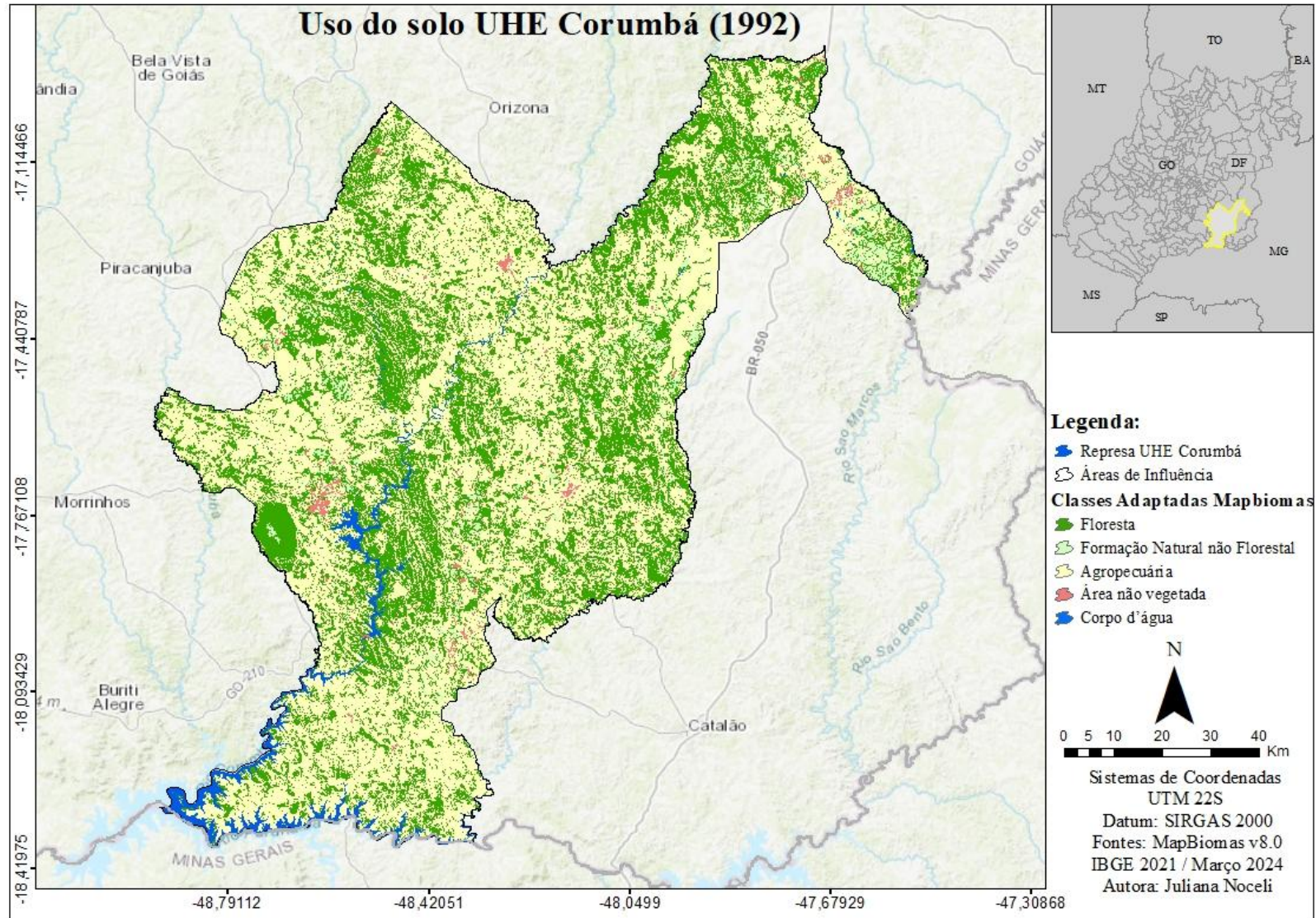
6.7. Considerações Finais

O uso do MapBiomas para analisar o uso e cobertura do solo mostrou resultados satisfatórios em termos de rapidez e precisão. Mudanças significativas foram observadas nas classes de Floresta, Formação Não Natural e Agropecuária, com os maiores desvios registrados nessas áreas. A análise espaço-temporal das áreas de influência da UHE Corumbá revelou uma substituição da área florestal por áreas agrícolas entre 1992 e 2022, com projeções indicando reduções na área de agricultura e aumento na área urbanizada, especialmente devido ao crescimento de condomínios e áreas de lazer nas proximidades da represa. O uso do solo na região do reservatório de Corumbá é dinâmico e influenciado por diversos fatores, como desenvolvimento econômico, crescimento populacional, práticas agrícolas, conservação ambiental e atividades recreativas.

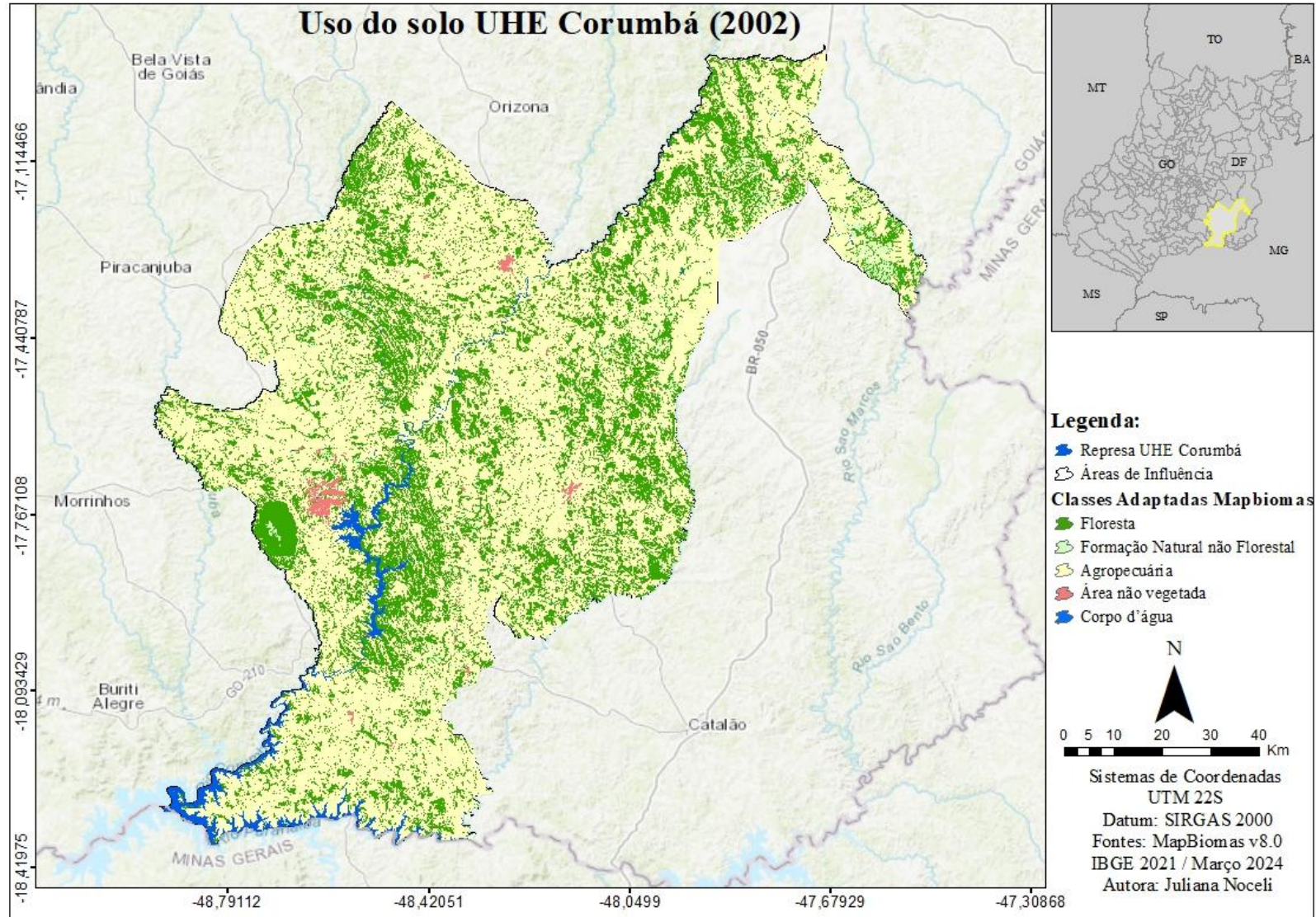
O estudo destaca a importância do entendimento e uso sustentável do solo na região, especialmente em relação aos impactos das atividades humanas na conservação ambiental, qualidade da água e sustentabilidade dos recursos naturais. Com base no estudo, algumas ações podem ser estabelecidas, como a implementação de práticas de manejo sustentável do solo, zoneamento e planejamento territorial equilibrando desenvolvimento econômico e conservação ambiental, monitoramento contínuo do uso do solo e engajamento da comunidade na tomada de decisões relacionadas ao uso do solo.

6.8. Apêndices

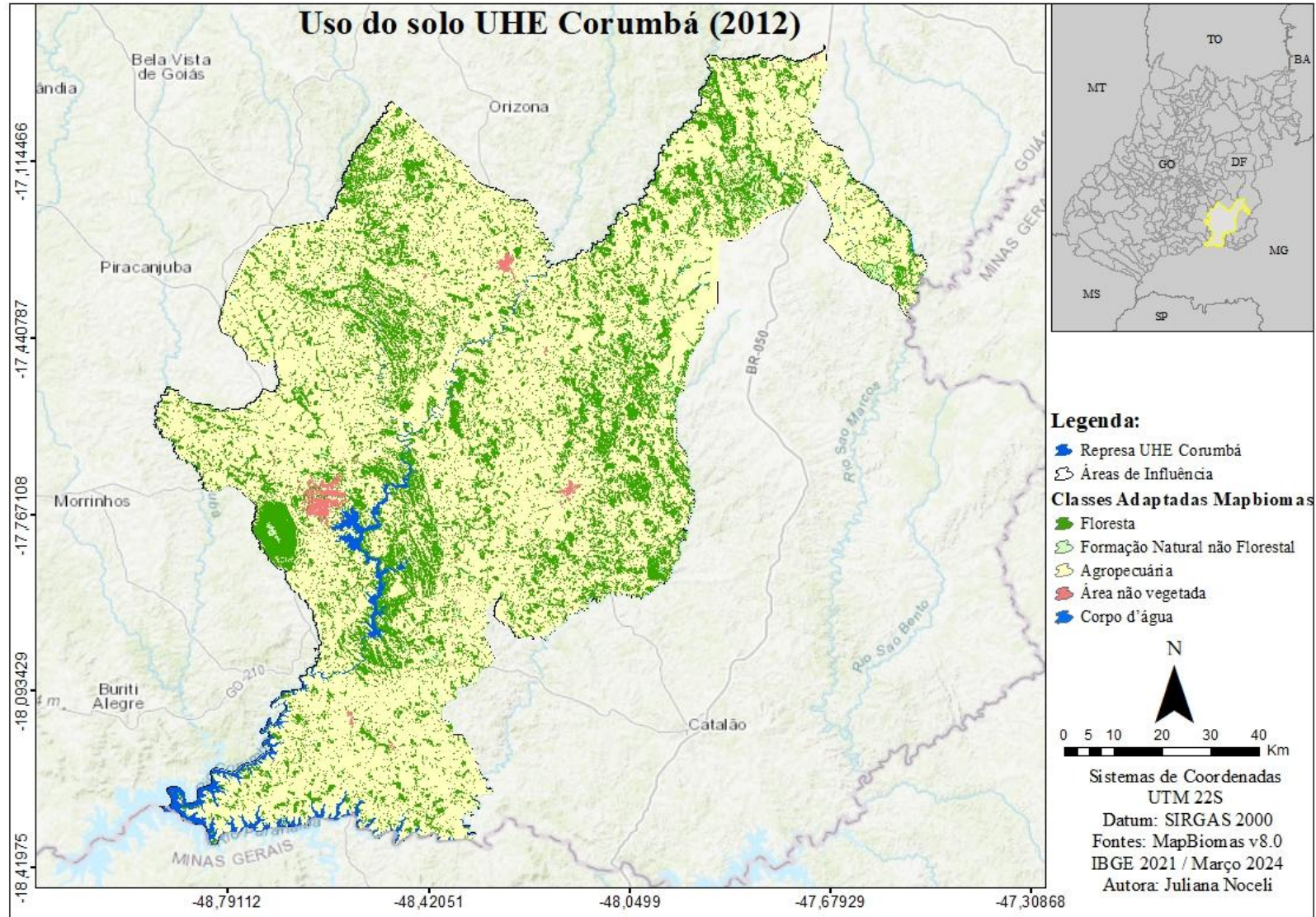
Apêndice A: Mapa temático de classificação de uso do solo nas áreas de influência da UHE Corumbá-GO (1992).



Apêndice B: Mapa temático de classificação de uso do solo nas áreas de influência da UHE Corumbá-GO (2002).



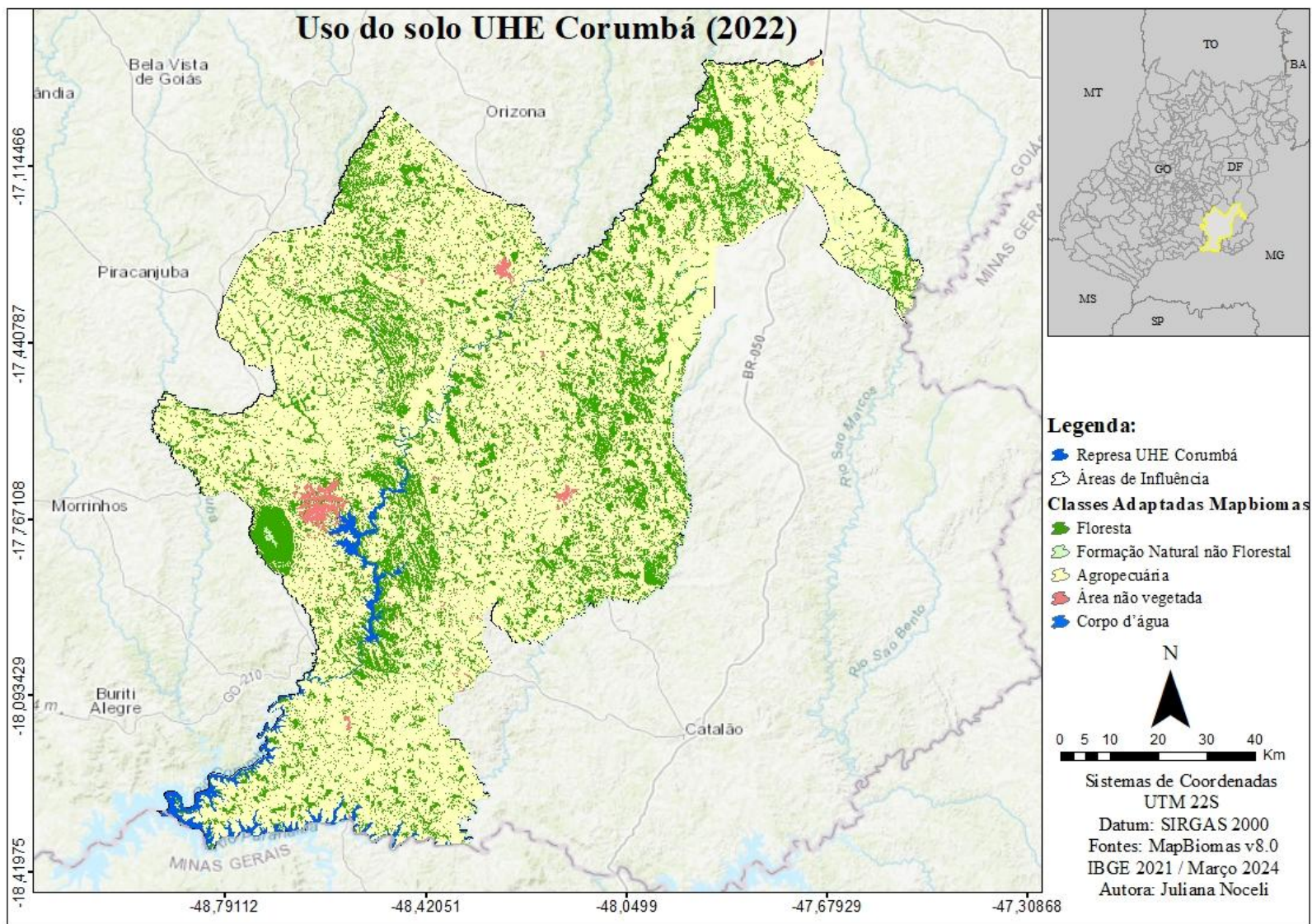
Apêndice C: Mapa temático de classificação de uso do solo nas áreas de influência da UHE Corumbá-GO (2012).



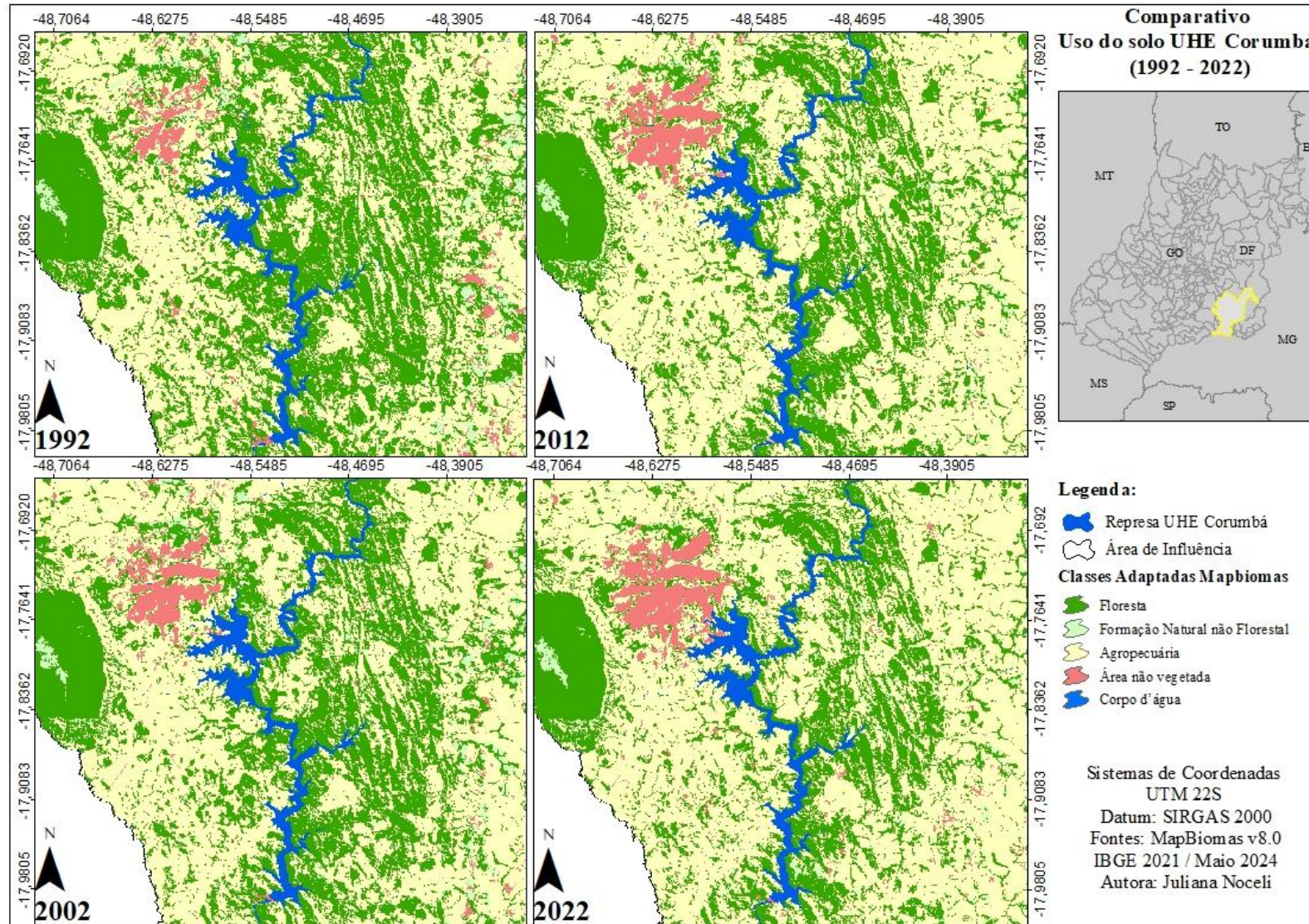
6.9. Referência

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomias – Coleção 2022 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org> Acesso em: 02 fev. 2024. DOI: <https://doi.org/10.58053/MapBiomias/VJIJCL>

Apêndice D: Mapa temático de classificação de uso do solo nas áreas de influência da UHE Corumbá-GO (2022).



Apêndice E: Comparativo dos mapas temáticos de classificação de uso do solo nas áreas de influência da UHE Corumbá-GO (1992 a 2022).



7 PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO 3

Mapas Temáticos - Identificação do Índice da Qualidade das Águas no Reservatório da Usina Hidrelétrica Corumbá – Goiás

7.1. Apresentação

Este trabalho surgiu da dissertação desenvolvida durante o Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do IFMG – *Campus* Bambuí. A dissertação, intitulada "Índice de Qualidade da Água e a Influência do Uso e Ocupação do Solo no Reservatório da Usina Hidrelétrica Corumbá – Goiás", foi apresentada e defendida em 16/05/2024, sob a orientação do professor Dr. Jairo Rodrigues Silva.

O objetivo foi apresentar os resultados do índice de qualidade das águas para o reservatório da UHE Corumbá, calculados durante a pesquisa, e identificar suas possíveis influências na qualidade das águas.

7.2. O Produto

Mapas temáticos constituem representações visuais que retratam uma situação específica, utilizando predominantemente imagens capturadas por satélites. Eles proporcionam uma visão geral das informações geográficas de uma área específica, enfatizando temas específicos, conforme necessário.

O Índice de Qualidade da Água (IQA), inicialmente desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF), nos Estados Unidos, adaptado no Brasil pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), do estado de São Paulo, é determinado pelo produto ponderado de nove parâmetros.

Neste estudo, o IQA de nove pontos foi calculado a partir de 144 amostras, com o objetivo de avaliar a qualidade da água na área influenciada pela UHE Corumbá no período de 2018 a 2022, em nove estações de coleta.

Os pontos localizados a montante, no reservatório, a jusante e em alguns pontos nos tributários demonstraram ser ambientes com qualidade de água entre boa e ótima. Esses locais são verdadeiramente preservados e mantêm características naturais ideais para esse tipo de água. Isso ressalta a importância de se implementar políticas de proteção para esses ambientes, especialmente diante da intensa pressão sobre os recursos hídricos.

7.3. Relevância Social e Econômica

O produto ressalta sua importância social e econômica ao atuar como um instrumento que espelha a realidade das áreas, evidenciando as ocupações e atividades que caracterizam a economia e o perfil social locais.

7.4. Aderência

Estudos de qualidade da água desempenham um papel crucial na proteção da saúde humana e ambiental, bem como na gestão sustentável dos recursos hídricos. Ao avaliar a pureza e segurança da água, esses estudos fornecem informações vitais para proteger as comunidades contra doenças transmitidas pela água e garantir o uso seguro e eficiente desse recurso vital.

Além disso, ao identificar fontes de contaminação e poluentes, esses estudos ajudam na implementação de medidas de controle e prevenção, promovendo, assim, a conservação dos ecossistemas aquáticos. Por meio do monitoramento contínuo da qualidade da água, é possível atender aos padrões regulatórios, planejar o uso racional dos recursos hídricos e tomar decisões informadas para garantir um ambiente saudável e sustentável para as gerações presentes e futuras.

No contexto deste estudo, o corpo hídrico em análise foi enquadrado como Classe 2, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 357/2005. As águas de Classe 2 são aquelas que podem ser utilizadas para o abastecimento público após tratamento convencional, para a recreação de contato primário, para a irrigação de hortaliças e plantas frutíferas, e para a proteção das comunidades aquáticas. Essa classificação implica em padrões de qualidade mais rigorosos, exigindo o monitoramento constante de parâmetros como turbidez, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total e coliformes termotolerantes.

Dado que os cursos d'água analisados neste estudo ainda estão em fase de proposta de enquadramento pela Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) dos rios Corumbá, São Marcos e Veríssimo², adotamos a Classe II para os cursos d'água avaliados.

A análise dos dados coletados revelou que, apesar de algumas violações dos parâmetros estabelecidos, como turbidez e níveis de coliformes, a maioria dos pontos monitorados manteve-se dentro dos limites aceitáveis para a Classe 2. Essas informações são

² Informação obtida na **Proposta de Enquadramento da UPGRH dos Rios Corumbá, São Marcos e Veríssimo**: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1f0f8ce7-f6d5-4ab6-a74d-083d8839da12/attachments/PRH-Paranaiba.pdf>

essenciais para a implementação de práticas de gestão e conservação que visam mitigar os impactos negativos das atividades humanas, especialmente nas áreas urbanas e agrícolas adjacentes aos corpos hídricos.

7.5. Impacto e Complexidade

Apesar da potencial aplicabilidade contínua deste estudo, tanto a produção dos mapas quanto a dissertação que os fundamentam exigem uma abordagem multidisciplinar para sua elaboração. Isso ocorre devido à necessidade de integrar conhecimentos em engenharia, relacionados a conceitos e técnicas de geografia e geoprocessamento, com uma compreensão sensível da história e realidade do mercado, do crescimento urbano, rural, econômico e social do objeto de estudo.

7.6. Considerações Finais

A construção do reservatório da Usina Hidrelétrica de Corumbá visava, principalmente, aumentar a produção de energia elétrica para atender às demandas da capital do país, mas também serviu para múltiplos fins, incluindo atividades recreativas. Os resultados do Índice de Qualidade da Água (IQA) indicaram que as águas do reservatório apresentam qualidade boa e ótima, enquanto os tributários demonstraram variação de qualidade de regular a boa na maioria dos pontos.

Algumas atividades humanas na região, como observado no ponto CRC 10, próximo ao rio Caldas, parecem ter aumentado os níveis de matéria orgânica. No entanto, pontos como PRP05 e PRP10 mantiveram boa e ótima qualidade, exceto em janeiro, quando houve maior incidência de chuvas. Essas inconsistências destacam a complexidade da variação na qualidade da água, sujeita à imprevisibilidade das precipitações e à descarga de poluentes. Portanto, é recomendável manter o monitoramento ambiental contínuo e a avaliação da qualidade da água. Este estudo ressalta a importância dos monitoramentos contínuos realizados pelas empresas de concessão de energia, permitindo a identificação das causas associadas à degradação da qualidade ambiental do reservatório ao longo do tempo.

7.7. Referência

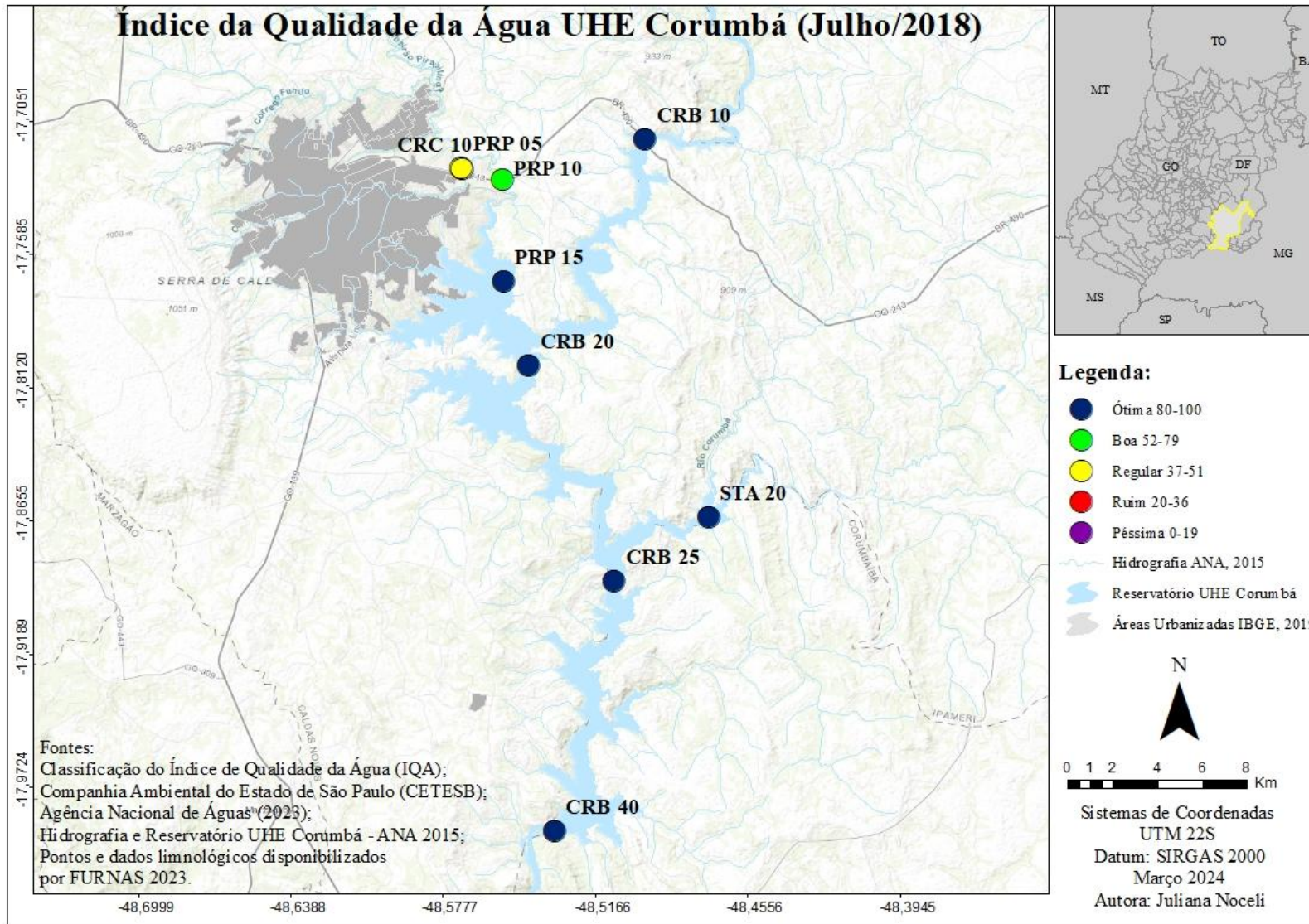
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. 1. ed. Brasília: Athalaia, 2011. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/Guia-nacional-de-coleta-e-preservacao-de-amostras-2012.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2024.

7.8. Agradecimentos

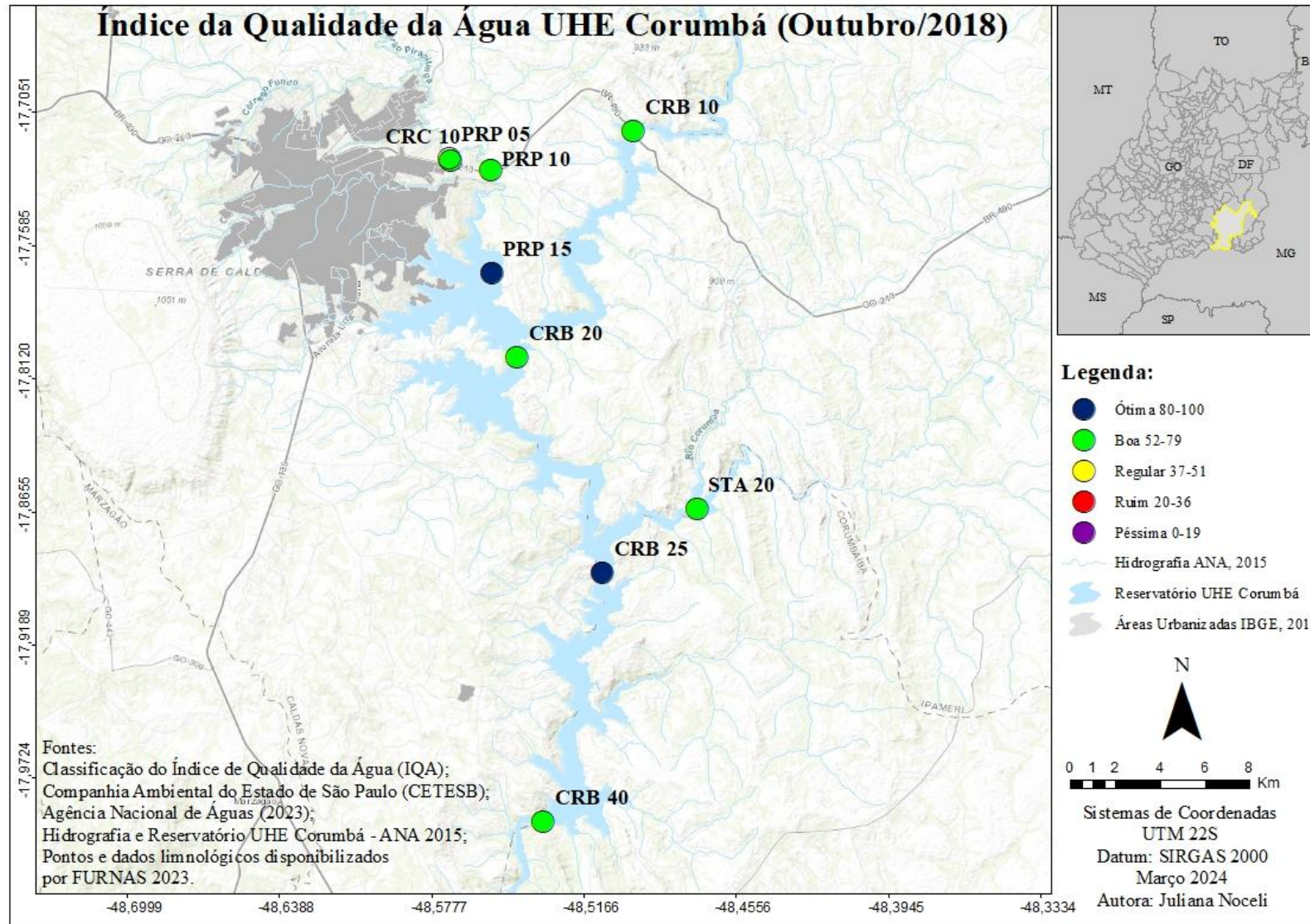
O presente trabalho foi realizado com o apoio de Furnas Eletrobras, por meio de uma parceria com o IFMG, que disponibilizou os dados para execução do estudo.

7.9. Apêndices

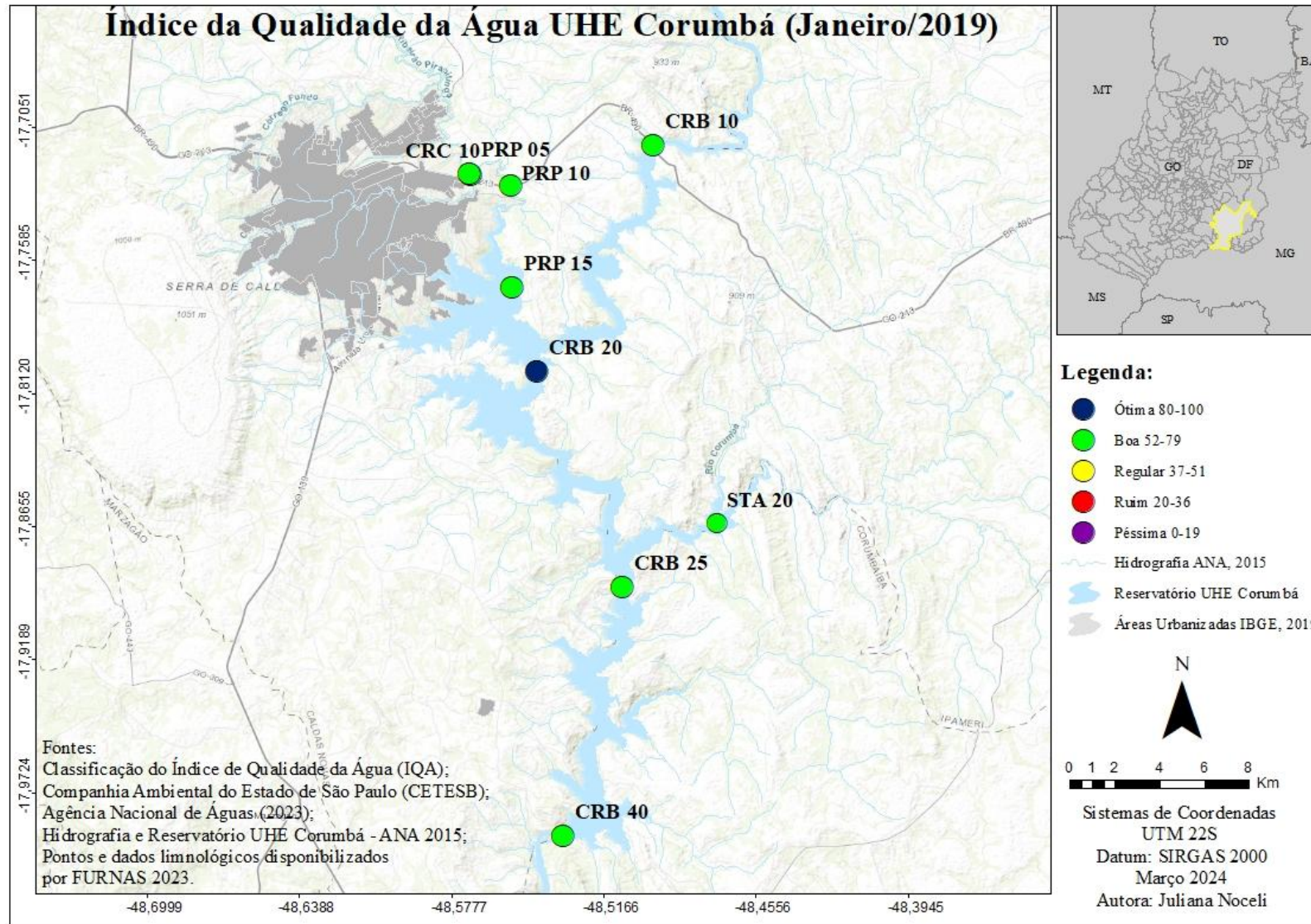
Apêndice A: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Julho/2018).



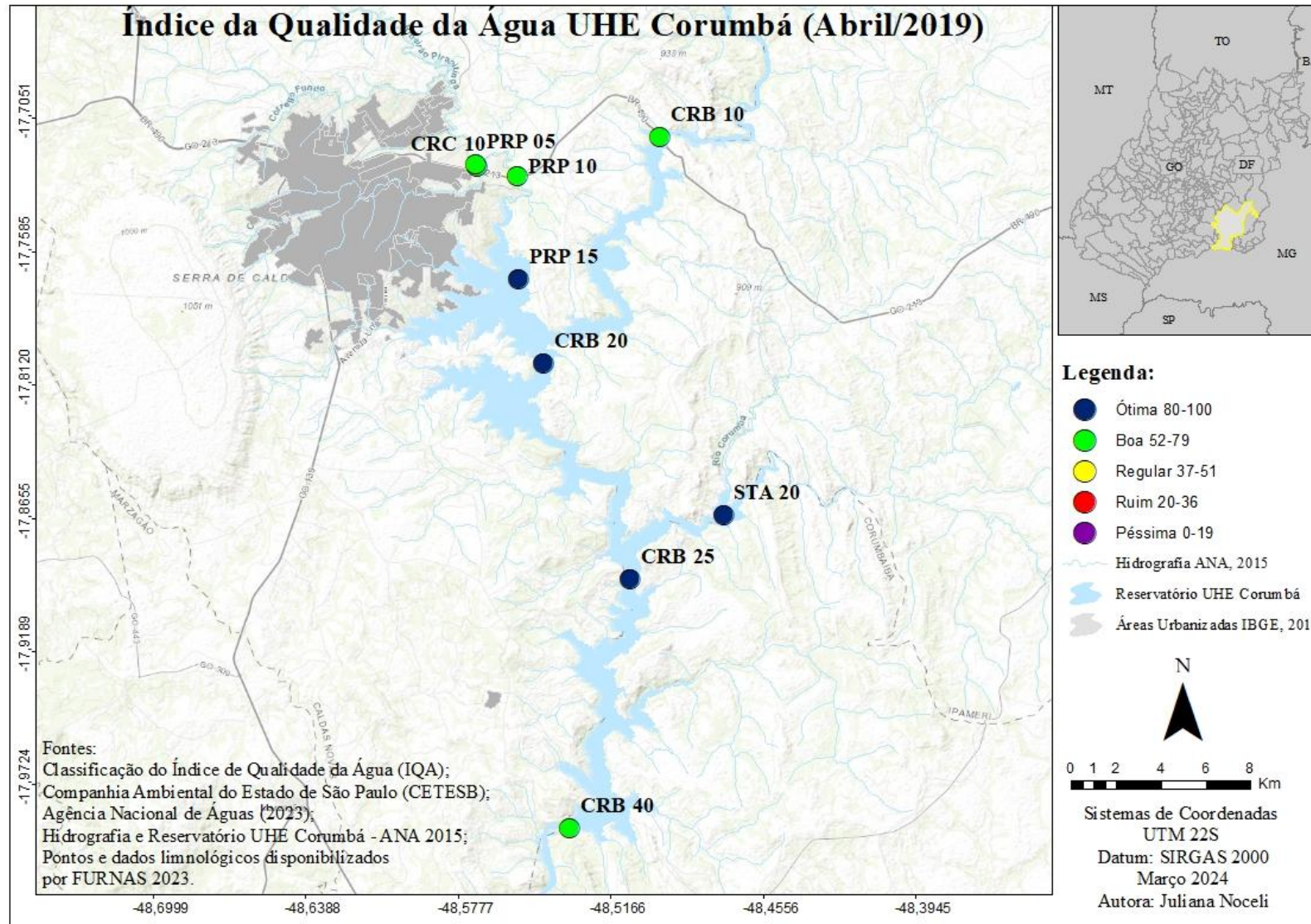
Apêndice B: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Outubro/2018).



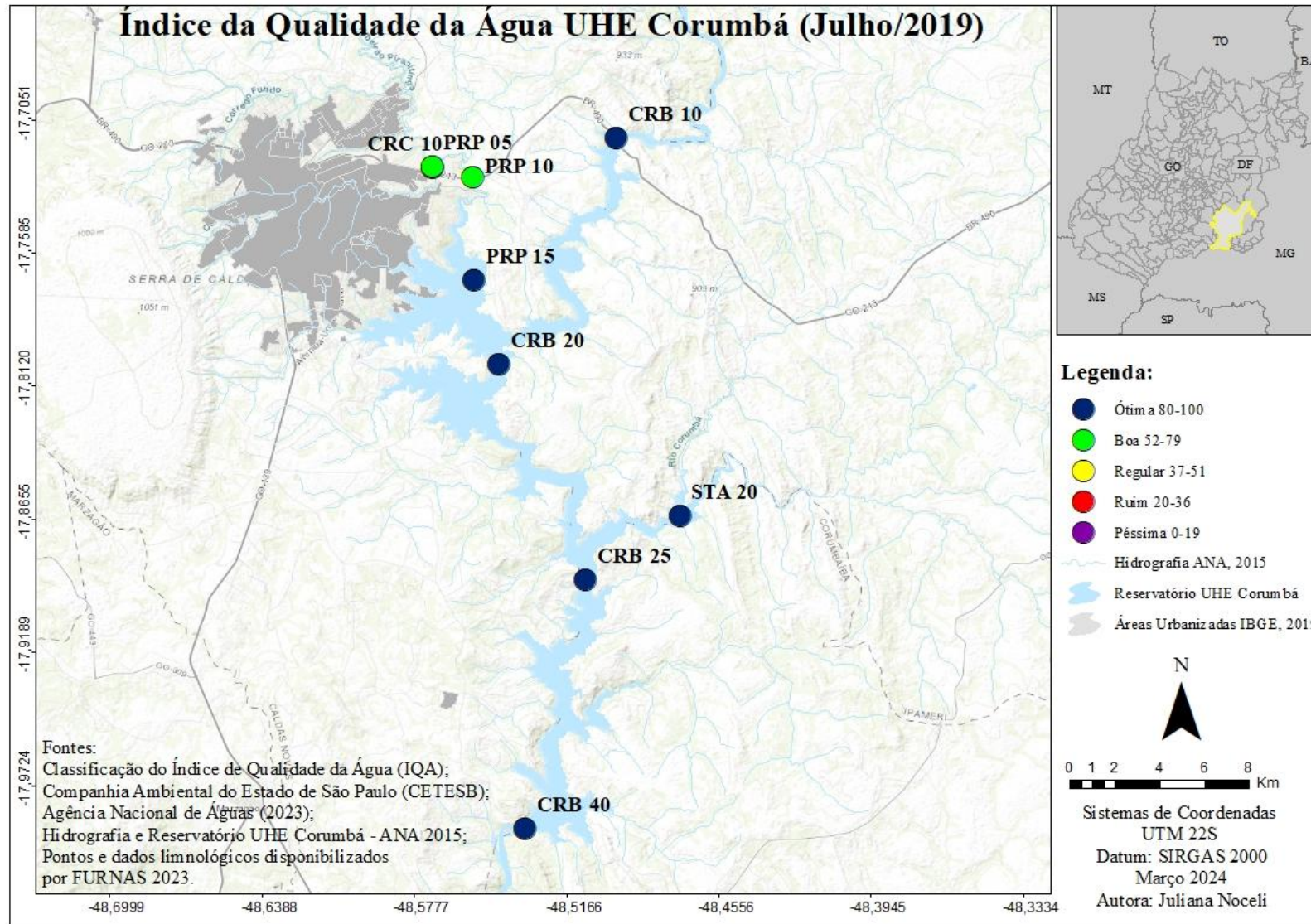
Apêndice C: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Janeiro/2019).



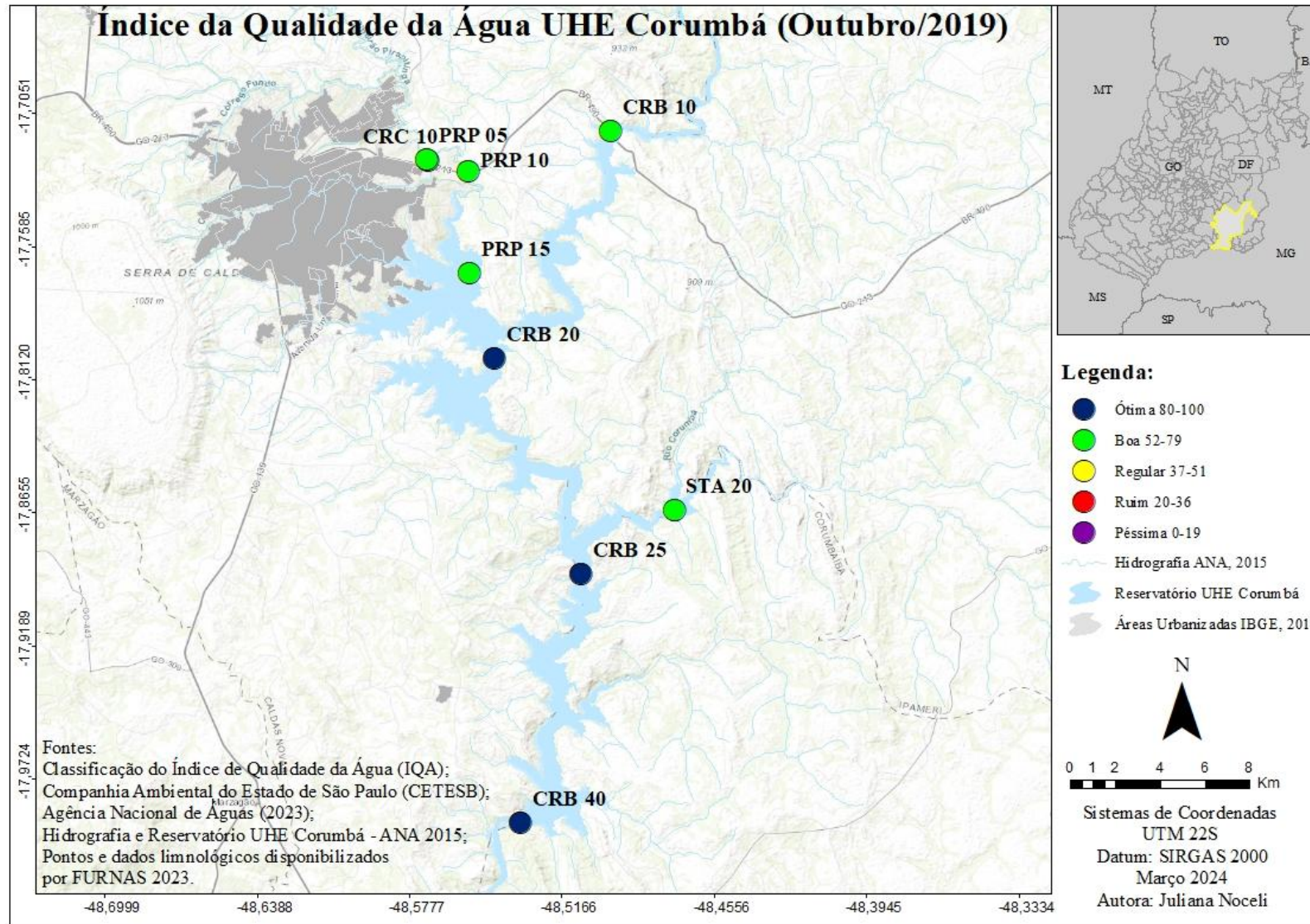
Apêndice D: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Abril/2019).



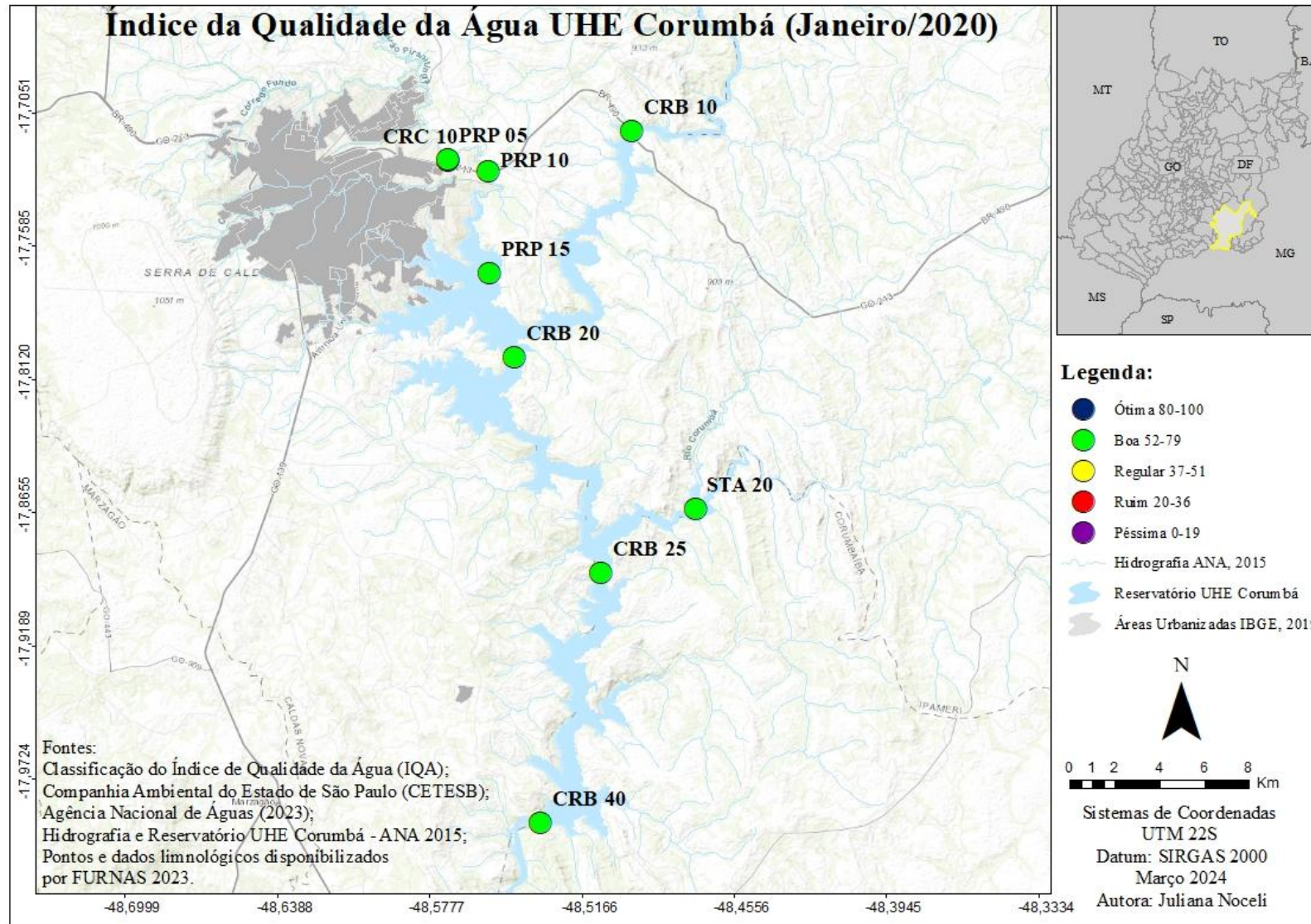
Apêndice E: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Julho/2019).



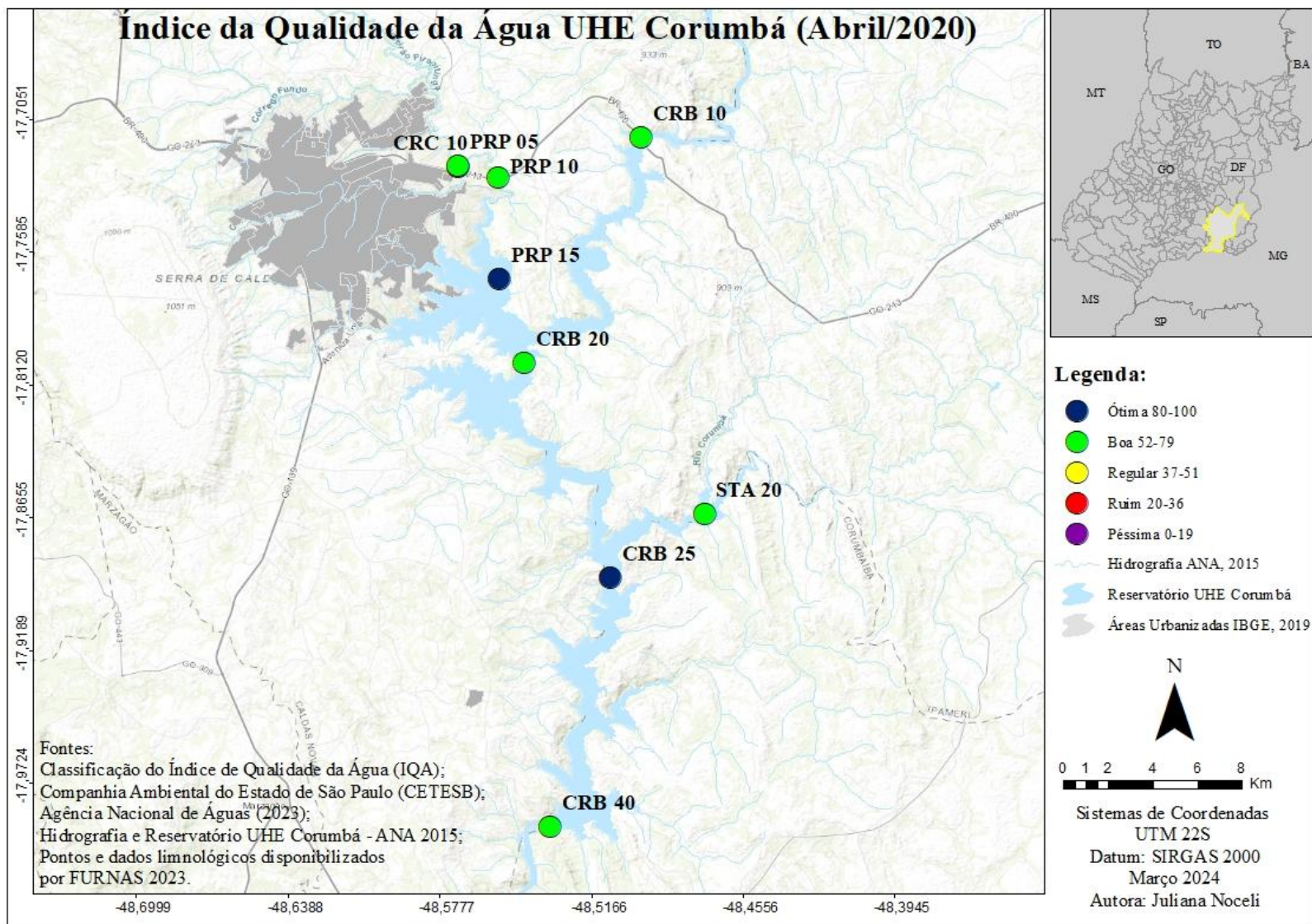
Apêndice F: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Outubro/2019).



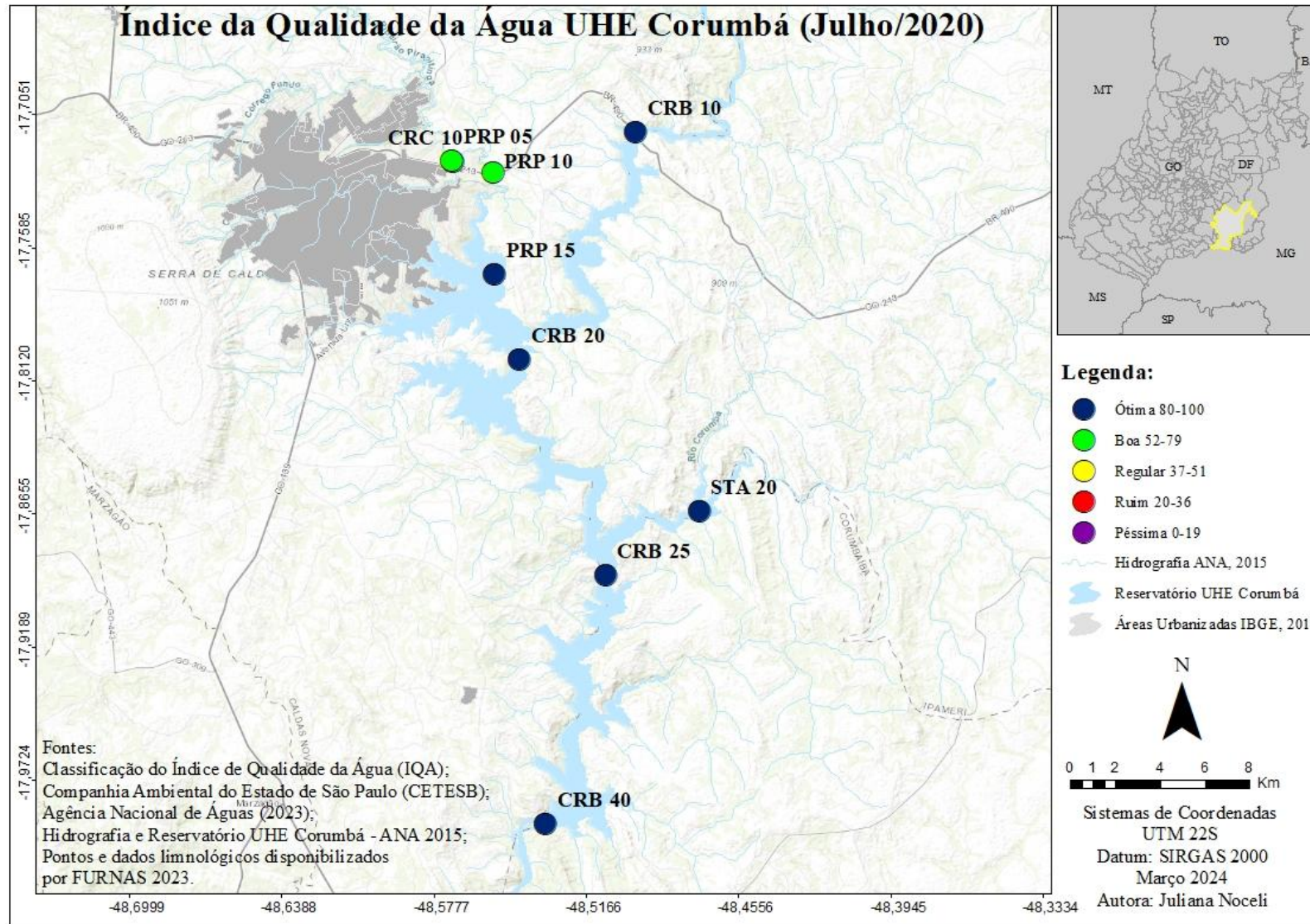
Apêndice G: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Janeiro/2020).



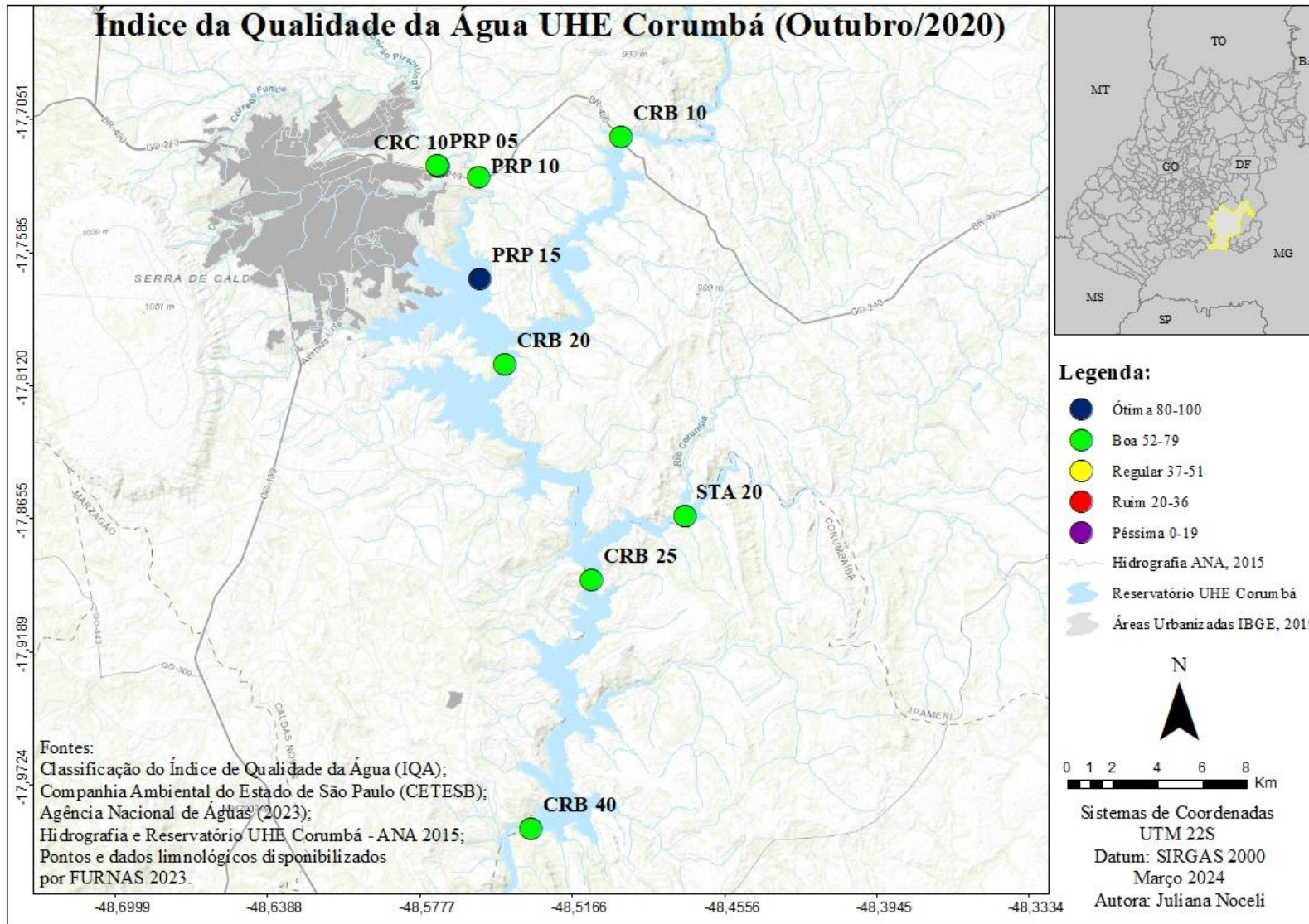
Apêndice H: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Abril/2020).



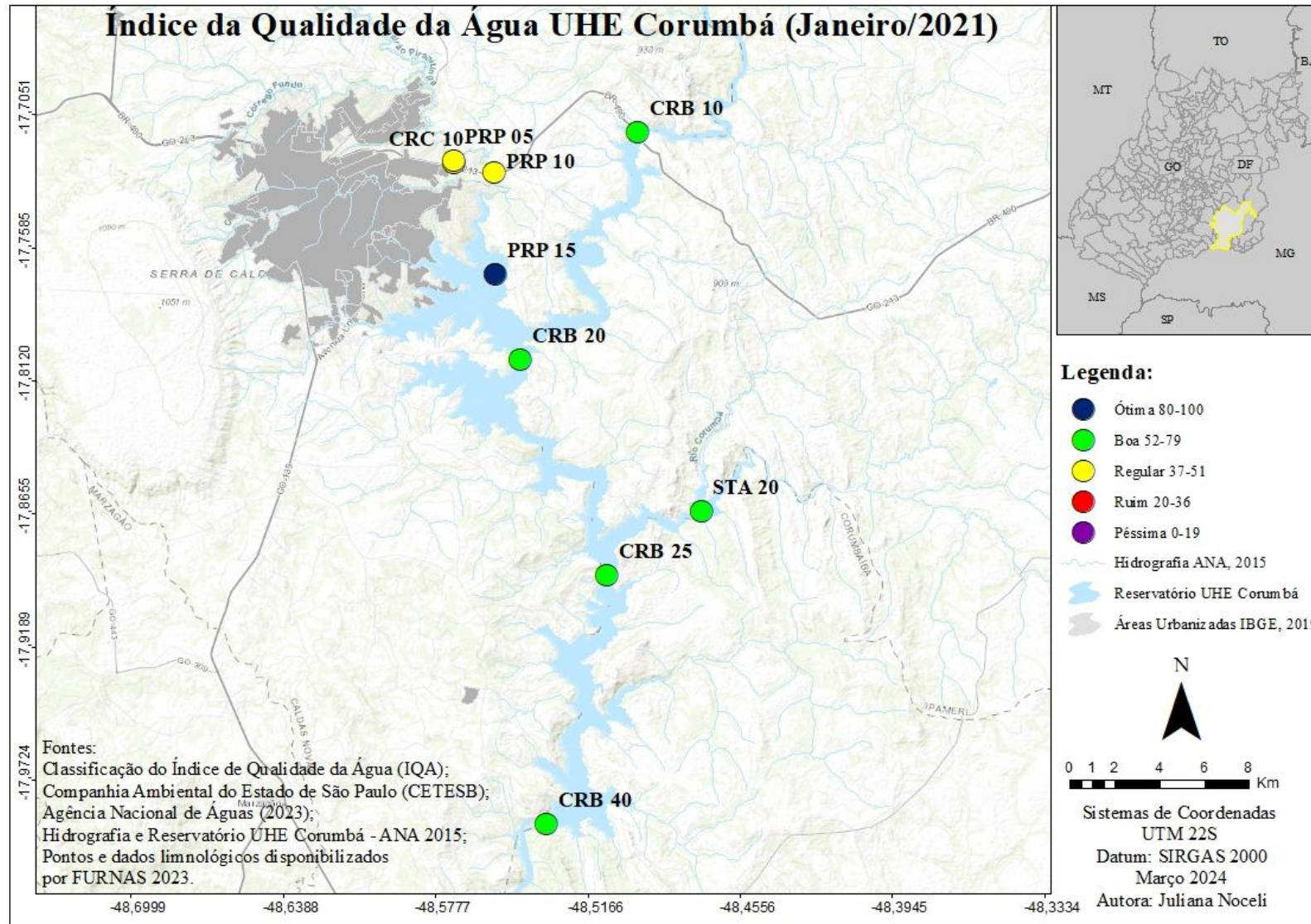
Apêndice I: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Julho/2020).



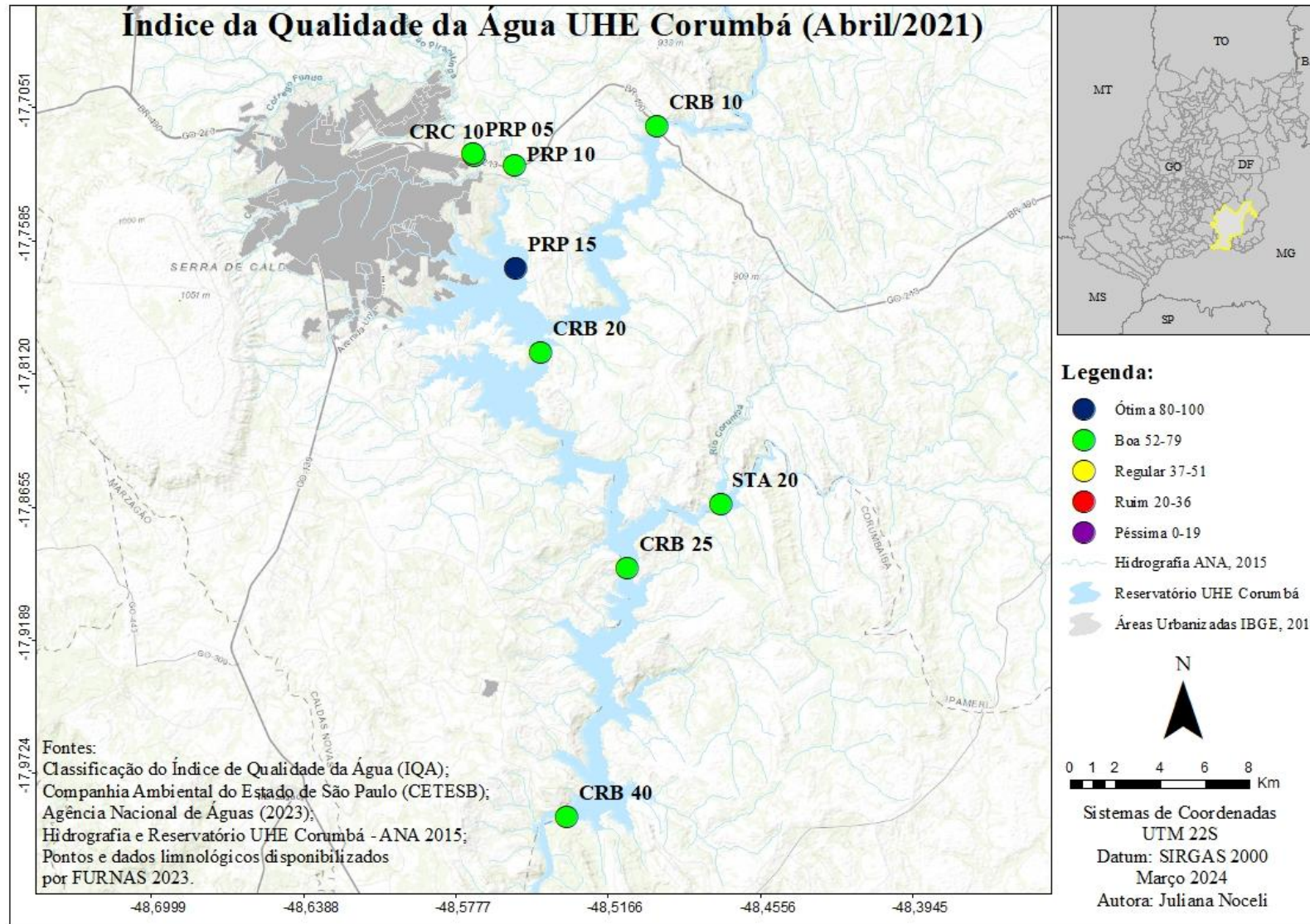
Apêndice J: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Outubro/2020).



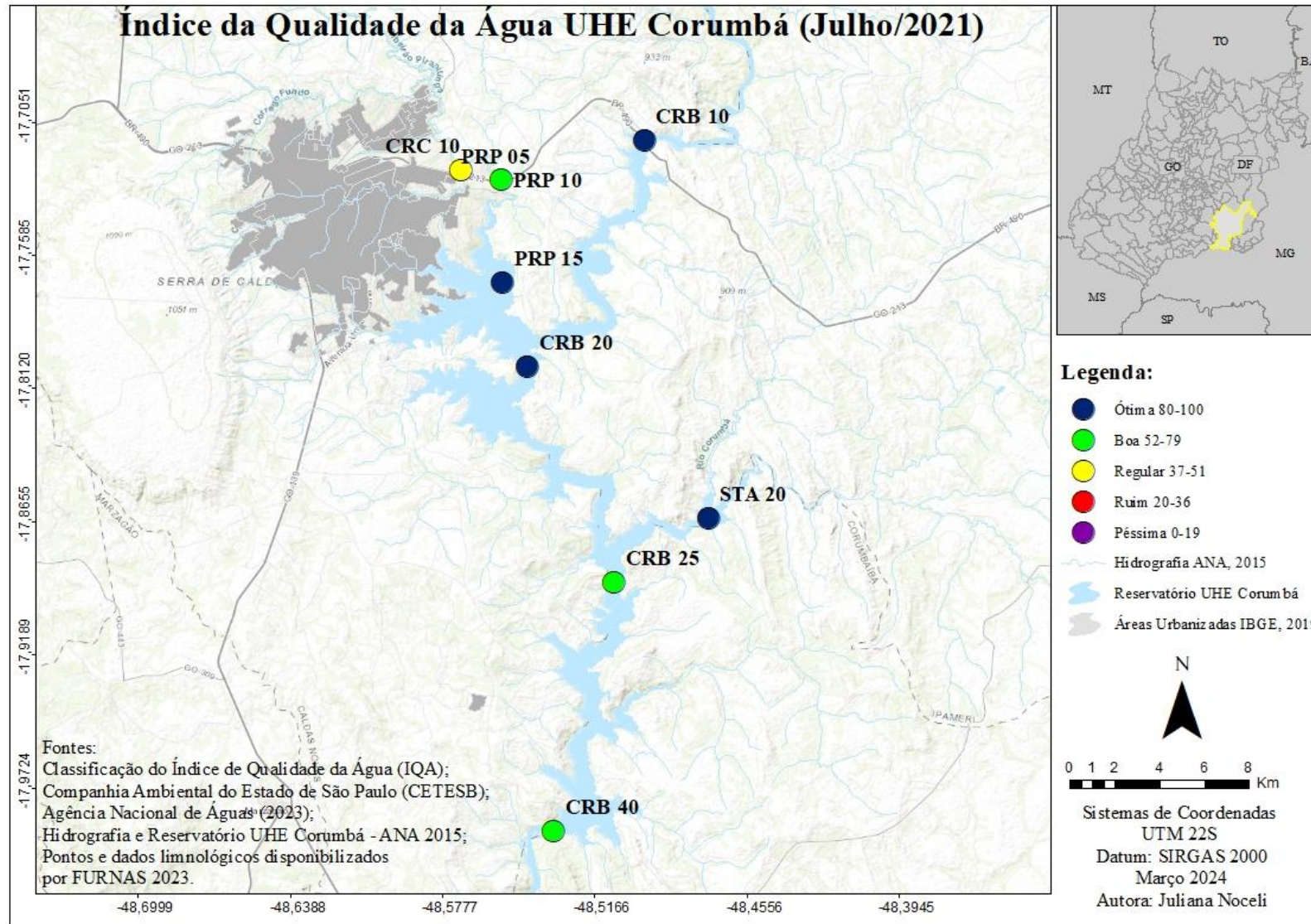
Apêndice K: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Janeiro/2021).



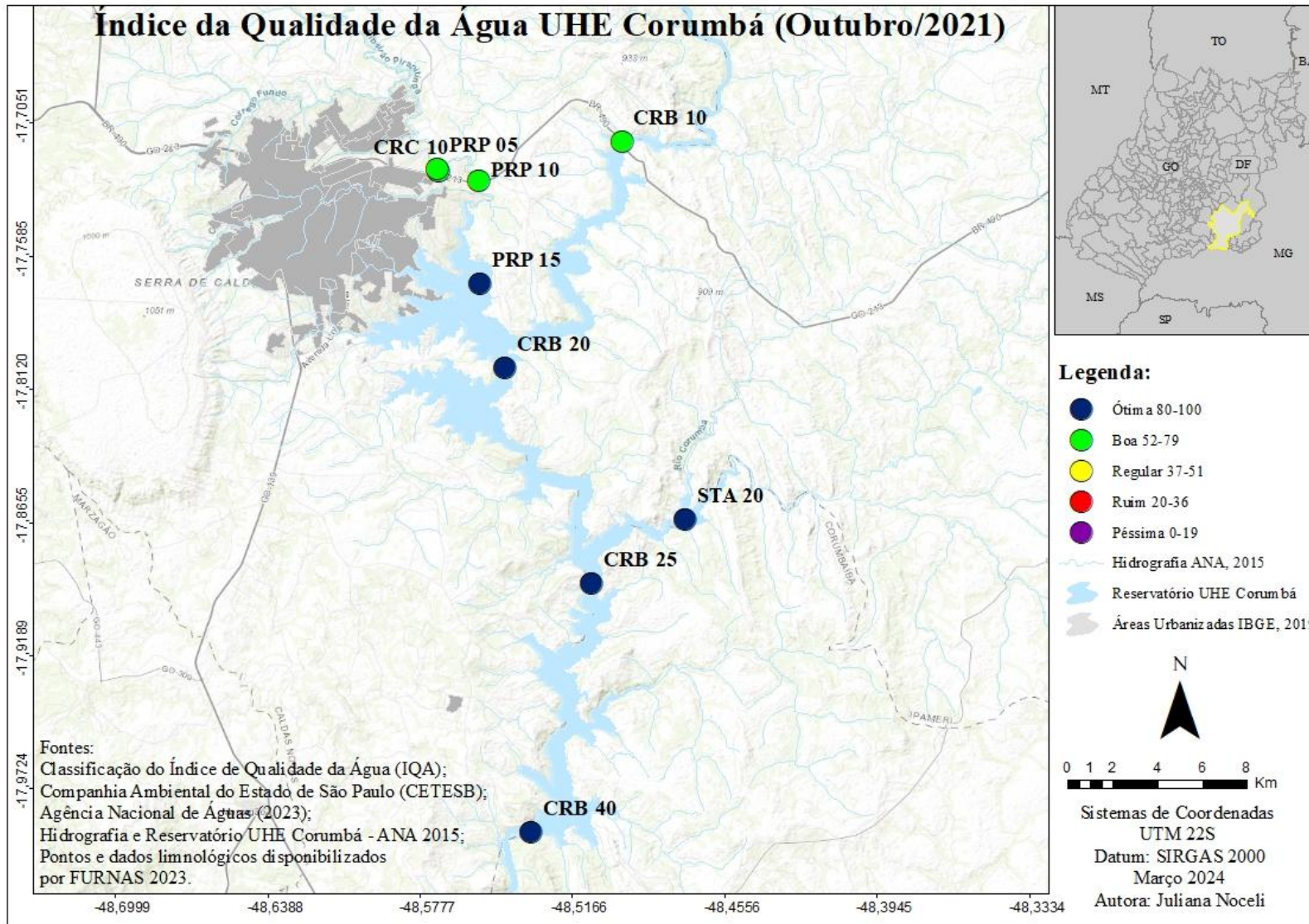
Apêndice L: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Abril/2021).



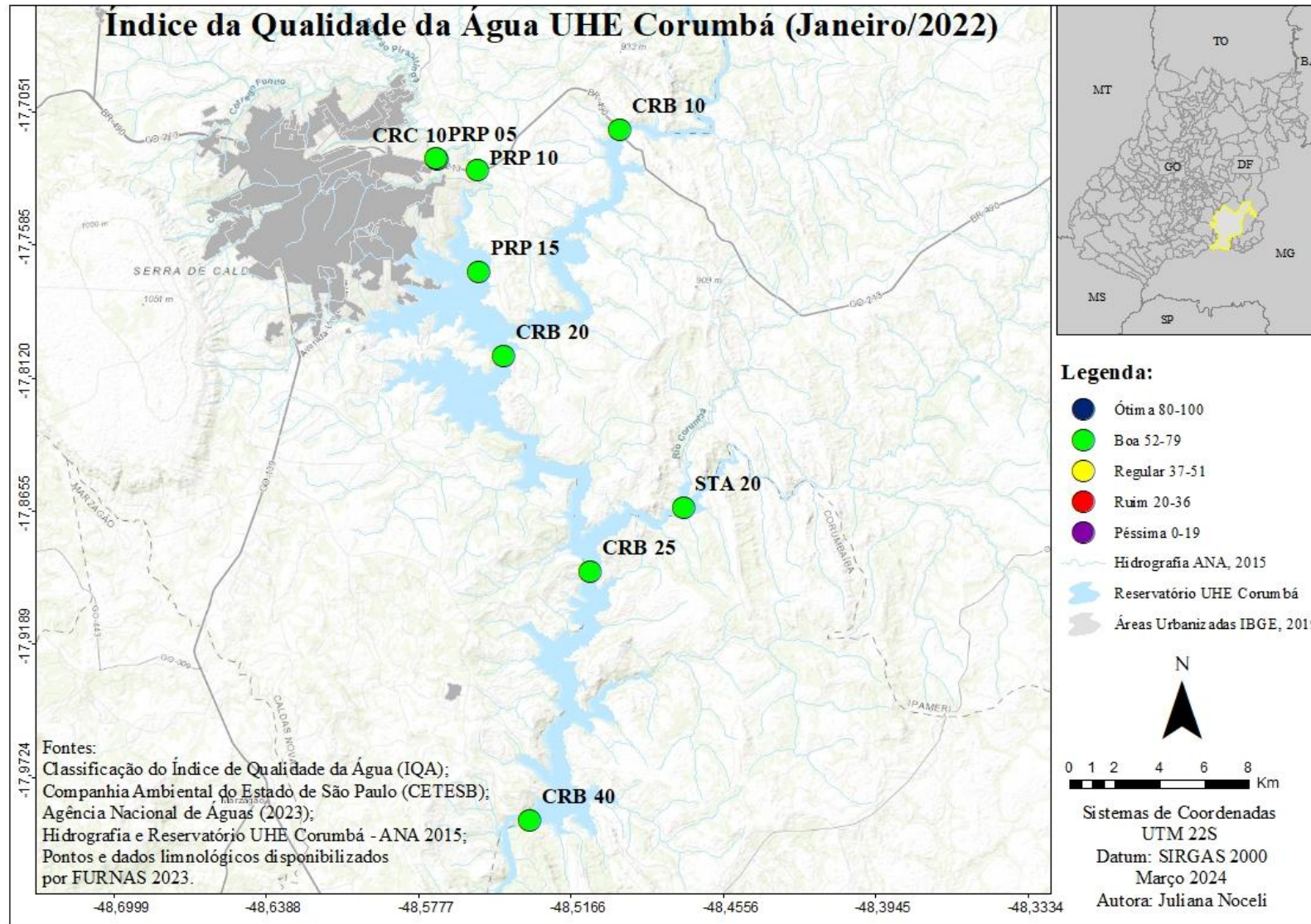
Apêndice M: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Julho/2021).



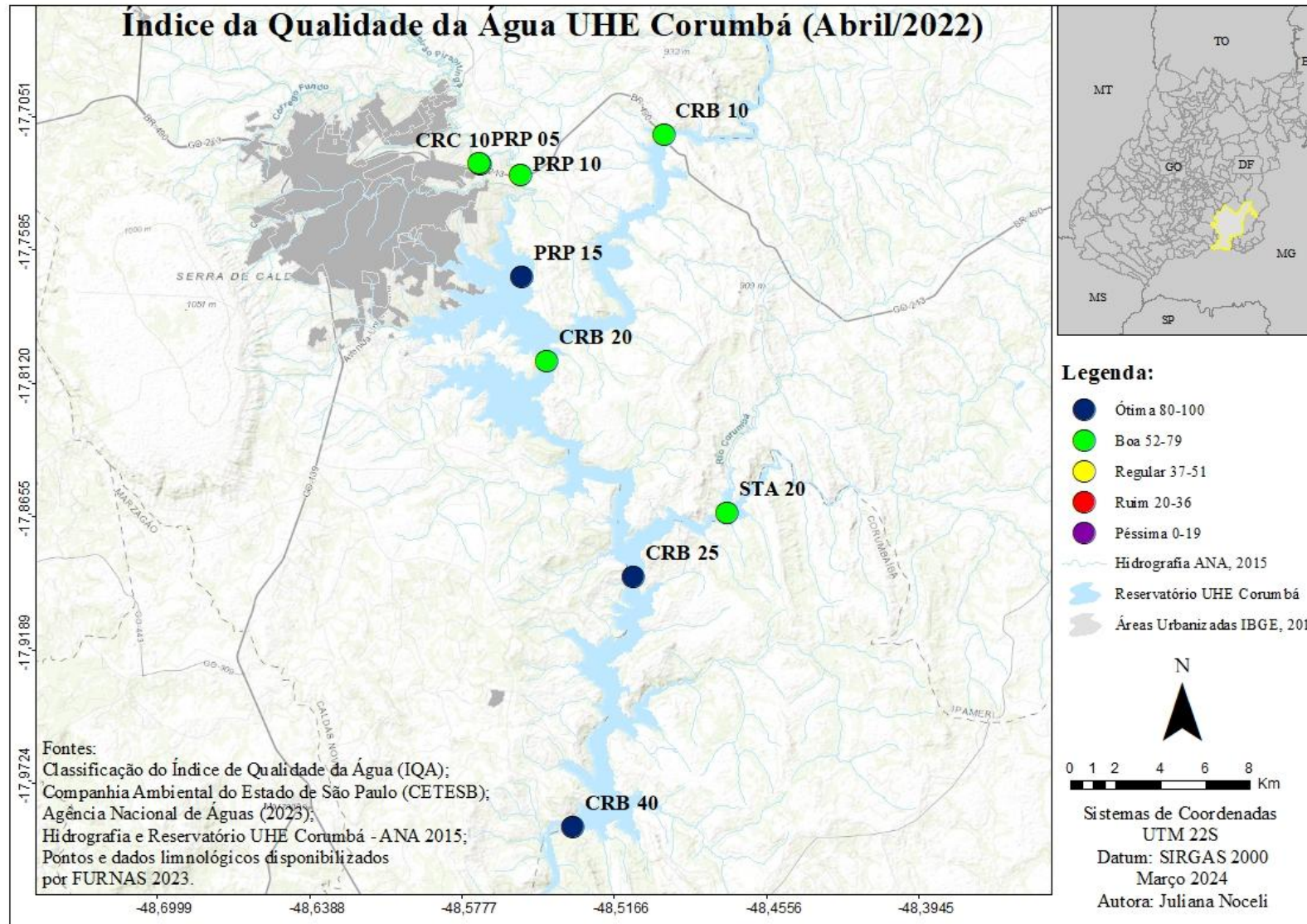
Apêndice N: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Outubro/2021).



Apêndice O: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Janeiro/2022).



Apêndice P: Mapa temático dos resultados do Índice da Qualidade das Águas da UHE Corumbá-GO (Abril/2022).



8 CONCLUSÕES FINAIS

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) propõe que as prioridades de investimento se concentrem em ciência, tecnologia e inovação em recursos hídricos. Além disso, recomenda o aprimoramento dos sistemas de monitoramento e avaliação de resultados, integrados aos sistemas de informação, para promover a acessibilidade às iniciativas em desenvolvimento. Esta pesquisa aborda áreas como gestão dos recursos hídricos e qualidade da água, em conformidade com as diretrizes da moção.

No reservatório da Usina Hidrelétrica de Corumbá, os resultados encontrados do Índice de Qualidade da Água (IQA), juntamente com o uso do MapBiomas, para analisar o uso do solo, se mostraram satisfatórios, destacando mudanças significativas nas classes de Floresta, Formação Não Natural e Agropecuária ao longo do tempo. Além disso, as atividades humanas, na região, foram evidenciadas pelo índice, especialmente próximas ao rio de Caldas.

Este estudo destaca a relevância do entendimento e uso sustentável do solo na região da UHE Corumbá, especialmente em relação aos impactos das atividades humanas na conservação ambiental, qualidade da água e sustentabilidade dos recursos naturais. Sugerem-se a implementação de práticas de manejo sustentável do solo, zoneamento e planejamento territorial equilibrado, além do monitoramento contínuo do uso do solo e do engajamento da comunidade nas decisões relacionadas ao seu uso.

O conhecimento do IQA traz benefícios para os residentes de Corumbá, Caldas Novas e Ipameri, oferecendo uma compreensão mais clara da situação do reservatório e dos cursos d'água que deságuam nele. A linguagem acessível do índice facilita a compreensão da situação atual dos recursos hídricos, promovendo uma maior consciência ambiental entre a população dessas regiões.

Espera-se que os resultados deste estudo possam contribuir para a gestão hídrica no corpo d'água e nos municípios investigados, visando à preservação dos recursos hídricos e à melhoria dos padrões de qualidade para a sociedade e a vida selvagem. O objetivo é fornecer à comunidade e aos órgãos públicos um conjunto de informações úteis para a gestão e proteção da qualidade da água.

A influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água e na falta de preservação da área de preservação permanente foi evidenciada neste estudo. As ações de preservação, como a implementação de práticas de manejo sustentável do solo, visam garantir que sejam mantidos o enquadramento e as classes de uso das águas na área de estudo. Isso é

essencial para assegurar que os recursos hídricos continuem a atender aos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação ambiental.

Medidas de preservação incluem a proteção das áreas de vegetação nativa, controle da erosão, restauração de áreas degradadas e monitoramento contínuo dos usos do solo. Essas ações são fundamentais para minimizar o impacto das atividades humanas e garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos. Além disso, o envolvimento da comunidade local é crucial para promover a conscientização ambiental e garantir o sucesso das estratégias de conservação e manejo sustentável do solo e da água.

As ações propostas neste estudo estão alinhadas com vários ODS, destacando a importância de uma abordagem integrada para a gestão sustentável dos recursos naturais e a promoção de um desenvolvimento equilibrado e responsável.

A promoção de práticas de manejo sustentável do solo e da água contribui para uma agricultura sustentável (ODS 2), enquanto o monitoramento contínuo da qualidade da água e medidas de proteção garantem o acesso à água potável e ao saneamento (ODS 6). O planejamento territorial equilibrado e o zoneamento sustentável ajudam a criar cidades e comunidades resilientes (ODS 11). A conservação dos ecossistemas aquáticos e a gestão sustentável dos recursos hídricos são cruciais para proteger a vida na água (ODS 14), e a proteção das florestas, a restauração de áreas degradadas e o manejo sustentável dos solos preservam os ecossistemas terrestres, promovem a biodiversidade e asseguram a sustentabilidade dos recursos naturais (ODS 15).

9 ANEXO: TERMO DE PARCERIA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS -
CAMPUS BAMBUÍ



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA AMBIENTAL

BambuÍ, 28 de outubro de 2022.

Prezado Sr. Rene,

Venho, por meio desta, solicitar a autorização de FURNAS para utilizar os dados de campo (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, turbidez, temperatura da água e transparência), os dados físico químicos para o cálculo dos índices IQA e IET (DBO, coliformes termotolerantes, clorofila a, nitrogênio total, fosforo total, nitrato e sólidos totais) e os dados de sedimentos em água (granulometria e análises químicas) do Monitoramento Limnológico da UHE Corumbá, coletados entre dezembro de 2011 e dezembro 2022, em uma dissertação de mestrado do PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA AMBIENTAL - (MPSTA) e um artigo científico para publicação em revista. Em tempo, informo que o manuscrito será enviado para apreciação de FURNAS antes da submissão para a revista científica.

Título preliminar da Dissertação:

ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DA UHE CORUMBÁ, VISANDO A ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

Autor: Juliana Nunes Noceli

Orientador: Dra. Ariana Cristina Santos Almeida

Co-orientador: Dr. Jairo Rodrigues Silva

Título preliminar do artigo:

ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DA UHE CORUMBÁ, VISANDO A ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

Revista pretendida: Pesquisas em Geociências

Atenciosamente,

Prof. Dra. Ariana Cristina Santos Almeida