

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA APLICADA E
SUSTENTABILIDADE - MESTRADO PROFISSIONAL CAMPUS RIO VERDE**

**ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA) EM BACIAS HIDROGRÁFICAS SOB
APLICAÇÃO DE VINHAÇA**

Orientador: Dr. Bruno de Oliveira Costa Couto

Autora: Suiane Ridan Pires de Melo

Rio Verde - GO

2024

SUIAINE RIDAN PIRES DE MELO

**ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA) EM BACIAS HIDROGRÁFICAS SOB
APLICAÇÃO DE VINHAÇA**

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, do Instituto Federal Goiano como exigência para conclusão do Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Costa
Couto

Rio Verde - GO

2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

MM528i Melo, Suiane Ridan Pires de
ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA) EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA / Suiane
Ridan Pires de Melo; orientador Bruno de Oliveira
Costa Couto. -- Rio Verde, 2024.
66 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e
Sustentabilidade) -- Instituto Federal Goiano,
Campus Rio Verde, 2024.

1. Fertirrigação. 2. Contaminação. 3. Recursos
hídricos. I. de Oliveira Costa Couto, Bruno , orient.
II. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 20/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA) EM BACIA HIDROGRÁFICA SUBMETIDA À APLICAÇÃO DE VINHAÇA

Autora: Suiane Ridan Pires de Melo
Orientador: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Costa Couto

TITULAÇÃO: Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade - Área de Concentração Engenharia Aplicada e Sustentabilidade

APROVADO em 12 de março de 2024.

Prof. Dr. Aníbal da Fonseca Santiago
Avaliador Externo - Universidade
Federal de Ouro Preto

Prof. Dr. Bruno de Oliveira Costa
Couto
Presidente da banca - IFGOIANO /
Rio Verde

Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Junior
Avaliador Interno - IFGOIANO / Rio
Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Bruno de Oliveira Costa Couto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/04/2024 11:40:01.
- Anibal da Fonseca Santiago, Anibal da Fonseca Santiago - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 25/04/2024 11:21:51.
- Edio Damasio da Silva Junior, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CCMEAS-RV, em 01/04/2024 15:05:10.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/02/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 576281
Código de Autenticação: b185dcc3a7



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO

Ata nº 38/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E
INOVAÇÃO ATA DE DEFESA – PÓS-
GRADUAÇÃO

Unidade do IF Goiano:	Campus Rio Verde	
Programa de Pós- Graduação:	Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	
Defesa de:	Dissertação	Defesa de número: 72
Data: 12/03/2024	Hora de início: 14:00h	Hora de encerramento: 17:00h
Matrícula do discente:	2021202331440012	
Nome do discente:	Suiaine Ridan Pires de Melo	
Título do trabalho:	AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA) EM BACIA HIDROGRÁFICA SUBMETIDA À APLICAÇÃO DE VINHAÇA	
Orientador:	Bruno de Oliveira Costa Couto	
Área de concentração:	Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	
Linha de Pesquisa:	Tecnologia e ciência dos materiais	
Projeto de pesquisa de vinculação	AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA) EM BACIA HIDROGRÁFICA SUBMETIDA À APLICAÇÃO DE VINHAÇA	
Titulação:	Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	

Nesta data, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Prof. Dr. Bruno de Oliveira Costa Couto (Presidente da banca), Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Junior (Avaliador Interno), e Prof. Dr. Aníbal da Fonseca Santiago (Avaliador Externo) sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada de forma online, para procederem a avaliação da defesa de dissertação, em nível de Mestrado, de autoria de SUIAINE RIDAN PIRES DE MELO, discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Bruno de Oliveira Costa Couto, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) da dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE**. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGEAS da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até 60 (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Decisão da banca:
Aprovada

Esta defesa é parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna do IFGoiano.

INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campu

s Rio Verde Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO,
CEP 75901-970

(64) 3624-1000

Documento assinado eletronicamente por:

- Bruno de Oliveira Costa Couto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/04/2024 11:40:50.
- Anibal da Fonseca Santiago, Anibal da Fonseca Santiago - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500), em 25/04/2024 11:22:48.
- Edio Damasio da Silva Junior, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CCMEAS-RV, em 01/04/2024 15:04:42.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/02/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 576275

Código de Autenticação: 61abfc6cd9



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☒ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☐ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☐ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo: _____

Nome completo do autor:

Suiaine Ridan Pires de Melo

Matrícula:

2021202331440012

Título do trabalho:

ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA) EM BACIAS HIDROGRÁFICAS SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 14 / 05 / 2024

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Alto Taquari MT

Local

11 / 04 / 2024

Data

SUIAINE RIDAN PIRES
DE MELO:04932033117

Assinado de forma digital por SUIAINE
RIDAN PIRES DE MELO:04932033117
Dados: 2024.04.11 21:03:48 -03'00'

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me fortalecido durante toda a caminhada, por ter me dado forças, persistência e coragem para seguir sempre em frente, e muita sabedoria para lidar com os obstáculos encontrados durante os anos do mestrado.

A minha mãe Selene Pires de Moraes que sempre incentivou a formação profissional e a busca por novos conhecimentos, mesmo com a tristeza da ausência e falta da companhia em muitos momentos.

A minha madrinha Cícera Pires de Moraes e meu tio Luzimar Pires de Moraes que foram responsáveis pela minha formação pessoal, além de terem acreditado e contribuído intensamente para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus avós pelo amor e carinho que me transmitiram durante toda a minha vida.

Aos meus irmãos, que mesmo distantes sempre foram o motivo de inspiração nos momentos difíceis.

Ao orientador Bruno de Oliveira Costa Couto, por me auxiliar no desenvolvimento do projeto, além de contribuir intensamente com o meu crescimento profissional.

Ao meu gerente Wagner Tavares dos Santos por ter me incentivado e apoiado na busca pelo conhecimento e formação profissional.

Agradeço ao IF Goiano pela oportunidade de cursar um mestrado de grande relevância e influência para a carreira profissional.

RESUMO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, sendo esta cultura utilizada pelas indústrias sucroenergéticas para fabricação de etanol, energia e açúcar, possuindo grande importância no cenário econômico brasileiro. Durante o processo de destilação do álcool é produzido um subproduto conhecido por vinhaça, composta por altas concentrações de nutrientes, e que quando utilizada de maneira indiscriminada, possui potencial de alterar as propriedades do solo além de possibilitar a contaminação de recursos hídricos por meio do seu escoamento e lixiviação. Portanto, este trabalho objetivou avaliar as alterações do índice de qualidade da água de quatro pontos de coleta de água superficial localizados próximo as áreas fertirrigadas com vinhaça ao longo de seis anos de monitoramento. O estudo foi desenvolvido na região de Alto Taquari MT, e foram avaliados parâmetros físicos, químicos e microbiológicos que compõem o cálculo do IQA, com análise mensal totalizando 288 amostras. Para análise dos dados, foram aplicados testes estatísticos, realizando uma comparação com a análise testemunha e posteriormente avaliando a influência da estação seca e chuvosa. Portanto inicialmente avaliou-se a normalidade dos dados através do teste Shapiro Wilks e posteriormente aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis para verificar se houve alguma influência dos anos avaliados sobre a variável resposta. Por último aplicou-se o teste de Dunn com correção de Bonferroni para avaliação das comparações múltiplas. Verificou-se que o IQA teve oscilações ao longo dos anos, permanecendo entre regular, bom ou ótimo. Não houve influência da fertirrigação e das estações seca e chuvosa nos dados monitorados, com exceção do período C21 em relação ao S20, e S20 em relação ao período S21, sendo possível evidenciar que a qualidade da água melhorou ao longo dos anos.

Palavras-chave: fertirrigação; contaminação; recursos hídricos.

ABSTRACT

Brazil is the largest producer of sugar cane in the world, and this crop is used by the sugar-energy industries to manufacture ethanol, energy and sugar, having great importance in the Brazilian economic scenario. During the alcohol distillation process, a by-product known as vinasse is produced, composed of high concentrations of nutrients, and which, when used indiscriminately, has the potential to alter soil properties in addition to allowing the contamination of water resources through its runoff and leaching. Therefore, this work aimed to evaluate changes in the water quality index of four surface water collection points located close to areas fertigated with vinasse over six years of monitoring. The study was carried out in the Alto Taquari MT region, and physical, chemical and microbiological parameters that make up the AQI calculation were evaluated, with monthly analysis totaling 288 samples. For data analysis, statistical tests were applied, making a comparison with the control analysis and subsequently evaluating the influence of the dry and rainy season. Therefore, the normality of the data was initially assessed using the Shapiro Wilks test and subsequently the Kruskal-Wallis test was applied to check whether there was any influence of the years evaluated on the response variable. Finally, the Dunn test with Bonferroni correction was applied to evaluate multiple comparisons. It was found that the IQA had fluctuations over the years, remaining between regular, good or excellent. There was no influence of fertigation and the dry and rainy seasons on the monitored data, with the exception of the C21 period in relation to S20, and S20 in relation to the S21 period, making it possible to show that water quality improved over the years.

Keywords: fertigation; contamination; water resources.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	13
LISTA DE FIGURAS.....	14
LISTA DE QUADROS.....	15
LISTA DE GRÁFICOS	16
LISTA DE SIGLAS.....	17
1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Justificativa.....	20
1.2 Revisão de literatura	21
1.2.1 Contextualização do setor sucroenergético.....	21
1.2.2 Vinhaça.....	22
1.2.3 Poluição e efeitos da aplicação de vinhaça nos recursos hídricos.....	24
<u>2 OBJETIVOS</u>	25
2. 1 Objetivo Geral	25
2. 2 Objetivos Específicos	25
3 REFERÊNCIAS	26
4 CAPÍTULO 1 – ARTIGO 1ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA) EM BACIAS HIDROGRÁFICAS SOB APLICACAO DE VINHAÇA.(Artigo a ser submetido à Revista Agriculture, Ecosystems & Environment – Qualis A1).....	30
4. 1 INTRODUÇÃO.....	33
4. 2 Material e Métodos.....	34
4. 2. 1 Caracterização da área de estudo e dos pontos de monitoramento.....	34
4. 2. 2 Parâmetros analisados e metodologia empregada para coleta e análise das amostras.....	44
4. 2. 3 Análise estatística.....	48
4. 3 Resultados e Discussão.....	49
4. 3. 1 Avaliação do IQA por ponto.....	49
4. 3. 2 Resultado da análise estatística	57
4. 4 Conclusão	62
4. 5 Referências	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação dos valores de IQA em relação às estações do ano	59
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação de solos para o Município de Alto Taquari.....	36
Figura 2 - Pontos de monitoramento da qualidade de água superficial.....	36
Figura 3 - Localização na imagem de satélite do ponto de monitoramento 1	38
Figura 4 - Ponto de monitoramento 1.....	39
Figura 5 - Localização na imagem de satélite do ponto de monitoramento 2	40
Figura 6 - Ponto de monitoramento 2.....	41
Figura 7 - Localização na imagem de satélite do ponto de monitoramento 3	42
Figura 8 - Ponto de monitoramento 3.....	43
Figura 9 - Localização na imagem de satélite do ponto de monitoramento 4	43
Figura 10 - Ponto de monitoramento 4.....	43
Figura 11 - Coleta de amostra sendo realizada no curso hídrico	46
Figura 12 - Acondicionamento das amostras após coleta na caixa de isopor.....	46
Figura 13 - Processo erosivo nas proximidades do P4.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Coordenadas geográficas dos pontos de coleta	37
Quadro 2 - Peso estabelecido para cada parâmetro para cálculo do IQA.....	44
Quadro 3 - Classificação do índice de qualidade da água (IQA)	45
Quadro 4 - Métodos de análises utilizados para cada parâmetro físico, químico e microbiológico.....	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Análise testemunha do IQA nos pontos 1 (Ribeirão Cima), 2 (Araguaia), 3 (Três Capões) e 4 (Capão) entre julho de 2011 e novembro de 2011	49
Gráfico 2 - Índice histórico da qualidade da água (IQA) do ponto 1 (Ribeirão de Cima) considerando o período de maio de 2016 a maio de 2021.....	49
Gráfico 3 - Índice histórico da qualidade da água (IQA) do ponto 2 (Rio Araguaia) considerando o período de maio de 2016 a maio de 2021.....	52
Gráfico 4 - Índice histórico da qualidade da água (IQA) do ponto 3 (Córrego Três Capões) considerando o período de maio de 2016 a maio de 2021.....	53
Gráfico 5 - Índice histórico da qualidade da água (IQA) do ponto 4 (Córrego Capão) considerando o período de maio de 2016 a maio de 2021.....	55
Gráfico 6 - Boxplot do índice histórico da qualidade da água (IQA) dos pontos 1 (Ribeirão de Cima), 2 (Rio Araguaia), 3 (Córrego Três Capões) e 4 (Córrego Capão) considerando o período de 2011, maio de 2016 a maio de 2021 e testemunha (T).....	57
Gráfico 7 - Diferença estatística a partir do Teste de Kruskal-Wallis (Teste de Dunn) do IQA no período de 2011 e 2016 a 2022.....	58
Gráfico 8 - Diferença estatística a partir do Teste de Kruskal-Wallis (Teste de Dunn) do IQA no período de 2011 e 2016 a 2022 a partir da comparação entre a estação seca e estação chuvosa	60

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas

APP – Área de Preservação Permanente

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

IQA – Índice de Qualidade das Águas

OD – Oxigênio Dissolvido

PAV – Plano de Aplicação de Vinhaça

P1 – Ponto de Monitoramento 1 Ribeirão de Cima

P2 – Ponto de Monitoramento 2 Rio Araguaia

P3 – Ponto de Monitoramento 3 Córrego Três Capões

P4 – Ponto de Monitoramento 4 Córrego Capão

pH – Potencial Hidrogeniônico

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor global de etanol do mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos. Tratando-se de produção de cana-de-açúcar, o Brasil ocupa o primeiro lugar tanto em ocupação territorial, com uma área estimada na Safra 2022/2023 em 8.127,7 mil hectares, quanto em produção de açúcar, com estimativa para fechar a safra em 33.893,3 mil toneladas do adoçante. Em âmbito nacional, a região Sudeste destaca-se como a maior produtora de cana-de-açúcar, sendo o estado de São Paulo responsável por 50% das áreas cultivadas no país. A combinação de elevados níveis de manejo aliado as tecnologias e conhecimento de diferentes áreas, tem permitido a otimização da produção para alcançar cada vez mais melhores resultados (CONAB, 2022).

Neste contexto, a cana-de-açúcar é a principal cultura utilizada pelas indústrias sucroenergéticas no que tange a produção de etanol, açúcar e energia, sendo ainda uma das culturas mais importantes para o cenário econômico brasileiro. A busca pelo aproveitamento dessa matéria prima em sua totalidade tem se tornado um fator primordial para manter a sustentabilidade das usinas (Figueiredo, 2022).

Além de apresentar grande importância na economia brasileira devido ao número significativo de agroindústrias, o setor sucroenergético também é responsável por gerar milhares de empregos diretos e indiretos (Silva *et al.*, 2021).

Durante os processos industriais para fabricação do etanol, energia e açúcar, as indústrias geram vários subprodutos que precisam ser bem manejados para que não venham a causar impactos negativos no meio ambiente e na sociedade circunvizinha. Dentre estes, podemos citar a vinhaça e a fuligem como os principais.

Atualmente, a preocupação ambiental quanto ao manejo dos subprodutos do setor sucroenergético tem ganhado destaque principalmente no que tange a aplicação de vinhaça no território nacional. Tal subproduto possui grande potencial de promover melhorias na fertilidade do solo quando destinado à fertirrigação, porém, se a quantidade aplicada ultrapassar a capacidade de retenção do solo, a vinhaça pode alterar as propriedades do solo e ser lixiviada e ocasionar impactos adversos na qualidade das águas subterrâneas e águas superficiais. Com isto, torna-se de extrema importância buscar alternativas para o desenvolvimento sustentável deste setor visto que além de possuir grande impacto na economia, sociedade e no meio ambiente, possui um grande potencial econômico com o

reaproveitamento dos subprodutos gerados por suas atividades (Silva; Griebeler; Borges, 2007).

Para evitar negligências na aplicação descontrolada da vinhaça no solo, em 2005 foi criada a normativa P 4.231 pela CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, buscando limitar uma dosagem máxima para aplicação desse resíduo, levando em consideração alguns critérios agronômicos (CETESB, 2005). No entanto, é importante destacar que poucas pesquisas foram desenvolvidas para avaliar a qualidade das águas superficiais após longos períodos de fertirrigação com vinhaça.

Para avaliar a qualidade das águas, nos anos de 1970 os Estados Unidos criaram o Índice de Qualidade das Águas – IQA. No Brasil, esse índice começou a ser utilizado a partir de 1975 e até os dias atuais é considerado o principal índice para avaliar a qualidade da água no país. Composto por nove parâmetros, o IQA auxilia na identificação de contaminações causadas em recursos hídricos pelo lançamento indevido de esgotos domésticos (ANA, 2022).

Assim sendo, numa visão ambiental, é conhecido o poder poluente da vinhaça devido as altas concentrações de nutrientes e matéria orgânica que constituem esse subproduto, porém na literatura são raros os trabalhos discriminando os efeitos adversos sobre os recursos hídricos durante anos de aplicação da vinhaça, incluindo até uma análise de veracidade da atual legislação adotada no país que estabelece os critérios de aplicação.

Esta pesquisa está organizada em quatro capítulos, considerando a revisão de literatura com o foco em contextualização do setor sucroenergético vinhaça poluição e efeitos da aplicação de vinhaça nos recursos hídricos, sendo o quarto capítulo, apresentado no formato de artigo, o qual discute o índice de qualidade das águas (IQA) em bacias hidrográficas sob aplicação de vinhaça, bem como a conclusão do referido estudo.

1.1 Justificativa

A justificativa desta pesquisa parte da premissa de que o Brasil possui atualmente 422 usinas sucroenergéticas em operação, sendo o estado de São Paulo o pioneiro com 176 unidades, em segundo lugar Minas Gerais com 44 unidades e em terceiro lugar o estado de Goiás com 40 unidades (O Novacana, 2022).

Em relação a produção de etanol, estima-se uma produção no Brasil de anidro mais hidratado na Safra 2022/2023 de 25,83 bilhões de litros (CONAB, 2022). Segundo Pereira, Pereira Neto e Tibúrcio (2022), a geração de vinhaça varia de 10 a 15 litros para cada litro de etanol produzido. Portanto, espera-se somente durante o ano safra 2022/2023 a geração de 322,87 bilhões de litros de vinhaça.

De maneira geral, esse subproduto apresenta altas concentrações de nutrientes, como: nitrato, potássio e matéria orgânica. A utilização indiscriminada pode alterar as propriedades do solo, ocasionando um desbalanceamento nutricional para as plantas (disponibilidade alta de alguns nutrientes e indisponibilidade de outros).

Levando em consideração as questões ambientais, a vinhaça tende a aumentar a probabilidade de lixiviação de íons, de forma a contaminar as águas subterrâneas e superficiais quando aplicada em concentrações elevadas. Em um estudo realizado por Dalri *et al.* (2010) o autor evidenciou uma redução na taxa de infiltração do solo em torno de 40%, provavelmente ocasionada pela matéria orgânica presente na vinhaça capaz de elevar a densidade do solo, ocasionando consequentemente um maior escoamento para os cursos hídricos em períodos de chuva.

Embora a aplicação da vinhaça por meio da fertirrigação seja regulamentada pela normativa P 4.231 da CETESB e sua utilização seja de suma importância para as empresas do setor sucroenergético, poucos estudos foram desenvolvidos com o intuito de avaliar os impactos ambientais da vinhaça em águas superficiais à longo prazo. Atualmente o tema crise hídrica vem sendo cada vez mais debatido e evidenciado em alguns estados e regiões brasileiras, portanto se torna essencial avaliar as alterações causadas no ambiente proveniente da aplicação desse subproduto, e com isso fomentar o desenvolvimento das indústrias sucroenergéticas de maneira mais sustentável, fazendo com que haja uma preocupação forte e constante em adotar medidas cada vez mais sustentáveis.

1.2 Revisão de literatura

1.2.1 Contextualização do setor sucroenergético

O setor sucroenergético é uma das cadeias produtivas mais importantes para a economia brasileira. Devido ao potencial de expansão e adaptabilidade em áreas edafoclimáticas, a cana-de-açúcar vem ganhando cada vez mais espaço no país. Referente aos produtos, o setor tem se destacado principalmente pela produção e comercialização de açúcar, insumo com alta demanda internacional. O etanol também ganhou bastante espaço a partir do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) e a inserção dos carros flex's em 2003 (Vieira Filho *et al.*, 2019).

Entre os anos de 1995 a 2006, a produção de cana-de-açúcar no Brasil cresceu em 44,52%, e de 2006 a 2017 apresentou um crescimento de 18,69%. Entre as regiões do Brasil, o Sudeste foi onde teve-se uma maior concentração de usinas, seguido pela região Centro-Oeste (Shikida *et al.*, 2020). Segundo Pessoa *et al.* (2021), esse crescimento na produção de cana-de-açúcar foi ocasionado principalmente pela necessidade em atender as demandas globais, buscando reduzir a dependência do petróleo, substituindo-o por biocombustíveis.

Outro fator que tem contribuído para expansão do setor são as inovações tecnológicas. A mecanização da colheita substituiu o modelo de corte manual que vigorou por vários anos, trazendo mais agilidade e eficiência na operação. Essa tecnologia também trouxe ganhos ambientais com a não necessidade de realizar a queima para a colheita, reduzindo a emissão de gases poluentes para a atmosfera (Feltre *et al.*, 2020). Ainda, segundo os dados da CONAB (2022), os avanços tecnológicos na colheita mecanizada têm possibilitado um maior ganho ambiental, favorecendo a conservação do solo e proporcionado uma maior eficiência produtiva e redução de custos.

Para incentivar o uso de biocombustíveis, em 2017 foi instituída a Lei 13.576 com a Política Nacional de Biocombustíveis – RENOVBIO, com a finalidade de incentivar a produção e uso de biocombustíveis no Brasil, promovendo uma redução dos gases de efeito estufa e a inserção dos biocombustíveis na matriz energética do país (BRASIL, 2017). Segundo Shikida *et al.* (2020), essa legislação colaborou ainda mais para a expansão do setor sucroenergético, devido o RENOVBIO ser considerado o maior programa já instituído na história para contribuir com a descarbonização da matriz de transporte do mundo.

Na era da “Energia Limpa”, formada por combustíveis renováveis e de baixa emissão

de CO₂, a inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética foi uma importante estratégia para otimizar o uso dos recursos naturais em função da sustentabilidade que o negócio apresenta, e pela capacidade de atender as crescentes demandas por energia e insumos (Pereira *et al.*, 2022).

Quando comparado a gasolina, o etanol representa uma redução de até 90% das emissões dos GEE, e por isso, pensando a longo prazo, a viabilidade da utilização do etanol como energia tem sido amplamente debatida. Embora a pressão ambiental tenha tornado um fator de competitividade adicional atualmente, a agroenergia brasileira já é destaque devido a alta eficiência econômica, sendo capaz de competir diretamente com o mercado dos combustíveis fósseis (Udop, 2020).

A utilização da cana-de-açúcar como matéria prima para produção de energia, açúcar e etanol também pode ser considerada vantajosa devido até mesmo seus subprodutos, como a vinhaça, fuligem e bagaço, poderem ser reaproveitados para fertilização do solo, geração de energia e material para indústria de cimento (Silva *et al.*, 2021).

1.2.2 Vinhaça

A vinhaça é um resíduo obtido da destilação do etanol produzido através da cana-de-açúcar. Esse efluente apresenta uma coloração marrom, sendo formado por água, sais e compostos orgânicos. Normalmente a vinhaça possui uma elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). As altas concentrações de potássio e matéria orgânica são outras características desse subproduto, uma vez que pode chegar a acumular até 70% do potássio fornecido pela cultura da cana-de-açúcar. Embora não seja considerado um resíduo Classe I, popularmente conhecido como resíduo perigoso, sua utilização indiscriminada pode causar efeitos ambientais negativos devido aos altos níveis de elementos como fósforo, nitrogênio e potássio, que em contato com os corpos hídricos podem contribuir para a eutrofização e deterioração da qualidade de água pela redução da atividade fotossintética (Rulli *et al.*, 2020).

Atualmente a fertirrigação permanece sendo a tecnologia mais convencional para destinação desse subproduto. Segundo o CONAMA 503, de 14 de dezembro de 2021, a fertirrigação consiste em uma técnica de adubação do solo através da água de irrigação ou efluentes com o objetivo principal de fornecer nutrientes, compreendendo a aplicação de

qualquer elemento químico com interesse agrônomo, podendo este ser de origem inorgânica ou orgânica.

A utilização da vinhaça nas lavouras é uma realidade nas regiões brasileiras produtoras de cana-de-açúcar, e a atratividade da utilização da vinhaça através do método de fertirrigação se baseia principalmente pela facilidade de distribuição por meio de caminhões e adutoras. Consoante Galdeano *et al.* (2021), a aplicação de vinhaça possui diversas vantagens a curto prazo, como por exemplo a melhoria na fertilidade do solo. De acordo com Bettio *et al.* (2021), as vantagens nutricionais do solo ocorrem devido a vinhaça ter a capacidade de fornecer micro e macronutrientes aumentando as concentrações de matéria orgânica, se apresentando como um condicionador físico, químico e biológico do solo, melhorando inclusive o desenvolvimento da cultura.

Os volumes de vinhaça aplicado por hectare, varia de acordo com a necessidade da cultura da cana-de-açúcar durante um ciclo anual. Como resultado, a aplicação ocorre após a colheita do canavial, e a lâmina é calculada de acordo com a quantidade de potássio presente nas análises de solo e vinhaça, levando em consideração a extração média da cultura por ano.

Atualmente a norma técnica P 4.231/2005 da CETESB, que regulamenta a disposição da vinhaça em solo agrícola, é a referência mais utilizada para estabelecer os critérios e avaliação para utilização da vinhaça na maioria dos estados brasileiros. Os cálculos são realizados considerando o nutriente em maior concentração na vinhaça, no caso o potássio, realizando um balanço entre a concentração presente desse nutriente nas análises de solo e análises de vinhaça, levando em consideração a CTC e extração média anual da cultura de cana-de-açúcar.

Embora agronomicamente viável, o manejo da vinhaça tem se tornado um assunto de intensas discussões entre vários pesquisadores. Devido à complexidade composicional, a vinhaça possui um potencial múltiplo de outras utilizações a não ser a fertirrigação, sendo possível, através dela, produzir biomassa rica em proteínas, biogás através do metano, enzimas, dentre outros, o que revela uma desvantagem associada apenas a utilização da prática de aplicação no solo via fertirrigação. Porém, essas práticas citadas anteriormente quase nunca são adotadas pelas empresas devido ao custo de implantação (Fuess *et al.*, 2021).

De acordo que as medidas políticas governamentais vêm se tornando cada vez mais rigorosas em todo o mundo para evitar uma possível poluição e/ou contaminação, as indústrias têm sido forçadas a implantar tecnologias mais eficientes e ecológicas para destinar

seus resíduos. O principal objetivo é mitigar os impactos ambientais nocivos da vinhaça, e buscar alternativas para sua utilização de forma consciente e sustentável, pois é conhecido que alguns parâmetros desse efluente (potássio, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e acidez, dentre outros) muitas vezes ultrapassam os padrões de concentração indicada na legislação para usos agrícolas (Rulli *et al.*, 2020).

1.2.3 Poluição e efeitos da aplicação de vinhaça nos recursos hídricos

A Lei 6.938 de 1981 que dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, define poluição como sendo a degradação da qualidade ambiental proveniente das atividades que possam apresentar prejuízos a segurança, saúde e bem-estar da população, criando condições desfavoráveis as atividades sociais, econômicas e a biota, e que lancem efluentes ou qualquer outro tipo de matéria em desacordo com os padrões estabelecidos pela legislação.

Entende-se nesse contexto que, a vinhaça é um resíduo que apresenta alto risco para a natureza devido seu potencial poluidor e se comparada com o esgoto doméstico, esta tem uma capacidade de poluição cem vezes maior. Além disso, quando aplicada de maneira inadequada, a vinhaça é capaz de causar desoxigenação nos rios devido possuir uma DBO altíssima (Fialho *et al.*, 2019).

Ferreira, Chang e Soto (2018), evidenciaram que aplicações em doses elevadas de vinhaça (400 a 800 m³) ocasionou perda de condutividade hidráulica saturada com menor capacidade de retenção do solo, favorecendo processos de lixiviação e consequentemente aumentando as concentrações de carbono orgânico total, acetato, cloreto, fluoreto e sólidos totais dissolvidos, que em algumas amostras apresentaram-se acima dos valores de referência estabelecidos pela legislação, gerando risco à qualidade do solo e da água.

Fuess *et al.* (2017) afirmaram em seu trabalho que a salinização do solo constitui o principal impacto negativo da fertirrigação com vinhaça. Os efeitos de salinização da água puderam ser evidenciados por Gunkel *et al.* (2006) em seu estudo com o objetivo de monitorar a qualidade da água do Rio Ipojuca, localizado no estado de Pernambuco, sob a influência da aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar. O autor relatou uma leve redução do pH de 6,7 para 6,0.

Outro possível impacto negativo da vinhaça está relacionado ao processo de sodificação do solo, fator este desencadeado principalmente quando as concentrações de sódio

estão muito superiores aos níveis de cálcio e magnésio, causando alterações na estrutura do solo e diminuindo severamente as taxas de infiltração de água. Assim, a lixiviação de nutrientes juntamente com matéria orgânica através do escoamento superficial, pode causar vários impactos negativos nas águas superficiais, como a eutrofização (Fuess *et al.*, 2017).

Em termos de impactos ambientais causados pela vinhaça, estudos também relatam que esse resíduo reduz de maneira expressiva os níveis de oxigênio dissolvido e aumenta as concentrações de matéria orgânica em cursos hídricos (Mariano *et al.*, 2009).

Marinho *et al.* (2014) com o intuito de avaliar a toxicidade da vinhaça à fauna aquática em corpos hídricos, expôs tilápias à diferentes níveis de diluição de vinhaça. Os resultados mostraram que a vinhaça causou alterações significativas no fígado desses animais, representando um alto potencial de toxicidade dependendo da dose exposta a esse contaminante.

Por fim, embora alguns estudos indiquem resultados satisfatórios da aplicação da vinhaça no solo, sua utilização contínua pode gerar vários efeitos negativos nos recursos hídricos, terra e lavouras devido suas características poluidoras. Por isso, a necessidade de redução da carga poluidora da vinhaça tem sido amplamente discutida entre a comunidade científica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar as alterações do índice de qualidade da água superficial em quatro pontos localizados próximos às áreas fertirrigadas por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos obtidos ao longo de seis anos de monitoramento.

2.2 Objetivos Específicos

- Verificar se a aplicação da vinhaça provoca alterações nos parâmetros físicos e químicos das águas superficiais, considerando a influência da sazonalidade;
- Avaliar com base nas análises de água se a norma vigente para aplicação de vinhaça está sendo eficiente no que tange a proteção da qualidade dos recursos hídricos.

3 REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas - ANA. **Indicadores de qualidade - índice de qualidade das águas (IQA)**. 2022. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx#:~:text=O%20IQA%20foi%20desenvolvido%20para,pelo%20lan%C3%A7ament o%20de%20esgotos%20dom%C3%A9sticos>. Acesso em: 18 mar. 2023.

BARBALHO, Maria Gonçalves da Silva *et al.* Vulnerabilidade natural dos solos e águas do estado de Goiás à contaminação por vinhaça utilizada na fertirrigação da cultura de cana-de-açúcar. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia - Go, v. 30, n. 1, p. 156-170, 31 ago. 2010. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/bgg.v30i1.11202>.

BETTIO, Ivana *et al.* Impacto da fertirrigação com vinhaça nas propriedades químicas e microbiológicas de solos. **Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 578, 6 ago. 2021. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.2.72006>.

BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. **Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências**. Brasília: Diário Oficial da União, 26 dez. 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm. Acesso em: 24 set. 2022.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Brasília, 31 ago. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 29 set. 2022.

CETESB - Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo. **Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. 1. ed. São Paulo - SP, jan. 2005. v. 125, n. 30, Seção 1, p. 1-15.

CONAB - Companhia Nacional De Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 9, n. 2, agosto 2022. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 17 set. 2022.

CONAMA. Resolução nº 503, de 14 de dezembro de 2021. **Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias**. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-conama-n-503-de-14-de-dezembro-de-2021-367783680>. Acesso em: 25 set. 2022.

DALRI, Alexandre Barcellos *et al.* **Influência da aplicação de vinhaça na capacidade de infiltração de um solo de textura franco arenosa**. Irriga, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 344-352, 20 dez. 2010. Brazilian Journal of Irrigation and Drainage - IRRIGA. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2010v15n4p344>.

FELTRE, Cristiane *et al.* **Governança no setor sucroalcooleiro: uma análise comparada de**

São Paulo e do cerrado mineiro e goiano. **Revista Economia Ensaios**, Uberlândia - Mg, v. 35, n. 2, p. 26-48, 11 set. 2020. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/ree-v35n2a2020-57244>.

FERREIRA, Thelma Maria; CHANG, Hung Kiang; SOTO, Miguel Angel Alfaro. **Avaliação da aplicação de vinhaça em solo arenoso da Formação Rio Claro**. Águas Subterrâneas, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 354-363, 9 dez. 2018. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i3.29208>.

FIALHO, Marcelito Lopes *et al.* **O impacto da vinhaça produzida pela cana-de-açúcar na produção de etanol – poluição ambiental**. Intr@Ciência Revista Científica, Guarujá, v. 17, n. 1, p. 1-14, mar. 2019.

FIGUEIREDO, Gizele Spigolon. **Espaçamento entre Mudanças Pré-Brotadas (MPB) em linhas de plantio de cana-de-açúcar no sistema meioso sob aplicação do regulador vegetal etefon**. 2022. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Unesp - Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP, 2022.

FUESS, Lucas T. *et al.* **Fertirrigation with sugarcane vinasse: foreseeing potential impacts on soil and water resources through vinasse characterization**. Journal Of Environmental Science And Health, Part A, [S.L.], v. 52, n. 11, p. 1063-1072, 24 jul. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10934529.2017.1338892>.

FUESS, Lucas Tadeu *et al.* **Pros and cons of fertirrigation with in natura sugarcane vinasse: do improvements in soil fertility offset environmental and bioenergy losses?** Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 319, p. 1-15, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128684>.

GALDEANO, Larissa Ruas *et al.* **Fertility and mineralogy of soils subject to vinasse application on a farm situated in Santa Cruz das Palmeiras-SP, Brazil**. Revista Geociências Unesp, Rio Claro, v. 40, n. 1, p. 181-188, 24 mar. 2021. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/14649>. Acesso em: 26 set. 2022.

GUNKEL, Gunter *et al.* **Sugar Cane Industry as a Source of Water Pollution – Case Study on the Situation in Ipojuca River, Pernambuco, Brazil**. Water, Air, And Soil Pollution, [S.L.], v. 180, n. 1-4, p. 261-269, 28 out. 2006. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-006-9268-x>.

MARIANO, Adriano Pinto *et al.* **The use of Vinasse as an Amendment to Ex-Situ Bioremediation of Soil and Groundwater Contaminated with Diesel Oil**. Brazilian Archives Of Biology And Technology, [s. l.], v. 52, n. 4, p. 1043-1055, ago. 2009.

MARINHO, Júlia Fernanda Urbano *et al.* **Sugar cane vinasse in water bodies: impact assessed by liver histopathology in tilapia**. Ecotoxicology And Environmental Safety, [S.L.], v. 110, p. 239-245, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.09.010>.

O NOVACANA (Curitiba - Pr). **Lista de Usinas de Açúcar e Etanol do Brasil por estado**.

2022. Disponível em: https://www.novacana.com/usinas_brasil/estados. Acesso em: 17 set. 2022.

PEREIRA, Rafael *et al.* **Sugarcane Vinasse: evaluation of their use as an alternative fuel.** Revista Virtual de Química, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 82-86, 2022. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20210103>. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/4251/919>. Acesso em: 25 set. 2022.

PESSOA, Gabriel Gustavo Ferraro de Andrade *et al.* **Dinâmica temporal da produção de cana-de-açúcar em um município do Brejo Paraibano, Brasil (1995–2019).** Scientific Electronic Archives, [S.L.], v. 14, n. 11, p. 18-24, 29 out. 2021. Scientific Electronic Archives. <http://dx.doi.org/10.36560/141120211451>.

PINTO, Luis E. V. *et al.* **Vinasse improves soil quality and increases the yields of soybean, maize, and pasture.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 335-340, maio 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n5p335-340>.

RULLI, Macarena M. *et al.* **Treatment of sugarcane vinasse using an autochthonous fungus from the northwest of Argentina and its potential application in fertigation practices.** Journal Of Environmental Chemical Engineering, [S.L.], v. 8, n. 5, p. 1-9, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2020.104371>.

SHIKIDA, Pery Francisco Assis *et al.* **Evolução e dinâmica no setor sucroenergético brasileiro.** In: VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro *et al.* Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do censo agropecuário. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2020. Cap. 26. p. 362-374. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.38116/978-65-5635-011-0/cap26>. Acesso em: 22 set. 2022.

SILVA, Dayane Lilian Gallani *et al.* **Cana-de-açúcar: aspectos econômicos, sociais, ambientais, subprodutos e sustentabilidade.** Research, Society And Development, [S.L.], v. 10, n. 7, p. 1-10, 28 jun. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.14163>.

SILVA, Maria das Dores Ivana da *et al.* **Geração de energia elétrica a partir da biomassa: uma aplicação do bagaço da cana de açúcar.** Revista Multidisciplinar do Sertão, Serra Talhada-Pe, v. 3, n. 3, p. 313-322, set. 2021. Disponível em: <https://revistamultisert1.websiteseuro.com/index.php/revista/article/view/357/215>. Acesso em: 25 set. 2022.

SILVA, Mellissa A. S. da; GRIEBELER, Nori P.; BORGES, Lino C. **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 108-114, fev. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662007000100014>.

UDOP, União Nacional da Bioenergia. **12 razões para abastecer o carro com etanol: o biocombustível mais limpo do mundo tem mais benefícios do que você imagina.** 2020. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2020/07/20/12-razoes-para-abastecer-o>

carro-com-etanol.html. Acesso em: 25 set. 2022.

VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro *et al.* **Diagnóstico e desafios da agricultura brasileira**. Rio de Janeiro: Repositório de Conhecimento do Ipea, 2019. 340 p.

4 CAPÍTULO 1 – ARTIGO 1

ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS (IQA) EM BACIAS HIDROGRÁFICAS SOB APLICAÇÃO DE VINHAÇA

(Artigo a ser submetido à Revista Agriculture, Ecosystems & Environment – Qualis A1)

RESUMO

A utilização da vinhaça oriunda do setor sucroenergético para fertirrigação de cana-de-açúcar, apresenta grande influência sobre a qualidade da água dos rios devido ao seu alto potencial poluidor. Se comparada com o esgoto doméstico, a vinhaça pode ser cem vezes mais poluente devido à alta carga de matéria orgânica presente nesse efluente, podendo influenciar em parâmetros como DBO, DQO, OD, dentre outros, contribuindo para processos de eutrofização e alteração na qualidade da água. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar se a aplicação de vinhaça no solo através da fertirrigação à longo prazo, é capaz de causar alterações no índice de qualidade da água, de córregos e rios localizados nas proximidades das áreas que recebem aplicação desse subproduto. A metodologia deste trabalho consistiu em realizar uma verificação histórica do IQA durante seis anos de monitoramento de quatro pontos de água superficial próximos a bacia de aplicação de vinhaça na região de Alto Taquari MT. O Ribeirão de Cima (P1), apresentou índice regular em janeiro, junho e setembro de 2018 devido alterações no pH e DBO. Já o Córrego Três Capões apresentou índice de qualidade regular em setembro de 2019 devido a alterações na concentração de oxigênio dissolvido. Porém, apesar das alterações no índice de qualidade de água em alguns períodos, percebeu-se que a aplicação da vinhaça não interferiu na qualidade da água nos quatro pontos de Monitoramento: Ribeirão de Cima, Rio Araguaia, Córrego Três Capões e Córrego Capão.

Palavras-chaves: sucroenergético, vinhaça, impactos ambientais, recursos hídricos.

ABSTRACT

The use of vinasse from the sugar-energy sector for fertigation of sugar cane has a great influence on the quality of water in rivers due to its high polluting potential. Compared to domestic sewage, vinasse can be a hundred times more polluting due to the high load of organic matter present in this effluent, which can influence parameters such as DBO, DQO, OD, among others, contributing to eutrophication processes and changes in the quality of water. Therefore, the objective of this work was to evaluate whether the application of vinasse to the soil through long-term fertigation is capable of causing changes in the water quality index of streams and rivers located close to the areas that receive application of this byproduct. The methodology of this work consisted of carrying out a historical verification of the IQA during six years of monitoring four surface water points close to the vinasse application basin in the Alto Taquari MT. The Ribeirão de Cima (P1) presented a regular index in January, June and September 2018 due to changes in pH and DBO. The Córrego Três Capões presented a regular quality index in September 2019 due to changes in the concentration of dissolved oxygen. However, despite changes in the water quality index in some periods, it was noticed that the application of vinasse did not interfere with the water quality at the four monitoring points: Ribeirão de Cima, Rio Araguaia, Córrego Três Capões and Córrego Capão.

Keywords: sugar energy; vinasse; environmental impacts water resources.

4. 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para manter a vida no planeta terra. No entanto, o que se percebe atualmente é que padrões de desenvolvimento insustentáveis têm ocasionado a degradação da qualidade da água de muitos cursos hídricos. Essas alterações no meio ambiente podem inclusive favorecer o desenvolvimento de doenças e condições precárias de saúde em determinados grupos populacionais. Dentre os fatores que influenciam na qualidade e disponibilidade de água pode-se destacar: crescimento populacional, urbanização, indústrias e desenvolvimento econômico do país. Por esses e outros motivos, a gestão dos recursos hídricos tornou-se um grande desafio global (Bawoke; Anteneh, 2020).

As atividades industriais e agrícolas do setor sucroenergético apresenta grande influência sobre a qualidade dos recursos hídricos. Visto o crescimento desse setor nos últimos anos, devido a demanda mundial pelos produtos fabricados (etanol, açúcar e energia), os impactos ambientais na natureza são quase que inevitáveis. Além dos impactos da operação, os subprodutos gerados por este setor também representam um risco eminente ao meio ambiente se não houver uma destinação adequada.

O poder poluente da vinhaça já é algo conhecido pela ciência. Esse subproduto da destilação do etanol, apresenta grande risco ao meio ambiente, principalmente ao atingir cursos hídricos, devido ter em sua composição alto teor de matéria orgânica (Marinho *et al.*, 2014).

Brunini *et al.* (2017) observou que Áreas de Preservação Permanente (APP's) próximas a áreas cultivadas com cana-de-açúcar apresentaram elevado teor de nitrogênio, indicando que o sistema produtivo da região afeta diretamente a qualidade da água desses ambientes mesmo estando protegidos por mata ciliar.

Em um estudo realizado por Taniwaki *et al.* (2017) foi evidenciado maiores concentrações de sólidos em suspensão e nitrato em uma avaliação da qualidade da água realizada em córregos que ficam próximos as áreas de drenagem dos canaviais, principalmente durante o período chuvoso.

As empresas precisam estabelecer planos de automonitoramento da qualidade dos rios e córregos próximos a suas operações, para avaliar os potenciais alterações a curto e longo prazo, caso algum desvio aconteça, como despejo de efluentes tratados de forma inadequada.

Um índice atualmente adotado para avaliar a qualidade da água dos cursos hídricos é o

IQA - Índice de Qualidade das Águas. Esse índice foi criado nos Estados Unidos, em meados de 1970, e a partir de 1975 passou a ser utilizado pela CETESB. Os demais estados brasileiros, nas décadas seguintes também adotaram o IQA como índice de qualidade da água, tornando-o o principal no país todo. O IQA possui como principal objetivo avaliar a qualidade da água bruta visando sua utilização para abastecimento público, e por isso os parâmetros utilizados para realizar os cálculos são em sua maioria indicadores de contaminação motivada por lançamento de esgotos domésticos. Composto por nove parâmetros avaliativos (entre eles o pH, demanda bioquímica e química de oxigênio, concentração de oxigênio dissolvido e presença de microrganismos, como *Escherichia coli*), o IQA é calculado levando em consideração os respectivos pesos estabelecidos para cada um destes, em relação aos resultados apresentados nas análises de água (ANA, 2021).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433 em janeiro de 1997, apresenta em uma de suas seções sobre o enquadramento dos corpos d'água em classe visando principalmente assegurar a qualidade da água, ou seja, evitar que corpos d'água tenham sua qualidade alterada ao longo do tempo por atividades antrópicas, e reduzir os custos com a poluição mediante ações preventivas.

Portanto, objetivou-se com esse trabalho avaliar as possíveis alterações do IQA baseando-se nas alterações dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos das águas superficiais de recursos hídricos próximos as áreas fertirrigadas com vinhaça ao longo de 6 anos de monitoramento.

4. 2 Material e Métodos

4. 2. 1 Caracterização da área de estudo e dos pontos de monitoramento

O estudo foi desenvolvido na região de Alto Taquari, MT. Segundo o IBGE (2022), o município possui uma população de 10.904 habitantes, área territorial de 1.436,58 km², e está a uma altitude de 851 metros em relação ao nível do mar.

A biodiversidade do município é composta 100% pelo bioma cerrado. Esse bioma possui uma alta riqueza florística e a vegetação é composta por gramíneas, árvores esparsas e arbustos. As árvores em sua maioria apresentam caules retorcidos e raízes longas, apresentando alta resistência durante a estação seca do inverno. O cerrado dessa região também abriga uma alta diversidade da fauna brasileira, sendo identificados até o momento

67.000 espécies de animais invertebrados, cerca de 199 espécies de mamíferos, 150 espécies de anfíbios, 180 espécies de répteis, 837 espécies de aves e 1.200 espécies de peixes (EMPRAPA, 2021).

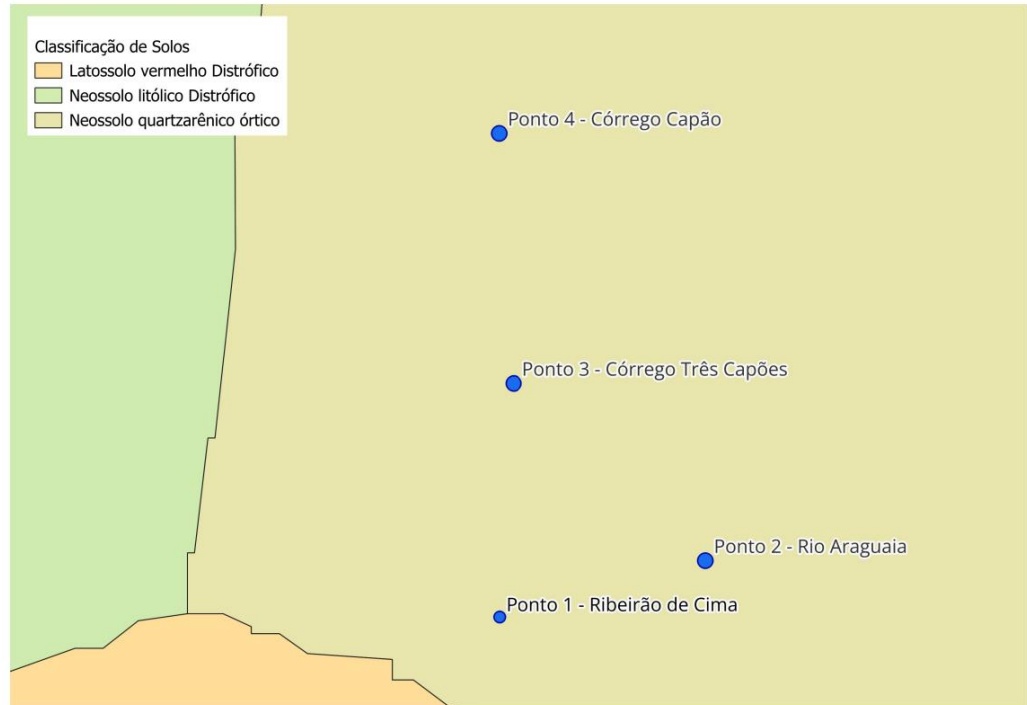
Em termos de recursos hídricos o município de Alto Taquari está localizado entre duas grandes bacias hidrográficas: a do Prata e a do Tocantins. Essas bacias possuem grande expressão e importância nacional pelo tamanho territorial ocupado, por representarem grande potencial turístico, importância para o setor energético, irrigação, navegação e saneamento ambiental (Alto Taquari, 2022).

Em relação ao solo, a região de Alto Taquari é composta por Neossolos Quartzarênicos Órticos, Latossolos Vermelhos Distróficos e Neossolos Litólicos Distróficos (EMBRAPA, 2020).

De acordo com Ucker *et al.* (2015), os Neossolos Quartzarênicos são solos frágeis que possuem uma baixa capacidade de retenção de água e poder tampão. Por serem originados de substratos arenosos, possuem uma elevada tendência a erodibilidade, devido à baixa capacidade de agregação de partículas. Por isso, atividades agronômicas realizadas nesse tipo de solo devem levar em consideração vários fatores visando minimizar problemas, como lixiviação de nutrientes para o lençol freático e contaminação ambiental por fertilizantes e defensivos agrícolas.

A Figura 1 mostra a localização dos pontos de monitoramento em relação a classificação de solos, sendo possível observar que todos os pontos avaliados neste trabalho (P1, P2, P3 e P4) estão localizados em áreas compostas por Neossolos Quartzarênicos Órticos.

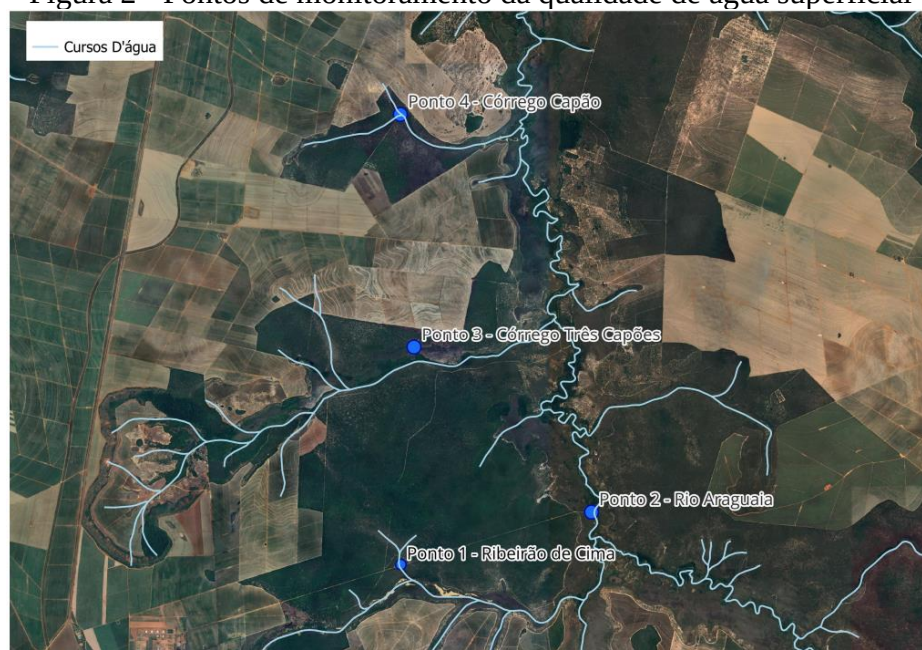
Figura 1 - Classificação de solos para o Município de Alto Taquari



Fonte: Autor (2023)

Os pontos de monitoramento de qualidade de água superficial foram delimitados levando em consideração uma maior proximidade com as áreas de fertirrigação, visto que caso haja alguma influência da aplicação de vinhaça na qualidade da água superficial esses pontos estariam mais susceptíveis a apresentarem alteração em seus parâmetros. Estes, também são afluentes de uma mesma bacia hidrográfica, desaguardo em algum momento no Rio Araguaia, que é o principal rio dessa bacia. A aplicação de vinhaça na área de influência dos pontos monitorados teve início no ano de 2011. Na Figura 2 apresenta-se a distribuição dos pontos de monitoramento com as redes de drenagem.

Figura 2 - Pontos de monitoramento da qualidade de água superficial



Fonte: Autor (2022)

Abaixo é apresentada o Quadro 1 com as coordenadas geográficas dos pontos de monitoramento.

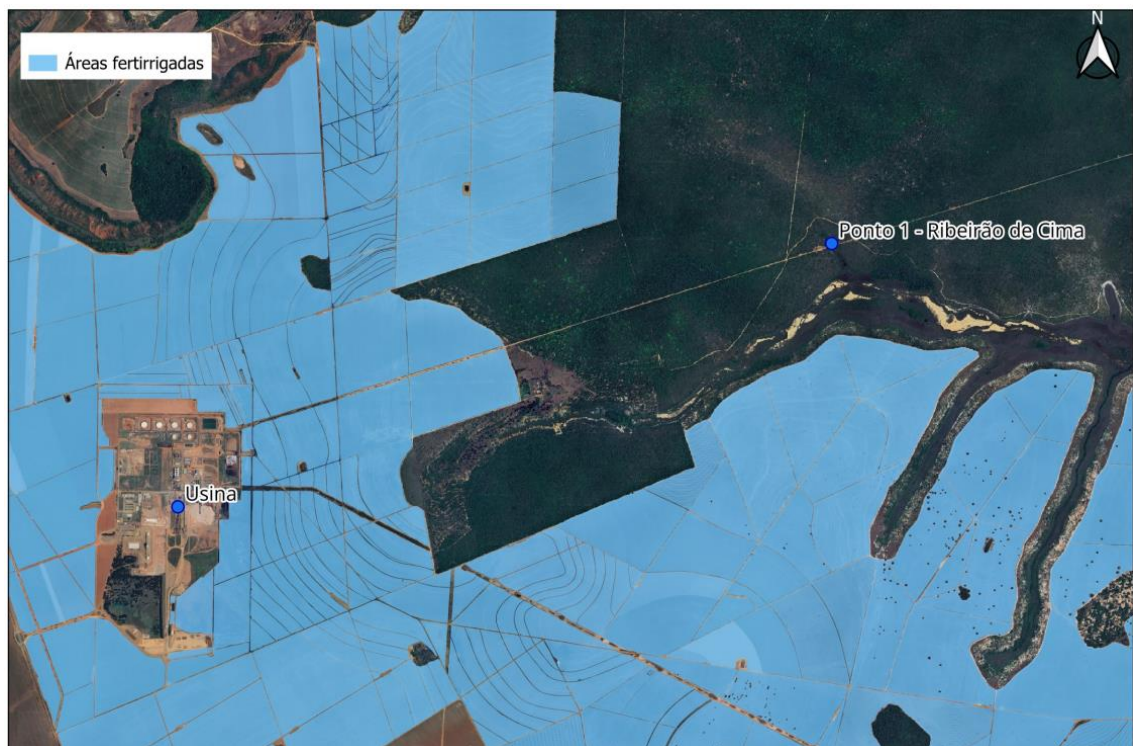
Quadro 1 - Coordenadas geográficas dos pontos de coleta

Ponto	Coordenada UTM (Fuso 22k)	
	Leste	Sul
Ponto 01 - Ribeirão de Cima	258242.00	8038228.00
Ponto 02 - Rio Araguaia	262974.00	8040600.00
Ponto 03 - Córrego Três Capões	259548.00	8043876.00
Ponto 04 - Córrego Capão	259208.00	8048669.00

Fonte: Autor (2023)

O ponto 1 (P1) está localizado no Ribeirão de Cima. O local possui uma área de Preservação Permanente (APP) rodeada pela reserva legal da propriedade, e o ponto não possui influência de nenhuma outra atividade exceto o plantio de cana-de-açúcar. A única interferência de ação humana nesse local é uma estrada de acesso particular da usina ao ponto de captação de água para abastecimento industrial, sendo que a área fertirrigada mais próxima fica a 665 metros de distância. O ponto de coleta está a 26 metros da nascente desse Rio e o local monitorado é o mais próximo da Unidade Agroindustrial. Abaixo são apresentadas as figuras 3 e 4 mostrando a localização do ponto em relação as áreas fertirrigadas.

Figura 3 - Localização na imagem de satélite do ponto de monitoramento 1



Fonte: Autor (2023)

Figura 4 - Ponto de monitoramento 1



Fonte: Autor (2023)

O ponto de monitoramento 2 (P2) está localizado no Rio Araguaia, nas proximidades do local onde é realizada a captação de água para abastecimento industrial da usina. Diferente do P1, esse rio banha várias propriedades agropecuárias a montante do ponto de monitoramento, porém as áreas consolidadas mais próximas desse local, atualmente são ocupadas por cana-de-açúcar. O local possui APP preservada e a área fertirrigada com vinhaça mais próxima está a 2.026 metros de distância.

Figura 5 - Localização na imagem de satélite do ponto de monitoramento 2



Fonte: Autor (2023)

Figura 6 - Ponto de monitoramento 2



Fonte: Autor (2023)

O ponto 3 (P3) está localizado no Córrego Três Capões. O local não possui estrada de acesso, sendo cercado por uma vegetação nativa preservada composta por APP e Reserva Legal da propriedade, e a nascente está bem próxima do ponto de coleta. As áreas antropizadas nas proximidades desse local de monitoramento, atualmente contemplam o plantio de cana-de-açúcar. A distância até a área fertirrigada mais próxima é de 400 metros.

Figura 7 - Localização na imagem de satélite do ponto de monitoramento 3



Fonte: Autor (2023)

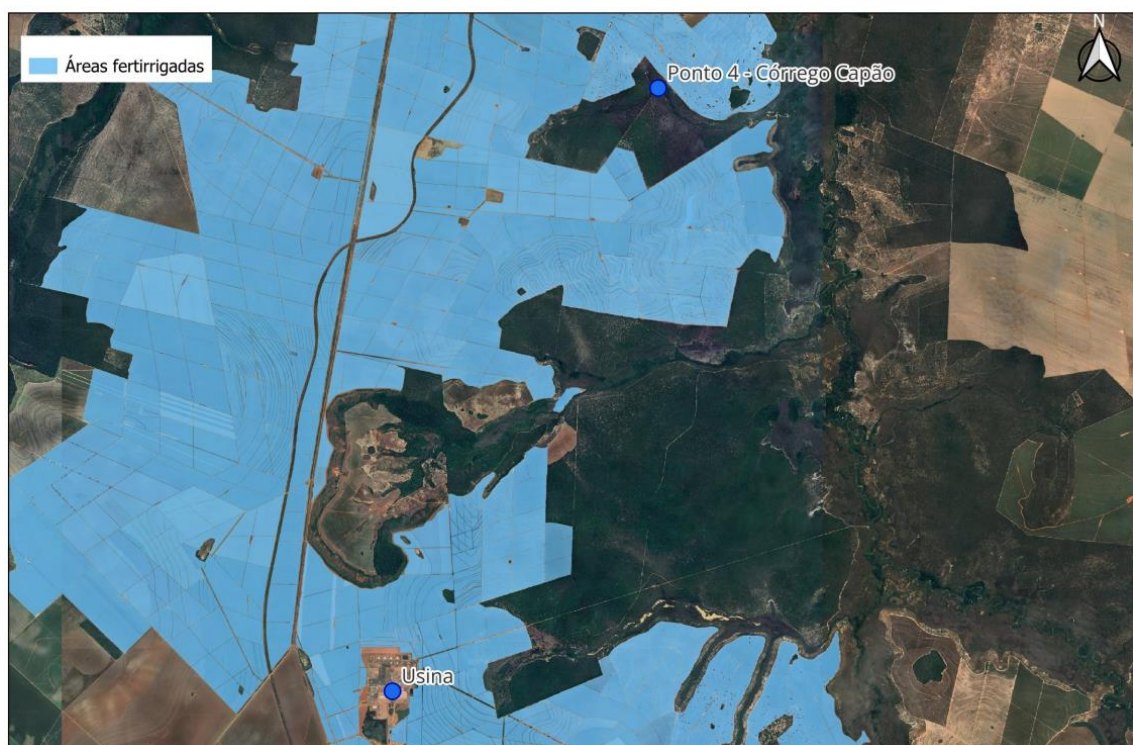
Figura 8 - Ponto de monitoramento 3



Fonte: Autor (2023)

O ponto 4 (P4) está situado no Córrego Capão. Rodeado pela mata nativa, esse ponto vem sofrendo algumas alterações devido processos erosivos nas proximidades de suas nascentes. No entorno, a cultura predominante é a cana-de-açúcar, e a distância até a área fertirrigada mais próxima é de 1.268,48 metros.

Figura 9 - Localização na imagem de satélite do ponto de monitoramento 4



Fonte: Autor (2023)

Figura 10 - Ponto de monitoramento 4



Fonte: Autor (2023)

É importante ressaltar que para a operação da atividade de fertirrigação, anualmente é apresentado ao órgão ambiental licenciador o Plano de Aplicação de Vinhaça - PAV com as dosagens calculadas para aplicação de vinhaça em cada talhão. As dosagens são estabelecidas conforme a Norma da Cetesb P 4.231 de 2005, levando em consideração a quantidade de potássio presente nas análises de solo, análises de vinhaça mais residuária e extração média anual da cultura de cana-de-açúcar.

4. 2. 2 Parâmetros analisados e metodologia empregada para coleta e análise das amostras

Para estudo e execução desse trabalho, foi delimitado um período histórico de seis anos, entre os anos de 2016 e 2022, de quatro pontos de monitoramento com frequência de análise mensal, totalizando 288 análises. O regime anual adotado neste trabalho seguiu a programação de safra, iniciando em abril de cada ano e finalizando em março do ano seguinte, com exceção do primeiro ano de coleta (2016) em que se iniciou em maio. Todos os parâmetros foram analisados com a mesma frequência.

Os parâmetros analisados neste trabalho foram: coliformes totais, DBO, fósforo total, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, pH, turbidez, temperatura da amostra e resíduo total. Todos esses nove parâmetros compõem o cálculo do IQA – Índice de Qualidade das Águas.

Para cálculo do IQA foi considerado o peso de cada parâmetro conforme estabelecido pela Cetesb e descrito no Quadro 2.

Quadro 2 - Peso estabelecido para cada parâmetro para cálculo do IQA

Parâmetro	Unidade	Peso (wi)
Oxigênio dissolvido	%	0,17
Coliforme fecal	NMP/100 ml	0,15
pH	-	0,12
DBO	mg/l	0,10
Nitrogênio total	mg/l	0,10
Fósforo total	mg/l	0,10
Temperatura	°C	0,10
Turbidez	UFT	0,08
Sólidos totais dissolvidos	mg/l	0,08

Fonte: Cetesb (2017).

O Índice foi calculado considerando o produtório ponderado da qualidade de água correspondente a cada variável que integra o índice. A equação 1 representa a fórmula utilizada para cálculo:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e,

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

Após o cálculo do IQA, os resultados foram classificados conforme o Quadro 3.

Quadro 3 - Classificação do índice de qualidade da água (IQA)

CLASSIFICAÇÃO DO IQA	
Categoria	Ponderação
ÓTIMA	$79 < IQA \leq 100$
BOA	$51 < IQA \leq 79$
REGULAR	$36 < IQA \leq 51$
RUIM	$19 < IQA \leq 36$
PÉSSIMA	$IQA \leq 19$

Fonte: Cetesb (2017)

Referente as amostras de água para análise, estas seguiram todos os procedimentos de coleta, preservação, armazenamento e transporte de acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras e o método do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

As coletas foram realizadas diretamente no canal dos corpos hídricos. Para coletar as amostras, utilizou-se um balde de inox com capacidade de 15 L, mergulhando-o, aproximadamente, 20 cm abaixo da superfície. Após a coleta com balde, as amostras foram homogeneizadas e distribuídas nos frascos de coletas, contendo reagentes de preservação, ou somente refrigeração. Após estes procedimentos, as amostras foram acondicionadas em caixas térmicas e enviadas para análise, respeitando-se o holding-time de cada parâmetro ou o conjunto deles. A aferição de parâmetros in loco (pH e oxigênio dissolvido) foi realizada através do uso de sonda multiparâmetros.

As Figuras 11 e 12 indicam como foi realizada a coleta de uma amostra no P3 para exemplificação da metodologia adotada. O que indica a importância da verificação *in locus* da temática investigada.

Figura 11 - Coleta de amostra sendo realizada no curso hídrico



Fonte: Autor (2023)

Figura 12 - Acondicionamento das amostras após coleta na caixa de isopor



Fonte: Autor (2023)

As análises laboratoriais também foram realizadas de acordo com as técnicas preconizadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. O Quadro 4 descreve os métodos aplicados em cada análise realizada após a coleta da água.

Quadro 4 - Métodos de análises utilizados para cada parâmetro físico, químico e microbiológico

Parâmetro	Método de análise
Coliformes totais	SM 9223 B
DBO (5 dias)	SM 5210 B / SM 4500 O H
Fósforo total	SM 4500 P D
Nitrogênio total	CÁLCULO
Oxigênio dissolvido	SM 4500 O H
pH	SM 4500 H+ B
Turbidez	SM 2130 B
Temperatura	SM 2550 (In loco)
Resíduo total	SM 2540 F

Fonte: Autor (2023)

4. 2. 3 Análise estatística

Após o cálculo do IQA, foi empregado um método estatístico para verificar se houve resultado significativo entre as amostras. Para comparação, foram utilizadas as análises testemunhas do ano de 2011 apresentadas no EIA RIMA do empreendimento.

Para análise estatística, inicialmente avaliou-se a normalidade dos dados através do teste Shapiro Wilks. Esse teste é utilizado para informar se os dados analisados diferem ou não significativamente de uma distribuição normal. Se o teste for não significativo, $p > 0,05$, a distribuição é contínua e simétrica (dados normais). Se o teste é significativo, $p < 0,05$, os dados analisados não seguem uma normalidade. Esse teste foi aplicado para decidir se o teste estatístico a ser utilizado para análise dos resultados do IQA seria paramétrico ou não (Bussab; Moretin, 2003).

Devido aos dados indicarem respostas não paramétricas utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis para verificar se houve alguma influência dos anos avaliados sobre a variável resposta, que é o índice de qualidade da água (IQA) e para indicar se houve diferenças estatísticas entre as estações de seca e chuvosa no IQA. Esse teste é utilizado para comparar mais de dois grupos independentes avaliados por meio de uma variável quantitativa que não obedece a parâmetros normais de distribuição. Se $p < 0,05$ indica que existe uma diferença

estatisticamente significativa entre os grupos analisados, porém se $p > 0,05$ significa que não existe diferença estatística entre os dados (Bussab; Moretin, 2003).

E, posteriormente, foi aplicado o teste Dunn com correção de Bonferroni. O teste Dunn avalia comparações múltiplas entre grupos controlando o erro tipo I ou erro α (probabilidade de rejeitar a hipótese nula sendo ela verdadeira) por meio da correção de Bonferroni (divide o nível de significância pelo número de comparações a serem realizadas) (Bussab; Moretin, 2003).

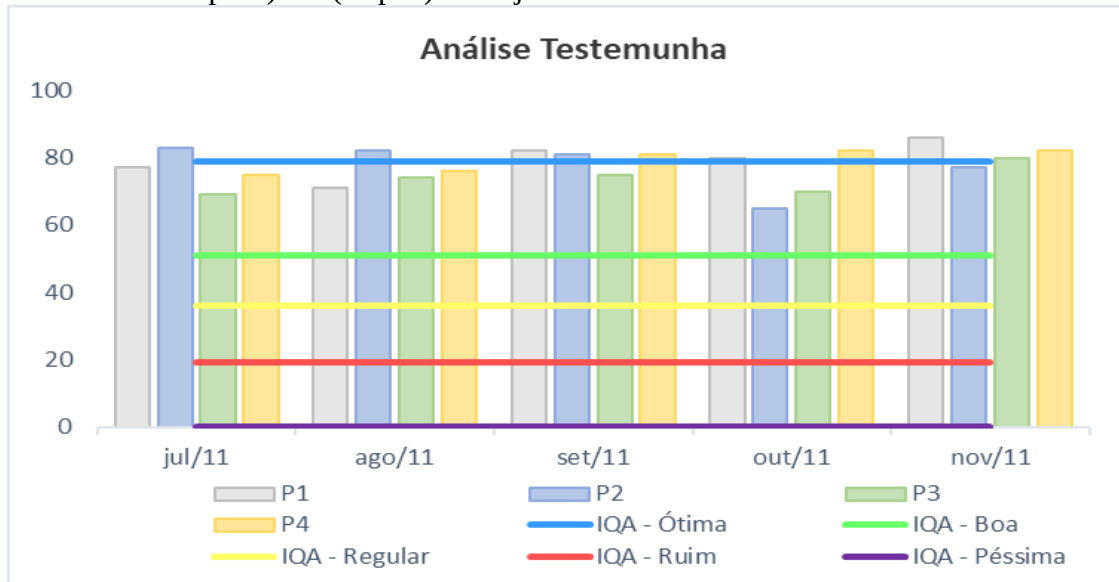
4. 3 Resultados e Discussão

4. 3. 1 Avaliação do IQA por ponto

A análise testemunha do IQA, realizada em 2011, demonstrou que nenhum dos pontos analisados apresentavam IQA regular, ruim ou péssima durante todo o período. Além disso, em junho, agosto e setembro de 2011 o ponto 2 apresentou IQA classificado como ótimo, sendo este o ponto com o maior índice em vários meses.

Os menores índices encontrados em 2011 foram identificados no P3 (Julho de 2011 – IQA 69) e no P2 (Outubro de 2011 – IQA 65), classificando esses pontos com qualidade boa. Esses dados permitem afirmar que os rios monitorados apresentavam baixo grau de degradação da qualidade da água nessa época, sendo classificados como Classe 2 de acordo com a Resolução Conama nº 357 de 17 de março de 2005, podendo estas águas serem destinadas ao consumo humano posterior a tratamento convencional, proteção da biodiversidade aquática, lazer, irrigação e as atividades de pesca. Abaixo é apresentado o gráfico 1 com os resultados da análise testemunha.

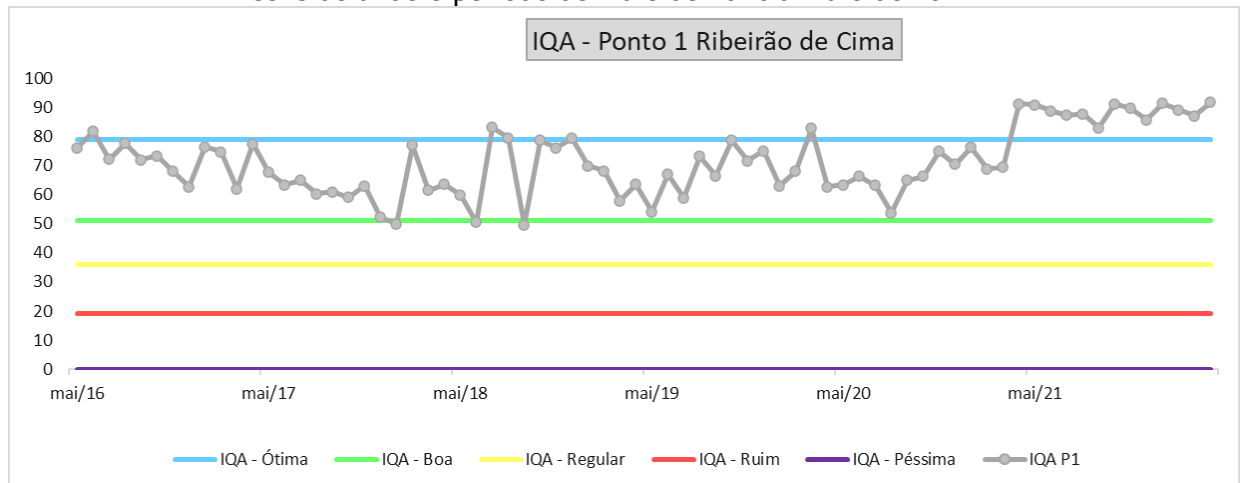
Gráfico 1 - Análise testemunha do IQA nos pontos 1 (Ribeirão Cima), 2 (Araguaia), 3 (Três Capões) e 4 (Capão) entre julho de 2011 e novembro de 2011



Fonte: Autor (2023).

O IQA no ponto 1 (Ribeirão de Cima) apresentou oscilação entre ótima, boa e regular (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Índice histórico da qualidade da água (IQA) do ponto 1 (Ribeirão de Cima) considerando o período de maio de 2016 a maio de 2021



Fonte: Autor (2023)

Na análise, testemunha esse ponto o qual registrou o menor índice em agosto de 2011, sendo 71 (IQA boa). Em janeiro, junho e setembro de 2018 o IQA desse ponto apresentou classificação regular, sendo que em janeiro e junho foi devido ao pH ter apresentado valores baixo nas análises (2,78 e 4,7 respectivamente), e em setembro devido ao aumento na DBO (37,5mg/L). Segundo Kumar, Gowd e Krupavathi (2024), o potencial hidrogeniônico é o

parâmetro mais importante para estimar a qualidade geral da água. Alterações nesse parâmetro podem ocorrer naturalmente, através de dissolução de rochas, oxidação da matéria orgânica, chuvas e dissolução de minerais. Porém, atividades antropogênicas como utilização de fertilizantes e despejo de efluentes, podem alterar significativamente o resultado do pH.

O pH é um dos parâmetros essenciais para estudos do saneamento ambiental já que tem influência na fisiologia de espécies e contribui para a precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados e solubilidade de nutrientes em equilíbrios químicos (CETESB, 2010; EPA, 2010; APHA, 2005).

Vale considerar que a acidez pode ser decorrente da presença de ácidos fúlvicos e húmicos que são resultado da degradação de matéria orgânica presente nas águas (Lopes; Magalhães Jr, 2010). Contudo, o pH depende de fatores ambientais, como clima, vegetação e litologia. O clima e a vegetação influenciam na qualidade da água devido a precipitação que pode contribuir para o escoamento superficial com consequente carreamento de material particulado de solo e íons da dissolução de rochas, além de compostos nitrogenados e carbono orgânico (Meybeck *et al.*, 1996) o que poderia sugerir a queda acentuada do pH em janeiro de 2018. Já nos meses de seca (junho e setembro) os baixos valores de pH podem ser resultado da decomposição orgânica.

Referente a DBO, a CONAMA 357/05 estabelece que rios de Classe 2 devem apresentar no máximo 5 mg L^{-1} , confirmando a discrepância ocorrida em setembro. Segundo a Cetesb (2010), altas concentrações de DBO em corpos hídricos podem estar vinculados ao despejo de origem predominantemente orgânica, o que induz a extinção do oxigênio na água e pode provocar mortandade de formas de vida aquática, como o caso do despejo de vinhaça. Além disso, Macêdo (2009) descreveu que um valor elevado de DBO provoca odores e sabores desagradáveis na água e tem influência na eficiência dos tratamentos biológicos aeróbios, anaeróbios e físico-químico nas estações de tratamento de água.

Em um estudo desenvolvido por Marinho *et al.* (2014), o autor encontrou em duas safras seguidas de monitoramento, valores altos de DBO e baixo pH na vinhaça. A exposição de peixes a uma maior concentração de vinhaça também provocou a mortandade desses indivíduos, sendo o principal motivo: as altas concentrações de DBO da vinhaça, ocasionando o esgotamento de oxigênio, assim como o baixo pH, favorecendo a formação de efeitos tóxicos.

Fuess *et al.* (2017) afirmaram em seu trabalho que a salinização do solo constitui o

principal impacto negativo da fertirrigação com vinhaça. Os efeitos de salinização da água puderem ser evidenciados por Gunkel *et al.* (2006) em seu estudo com o objetivo de monitorar a qualidade da água do Rio Ipojuca, localizado no estado de Pernambuco, sob a influência da aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar. O autor relatou uma leve redução do pH de 6,7 para 6,0. Neste trabalho, com exceção dos meses de janeiro, junho e setembro de 2018, não houve influência da vinhaça no pH da água no ponto 1.

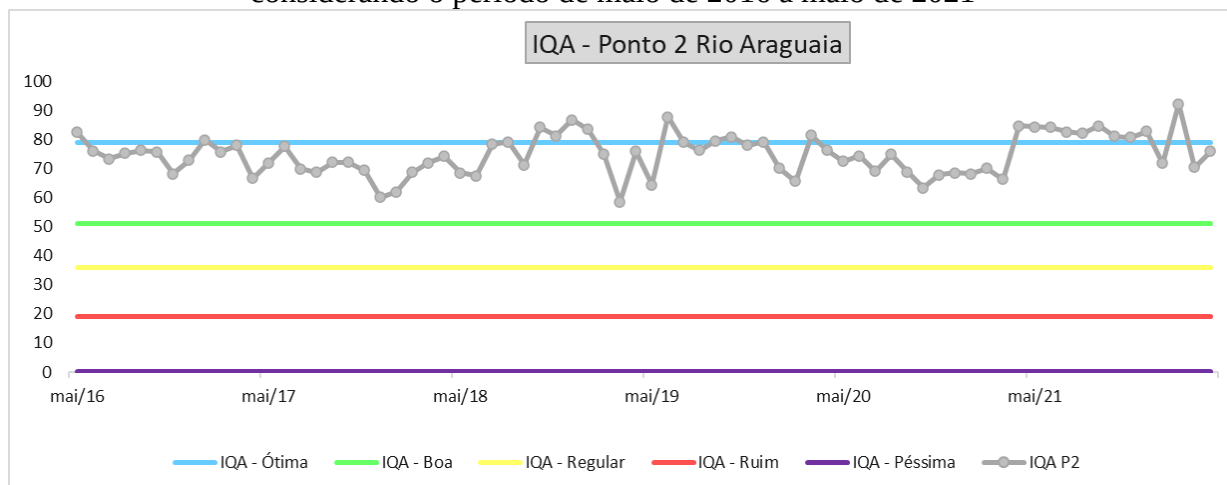
Devido a localização geográfica deste ponto (259208,00 leste e 8048669,00 sul), este é o mais próximo do parque industrial, tornando portanto um dos pontos mais susceptíveis a qualquer contaminação ocasionada por esse efluente. Segundo Visentin *et al.* (2024), a aplicação de vinhaça por longo período pode trazer impactos ambientais não somente para o solo, assim como também para os recursos hídricos localizados nas proximidades das áreas fertirrigadas.

Após o ano de 2018, o ponto 1 teve apenas duas reduções significativas no IQA, sendo em maio de 2019 (IQA – 54,15), devido as análises terem apontado baixo pH (3,8) e oxigênio dissolvido ($3,61 \text{ mg L}^{-1}$), e em agosto de 2020 onde o pH apresentou valor de 4,95 e oxigênio dissolvido de $4,28 \text{ mg L}^{-1}$, porém ainda se manteve na faixa de boa qualidade. Visentin *et al.* (2024), afirma que a fertirrigação quando ocorre de forma excessiva ou inadequada ocasiona a acidificação devido ao baixo pH desse efluente, sendo a vinhaça ainda apontada como o efluente que mais causa impacto ambiental devido as altas concentrações de matéria orgânica, turbidez e baixo pH.

Pereira *et al.* (2004), descreveram que a vinhaça apresenta pH ácido, elevada temperatura, alto teor de sais (24.000 a 80.000 mg L^{-1}) e grande teor em matéria orgânica (4.000 a 64.000 mg L^{-1}).

O IQA do ponto 2 (Rio Araguaia) durante o período de maio de 2016 a maio de 2021 apresentou-se como bom ou ótimo (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Índice histórico da qualidade da água (IQA) do ponto 2 (Rio Araguaia) considerando o período de maio de 2016 a maio de 2021



Fonte: Autor (2023)

As análises deste ponto indicaram que houve, na maioria das vezes, apenas variação do pH das águas durante o período observado, como em março de 2019 que o pH foi de 4,8 e DBO de 8,2 mg L⁻¹, sendo nesse mês identificado o menor IQA da série histórica desse ponto (58,68). O ponto 2 é o mais distante das regiões fertirrigadas com vinhaça (aproximadamente 2.000 m de distância) o que evidencia a menor influência da vinhaça nas águas desse ponto e contribui para menores oscilações no IQA.

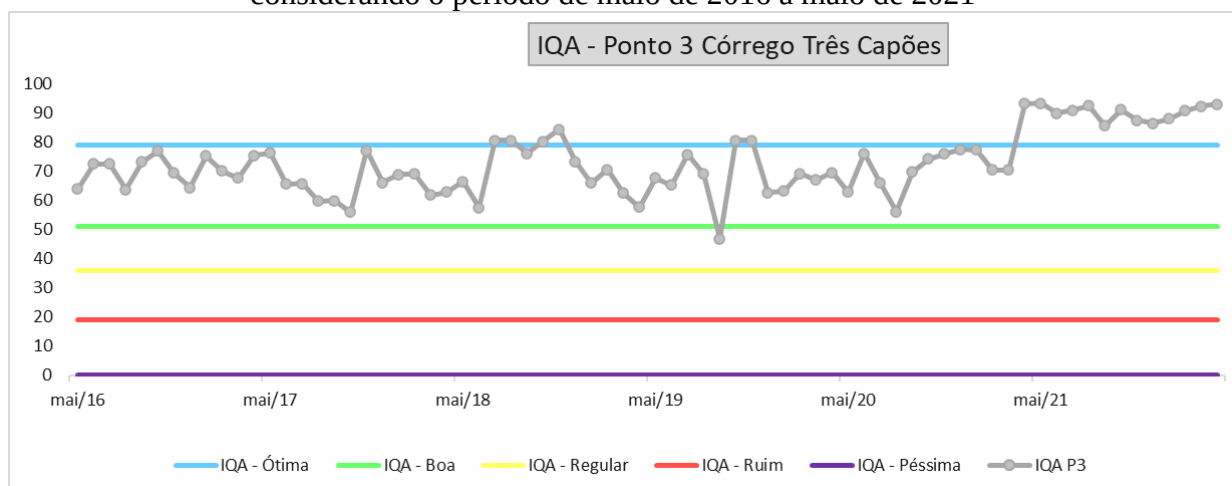
De acordo com Lopes *et al.* (2010), condições naturais da própria bacia hidrográfica podem influenciar nos valores de pH. No seu trabalho, esse autor identificou que o pH interferiu no IQA na maior parte do período monitorado, apresentando valores entre 4,5 e 6,5, ficando quase sempre fora da faixa estabelecida pela Conama 357 de 2005, que é de 6 a 9.

Damasceno *et al.* (2015), encontrou em seu trabalho resultados de pH mais ácido durante o período chuvoso, em um monitoramento realizado no Rio Amazonas em Macapá, podendo estar associado com a precipitação atmosférica mais ácida na região.

Porém, devido ao Ponto 2 ter apresentado alteração no pH tanto em época seca quanto chuvosa, sugere-se que as alterações no pH estejam mais relacionadas as condições do solo da região. Segundo a EMBRAPA (2021), os solos brasileiros já são em geral mais ácidos devido ao alto grau de intemperização e lixiviação de bases. Neossolos, que é o caso da região de Alto Taquari MT, podem apresentar alta acidez e permeabilidade, e o desenvolvimento de atividades agrícolas nessas áreas devem ocorrer de forma conservacionista devido à forte suscetibilidade a processos erosivos e carreamento de sólidos para os cursos hídricos.

O ponto 3 representativo do Córrego Três Capões apresentou IQA bom e ótimo durante o período de maio de 2016 a maio de 2021, com exceção de setembro de 2019 (IQA = 46,78) (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Índice histórico da qualidade da água (IQA) do ponto 3 (Córrego Três Capões) considerando o período de maio de 2016 a maio de 2021



Fonte: Autor (2023)

Neste mês foi evidenciado menores concentrações de oxigênio dissolvido ($4,47 \text{ mg L}^{-1}$) em relação ao estipulado pela CONAMA 357/05 (maior ou igual a 5 mg L^{-1}), mas as concentrações de DBO, *E. coli* e pH apresentaram valores dentro do padronizado pela legislação. A quantidade de oxigênio dissolvido em água e reservatórios naturais é um indicador que deve ser analisado com cuidado, pois é dependente de fatores como a temperatura, salinidade, turbulência da água e pressão atmosférica (Esteves, 1998).

Conforme Agência Nacional das águas- ANA (2020) o crescimento excessivo de algas, devido a possível presença de poluição e eutrofização nas águas, pode resultar em aumento nas concentrações de oxigênio devido à fotossíntese desses organismos durante o dia. Já no período noturno a queda brusca na quantidade de oxigênio devido a respiração dos organismos prejudica o desenvolvimento dos peixes, podendo provocar mortandade. A menor concentração de oxigênio neste mês no ponto 3 pode ser resultado, portanto, da presença de poluição e eutrofização.

O oxigênio dissolvido é um fator essencial para a manutenção da vida aquática e qualidade da água, servindo também como indicador dos recursos hídricos. Esse parâmetro também é utilizado para detectar processos de eutrofização e poluição orgânica (Scarlati *et*

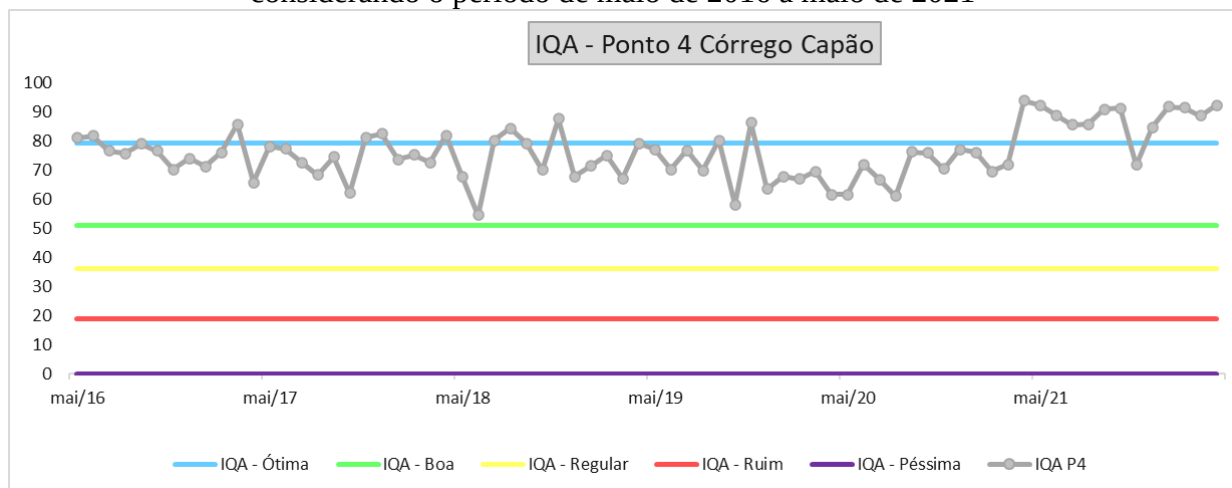
al., 2019). Segundo Reis (2019), como o oxigênio é utilizado para estabilização da matéria orgânica, se houver pouca disponibilidade de OD é possível afirmar que existe alta concentração de matéria orgânica. Fatores como a velocidade hidráulica ocasionando uma menor turbulência, também contribui para reduzir aeração da água.

Um dos impactos mais discutidos e comprovado da deposição ou do despejo da vinhaça em recursos hídricos é a alteração nos níveis de oxigênio dissolvido e, consequente, aumento das concentrações de matéria orgânica (Mariano *et al.*, 2009). A exposição de tilápias a níveis diferentes de diluição de vinhaça demonstrou que ela provocou alterações significativas no fígado desses animais, representando um alto potencial de toxicidade (Marinho *et al.*, 2014).

Em meses que o IQA do ponto 3 ficou bom evidenciou-se nas análises que isso foi resultado da oscilação de pH nas águas, sendo a concentração hidrogeniônica menor do que a estipulada pela legislação (CONAMA 357/05). O pH das águas pode oscilar devido a vários fatores, como por exemplo presença de matéria orgânica (já discutido para o ponto 1). Nesse caso, o aumento da matéria orgânica pode ser resultado da proximidade desse curso de água em relação a área fertirrigada com vinhaça (400 metros), sendo o mais próximo da área fertirrigada.

O ponto 4 representativo do Córrego Capão apresentou IQA bom e ótimo durante o período de maio de 2016 a maio de 2021 (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Índice histórico da qualidade da água (IQA) do ponto 4 (Córrego Capão) considerando o período de maio de 2016 a maio de 2021



Fonte: Autor (2023)

Este ponto de coleta de água apresentou oscilação em alguns meses, como em maio de 2018 devido à queda nos valores de pH (4,1) em relação ao estipulado pela legislação (pH 6 – 9 – CONAMA 357/05). E em maio de 2019 devido ao aumento no valor de DBO (6,7 mg L⁻¹) em relação ao estipulado pela legislação (DBO igual ou inferior a 5 mg L⁻¹ – CONAMA 357/05).

Conforme descrito anteriormente as oscilações nos valores de pH e DBO influenciaram diretamente no IQA. Mas, esta influência, em relação ao ponto 4, pode ser resultado da presença de mata nativa e o processo de erosão nas proximidades das nascentes desse ponto (Figura 13), o que aumenta a deposição de matéria orgânica e íons de rochas na água.

Figura 13 - Processo erosivo nas proximidades do P4



Fonte: Autor (2023)

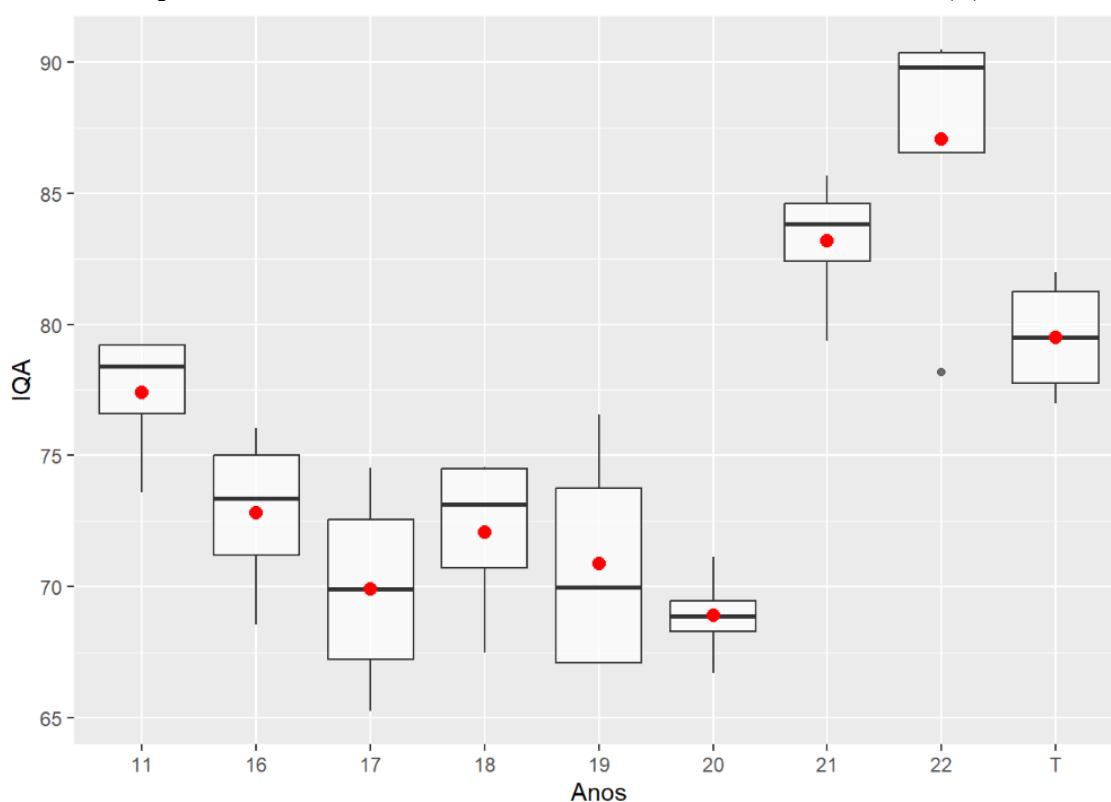
Segundo Leitão *et al.* (2015) e Pimenta *et al.* (2009) a mata ciliar tem uma importância ímpar para a qualidade da água devido a ação antrópica no meio físico e em recursos naturais. Freitas *et al.* (2020) relataram que sem o tratamento de efluentes industriais e o despejo destes em cursos de rios há uma diminuição drástica da qualidade da água o que afeta a vida marinha. Silveira *et al.* (2022) observaram que cursos de água com índice de qualidade entre bom e ótimo são considerados saudáveis para a vida marinha e para consumo humano, mesmo sem a presença de mata ciliar.

4. 3. 2 Resultado da análise estatística

A análise do gráfico boxplot revelou uma variação significativa nos valores do Índice de Qualidade da Água (IQA) entre os locais estudados de 2016 a 2022. Observou-se uma tendência de melhoria geral na qualidade da água, com os valores de IQA aumentando ao longo do tempo, alcançando a classificação de "ótimo" em alguns locais. A variabilidade entre os pontos de amostragem diminuiu em 2022, indicando uma possível estabilização na qualidade da água. Foram identificados outliers, sugerindo episódios pontuais de poluição ou variações ambientais significativas.

Assim como observado nas Gráficos 2, 3, 4 e 5 o IQA da água melhorou nos anos de 2021 e 2022, alcançando os maiores valores em 2021/2022 para todos os pontos analisados, o que foi confirmado na Gráfico 6 apresentado abaixo.

Gráfico 6 - Boxplot do índice histórico da qualidade da água (IQA) dos pontos 1 (Ribeirão de Cima), 2 (Rio Araguaia), 3 (Córrego Três Capões) e 4 (Córrego Capão) considerando o período de 2011, maio de 2016 a maio de 2021 e testemunha (T)

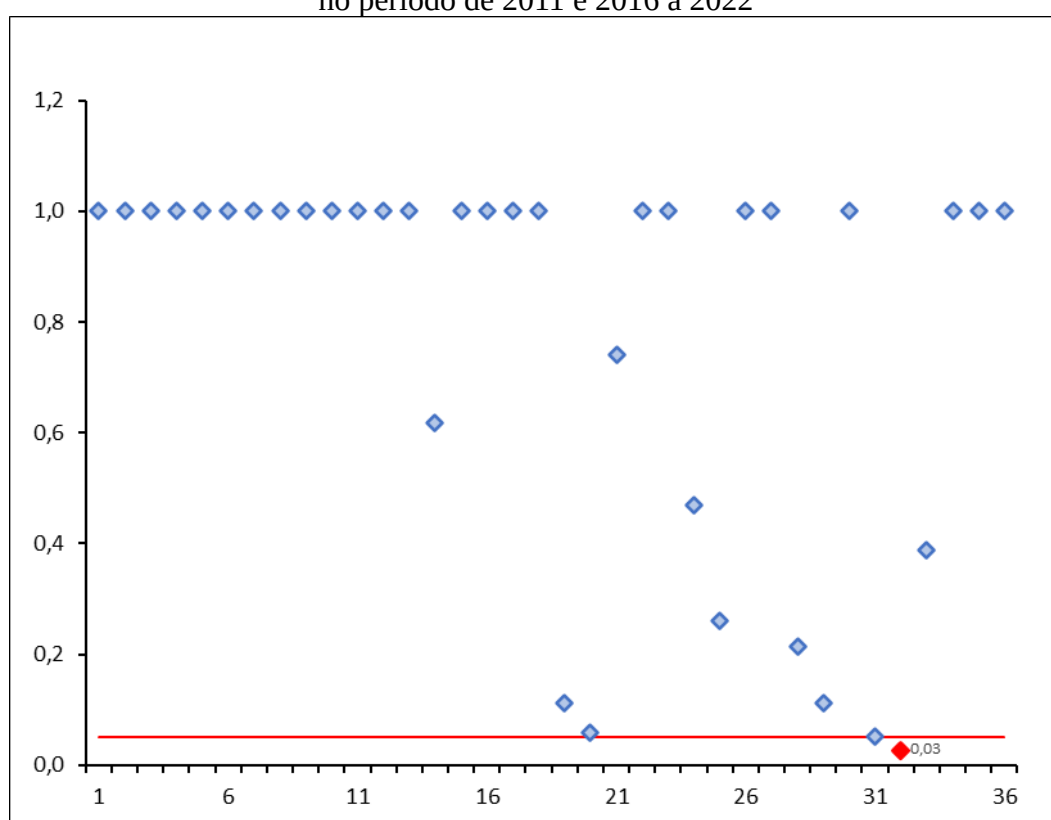


Fonte: Autor (2023)

As melhorias observadas na qualidade da água podem ser atribuídas a esforços de gestão ambiental eficazes e à implementação de políticas de proteção dos recursos hídricos. A presença de outliers nos dados ressalta a importância de monitoramento contínuo para identificar e mitigar rapidamente fontes de contaminação. A convergência na qualidade da água entre os locais sugere um impacto positivo das intervenções ambientais. Recomenda-se ampliar a pesquisa para incluir mais variáveis e um período de análise mais extenso, visando uma compreensão mais abrangente das dinâmicas da qualidade da água e dos fatores que influenciam suas variações.

O teste de Kruskal-Wallis (ou Teste de Dunn) foi realizado comparando-se o IQA em todos os meses analisados (considerando a testemunha, 2011 e o período de 2016 a 2022). A ampliação do teste estatístico demonstrou que poucos anos apresentaram diferença em relação ao IQA, sendo evidenciado apenas na comparação do período de 2020 com 2022, com $p = 0,03$ (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Diferença estatística a partir do Teste de Kruskal-Wallis (Teste de Dunn) do IQA no período de 2011 e 2016 a 2022



Fonte: Autor (2023)

A comparação do IQA do período chuvoso com o período seco entre 2011, 2016 até 2021 apresentou parâmetros significativos apenas na comparação do período chuvoso de 2021 com o período de seca 2020 e os períodos de seca de 2020 e 2021 (Tabela 1 e Gráfico 8). Neste período a diferença entre os valores IQA indicaram que os pontos observados apresentavam qualidade distinta entre si, podendo ser resultado de diferenças nos parâmetros biológicos, físicos e químicos. Os maiores valores de IQA na estação da seca em relação a chuvosa (2020-2021) podem indicar que a região não apresenta mata ciliar o que eleva a turbidez em períodos chuvosos, devido às maiores quantidades de sedimentos levados pela

chuva para o curso hídrico, ocasionando o aumento de material suspenso no rio (ROCHA et al., 2013).

Tabela 1 - Comparação dos valores de IQA em relação às estações do ano

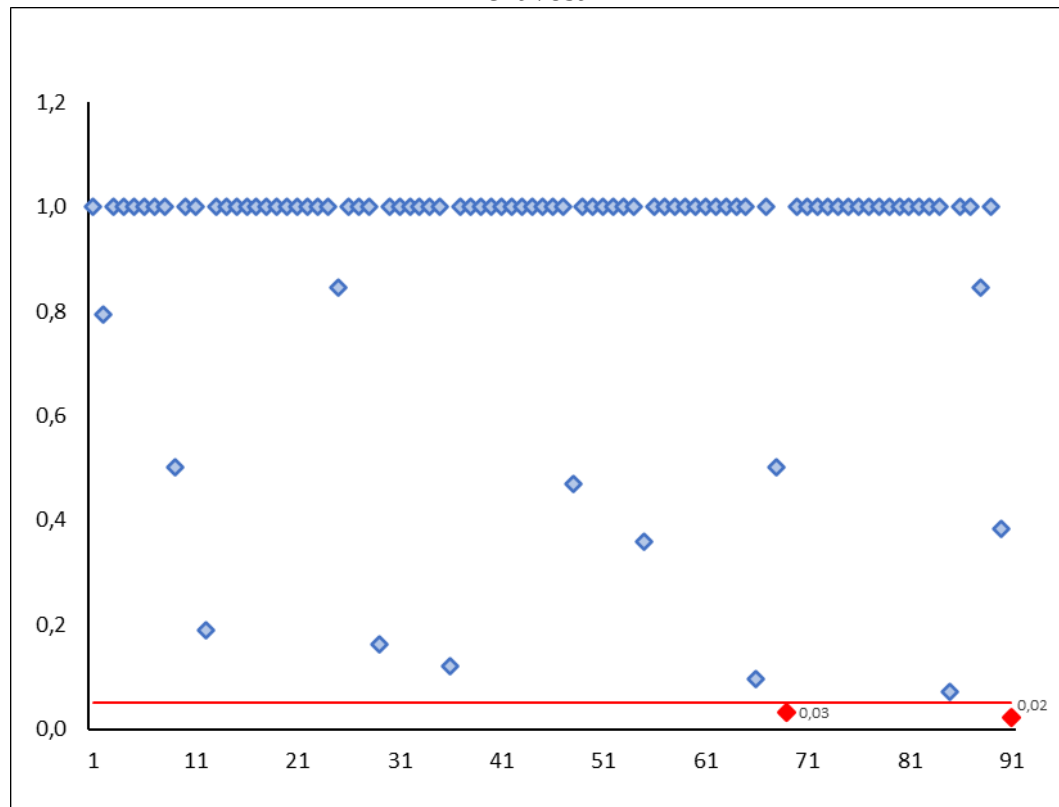
Variáveis			Variáveis			Variáveis		
P ajustado			p ajustado			p ajustado		
C16	C17	1,000	C18	S16	1,000	C21	S19	0,503
C16	C18	1,000	C18	S17	1,000	C21	S20	0,032*
C16	C19	1,000	C18	S18	1,000	C21	S21	1,000
C16	C20	1,000	C18	S19	1,000	S16	S18	1,000
C16	C21	1,000	C18	S20	1,000	S16	S19	1,000
C16	S16	1,000	C18	S21	1,000	S16	S20	1,000
C16	S17	1,000	C19	C20	1,000	S16	S21	1,000
C16	S18	1,000	C19	C21	0,470	S17	S18	1,000
C16	S19	1,000	C19	S16	1,000	S17	S18	1,000
C16	S20	1,000	C19	S17	1,000	S17	S20	1,000
C16	S21	0,845	C19	S18	1,000	S17	S21	0,071
C17	C18	1,000	C19	S19	1,000	S18	S19	1,000
C17	C19	1,000	C19	S20	1,000	S18	S20	1,000
C17	C20	1,000	C19	S21	0,358	S18	S21	0,845
C17	C21	0,163	C20	C21	1,000	S19	S20	1,000
C17	S16	1,000	C20	S16	1,000	S19	S21	0,384
C17	S17	1,000	C20	S17	1,000	S20	S21	0,023*
C17	S18	1,000	C20	S18	1,000	C11	C16	1,000
C17	S19	1,000	C20	S19	1,000	C11	C17	0,793
C17	S20	1,000	C20	S20	1,000	C11	C18	1,000
C17	S21	0,121	C20	S21	1,000	C11	C19	1,000
C18	C19	1,000	C21	S16	1,000	C11	C20	1,000
C18	C20	1,000	C21	S17	0,097	C11	C21	1,000
C18	C21	1,000	C21	S18	1,000	C11	S11	1,000
C11	S16	1,000	C11	S17	0,503	C11	S18	1,000
C11	S19	1,000	C11	S20	0,189	C11	S21	1,000

C seguindo de número representa a estação chuvosa do respectivo ano (C18 = estação chuvosa do ano de 2018).

S seguido de número representa a estação seca do respectivo ano (S18 = estação seca do ano de 2018).

*representa parâmetro significativo por Teste de Dunn com correção de Bonferroni.

Gráfico 8 - Diferença estatística a partir do Teste de Kruskal-Wallis (Teste de Dunn) do IQA no período de 2011 e 2016 a 2022 a partir da comparação entre a estação seca e estação chuvosa



Fonte: Autor (2023)

Em um estudo realizado por Gomes (2021), o autor analisou os efeitos da aplicação da vinhaça próximo a uma nascente, evidenciando que a prática agrícola realizada na região possivelmente vem influenciando na qualidade da água, considerando que os resultados encontrados apontam a possibilidade desse rio de classe 3 se tornar classe 4. A diferença dos resultados encontrados por Gomes (2021), para este trabalho, podem ser justificadas pela distância dos pontos de monitoramento, visto que o mais próximo das áreas fertirrigadas neste estudo estava a 400 metros da aplicação.

Nessa perspectiva, Silva *et al.* (2007), afirma que uma bacia hidrográfica que possua cobertura florestal preservada é de suma importância para reduzir a chance de contaminação por deflúvio. A presença de vegetação favorece ainda para a evitar processos erosivos, diminuindo o carreamento de sólidos para os recursos hídricos, e consequentemente ocasionando menos alteração na qualidade da água.

Por outro lado, Liboni *et al.*(2012), acredita que o descarte da vinhaça em solo é a forma menos poluente de utilização desse efluente, mostrando em seu estudo que aplicações inferiores $300\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ não causa impactos danosos ao meio ambiente.

Silva *et al.* (2023) descreveram, após uma extensa revisão de literatura, que o uso da vinhaça concentrada em relação a *in natura* pode fornecer água de reuso para processo, assim como para lavagem de equipamentos utilizados em atividades agrícolas, o que seria uma boa alternativa para o despejo desse subproduto industrial. Mais pesquisas devem ser realizadas para comprovar a sua influência em recursos hídricos após a utilização em irrigação.

Apesar dos efeitos desfavoráveis apontados por vários autores pela aplicação da vinhaça, Christofolletti *et al.* (2013) considera que a aplicação desse subproduto apresenta pontos positivos ambientais como a redução do uso de água para irrigação e fertilizantes minerais. Fuess *et al.* (2014) afirma em seu trabalho que embora esses impacto positivos seja apontado por alguns pesquisadores a maioria dos estudos disponíveis na literatura são conduzidos a curto prazo (2 a 3 anos) ou em bancada, e acredita que o tratamento da vinhaça antes do seu descarte é fundamental para tornar o processo de fertirrigação uma prática ambientalmente mais adequada, considerando os vários fatores da vinhaça como: baixo pH, altas concentrações de nutrientes e matéria orgânica, que podem comprometer a qualidade do solo e cursos d'água.

4. 4 Conclusão

A análise do índice de qualidade da água (IQA) nos pontos de monitoramento, pontos 1 (Ribeirão de Cima), 2 (Rio Araguaia), 3 (Córrego Três Capões) e 4 (Córrego Capão), demonstrou que ao longo dos anos, até maio de 2022, houve melhora do IQA, sendo este classificado como ótimo. Foi possível confirmar que o IQA apresentou oscilação entre regular, bom e ótimo, sem alteração significativa quando comparado a análise testemunha.

Destarte, não houve influência da fertirrigação e da sazonalidade no IQA dos pontos de cursos hídricos analisados neste trabalho durante o período observado, com exceção do período C21 em relação ao S20, e S20 em relação ao período S21, podendo afirmar que a aplicação da legislação atual é eficiente para manter a qualidade natural dos cursos hídricos a uma distância acima de 400 metros das áreas fertirrigadas.

4. 5 Referências

Alto Taquari, Prefeitura Municipal de. **Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente**. Conheça Alto Taquari. Alto Taquari, 2022.

ANA (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS). **Indicadores de qualidade: índice de qualidade das águas (IQA)**. Disponível em: <http://pnpa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 10 jan. 2023.

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington. 2005.

BAWOKE, Getnet Taye; ANTENEH, Zelalem Leyew. **Spatial assessment and appraisal of groundwater suitability for drinking consumption in Andasa watershed using water quality index (WQI) and GIS techniques: blue Nile basin, northwestern Ethiopia**. *Cogent Engineering*, [S.L.], v. 7, n. 1, p. 1748950, 1 jan. 2020. <http://dx.doi.org/10.1080/23311916.2020.1748950>.

BRASIL. Lei nº 9433, 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**. Brasília, DF, 08 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 04 out. 2022.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 357, de 17 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**. 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 10 jan. 2023.

BRUNINI, Rodrigo Garcia *et al.* **Efeito do Sistema de Produção de Cana-de-Açúcar na Qualidade da Água em Bacias Hidrográficas**. Revista Agrarian, Dourados, v. 10, n. 36, p. 170-180, maio 2017.

BUSSAB, Wilton de O.; MORETIN, Pedro A. **Estatística Básica**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2003.

CARPANEZ, T. G. *et al.* Sugarcane vinasse as organo-mineral fertilizers feedstock: opportunities and environmental risks. *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 832, p. 154998, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154998>.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **IQA – Índice de Qualidade das Águas**. São Paulo, 2017.

CHRISTOFOLETTI, Cintya Aparecida *et al.* **Sugarcane vinasse: environmental implications of its use**. Waste Management, [S.L.], v. 33, n. 12, p. 2752-2761, dez. 2013. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.09.005>.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n.357, de 17 de março de 2005**. Brasília. <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>. Acesso em: 05 de fevereiro de 2023.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2010). Governo do Estado de São Paulo – **Secretaria de Meio Ambiente**. Disponível em <http://www.cetesb.com.br>. Acesso em: 09 dez. 2023.

DAMASCENO, Maria da Conceição Silva *et al.* Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais do Rio Amazonas na orla da cidade de Macapá, Amapá, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 10, n. 3, p. 598-613, 3 jul. 2015. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1606>.

EMBRAPA. **Correção da acidez do solo**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-irrigado-na-regiao-tropical/correcao-do-solo-e-adubacao/correcao-da-acidez-do-solo>. Acesso em: 10 fev. 2024.

EMBRAPA. **Bioma Cerrado: Fitofisionomias do Bioma Cerrado**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cerrados/colecao-entomologica/bioma-cerrado>. Acesso em: 11 fev. 2024.

EMBRAPA. **Mapas de solo do Brasil**. Disponível em: http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil_solos_5m_20201104. Acesso em: 19 out. 2022.

EPA. **United States Environmental Protection Agency**. Disponível em: www.epa.gov. Acesso em: 09 dez de 2023.

ESTEVES, F. DE A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FREITAS, Lucas Victor Pereira de *et al.* **Avaliação da qualidade de água superficial usando o índice de qualidade da água (IQA) em um rio localizado no norte de Minas Gerais (Brasil)**. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 8, n. 4, p. 245 – 255. 2020.

FUESS, L. T.; RODRIGUES, I. J.; GARCIA, M. L. **Fertirrigation with sugarcane vinasse: Foreseeing potential impacts on soil and water resources through vinasse characterization**. *Journal of Environmental Science and Health, New York*, v. 52, n. 11, p. 1063-1072, 2017.

FUESS, Lucas Tadeu *et al.* **Diversifying the technological strategies for recovering bioenergy from the two-phase anaerobic digestion of sugarcane vinasse: an integrated techno-economic and environmental approach**. *Renewable Energy*, [S.L.], v. 122, p. 674-687, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.003>.

GOMES, Bruno Previato; BORTOCAN, Renato. **Avaliação da contaminação de nascente próxima à fertirrigação por vinhaça**. 2021.

GUNKEL, Gunter *et al.* **Sugar Cane Industry as a Source of Water Pollution** – Case Study on the Situation in Ipojuca River, Pernambuco, Brazil. *Water, Air, And Soil Pollution*, [S.L.], v. 180, n. 1-4, p. 261-269, 28 out. 2006. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-006-9268-x>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>. Acesso em: 10 fev de 2024

KUMAR, P. Ravi; GOWD, S. Srinivasa; KRUPAVATHI, C.. **Groundwater quality evaluation using water quality index and geospatial techniques in parts of Anantapur District, Andhra Pradesh, South India**. *Hydroresearch*, [S.L.], v. 7, p. 86-98, 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hydres.2024.01.001>.

LEITÃO, Valéria de Sousa *et al.* **Utilização do índice de qualidade de água (IQA) para monitoramento da qualidade de água em uma área de preservação ambiental**. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria*, v. 19, n. 3, p. 794 – 803, 2015.

LIBONI, L.B; CEZARINO, L.O. **Impactos sociais e ambientais da indústria da cana-de-açúcar**. *Future Studies Research Journal*, v. 4, n. 1, p. 202-230, 2012.

LOPES, F. W. de. A.; MAGALHÃES JR, A. P. **Influência das condições naturais de pH sobre o índice de qualidade das águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas**. *Geografias*, v. 06, n. 2, p. 134-147, 2010.

FUESS, Lucas Tadeu *et al.* **Implications of stillage land disposal: a critical review on the impacts of fertigation**. *Journal Of Environmental Management*, [S.L.], v. 145, p. 210-229, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.003>.

MARIANO, Adriano Pinto *et al.* **The use of Vinasse as an Amendment to Ex-Situ Bioremediation of Soil and Groundwater Contaminated with Diesel Oil**. *Brazilian Archives Of Biology And Technology*, [s. l], v. 52, n. 4, p. 1043-1055, ago. 2009.

MARINHO, Júlia Fernanda Urbano *et al.* **Sugar cane vinasse in water bodies: impact assessed by liver histopathology in tilapia**. *Ecotoxicology And Environmental Safety*, [S.L.], v. 110, p. 239-245, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.09.010>.

MEYBECK M *et al.* *Rivers*. In: CHAPMAN, D. (Ed.) **Water quality assessments - a guide to use of Biota, sediments and water in environmental monitoring**. 2ª Ed. Cambridge: UNESCO/WHO/UNEP. 626p. 1996.

PEREIRA, R. S. **Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas**

hídricos. Revista Eletrônica de Recursos Hídricos. IPH –UFRGS. v. 1, n. 1. P. 20-36. 2004. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/informacoes/erh.pdf>

PIMENTA, S; PEÑA, A. P; GOMES, P. S. **Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do Rio São Tomás, Município de Rio Verde –Goiás.** Natureza e Sociedade, Uberlândia, 2009, v. 21, n. 3, p. 393-412, 2009.

REIS, L.F.R. **Impactos ambientais sobre rios e reservatórios.** In: CALIJURI, M.C; CUNHA, D.G.F. Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão. 2 ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2019. p. 197-214.

ROCHA, H. M.; CABRAL, J. B. P.; BRAGA, C. C. Avaliação Espaço-Temporal das Águas dos Afluentes do Reservatório da UHE Barra dos Coqueiros/Goiás. **RBRH –Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19 n.1, p. 131-142, jan/mar 2014.

SCARLATTI, Viviane Motta *et al.* **Avaliação da qualidade das águas superficiais do município de rio claro/sp.** Geosciences = Geociências, [S.L.], v. 38, n. 3, p. 741-754, 19 dez. 2019. UNESP - Universidade Estadual Paulista. <http://dx.doi.org/10.5016/geociencias.v38i3.13798>.

SILVA, Mellissa A. S. da *et al.* **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 108-114, fev. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662007000100014>.

SILVA, J. H. B. da *et al.* **Uso da vinhaça concentrada e enriquecida como biofertilizante na cana-de-açúcar: uma revisão.** Scientific Electronic Archives, v. 16, n. 2, p. 1 – 8, 2023.

SILVEIRA, H. T. *et al.* **Aplicação de índices de qualidade de água para avaliação da barragem Jaime Umbelino de Souza, Sergipe, Brasil.** Research, Society and Development, v. 11, n. 17, e66111738941, 2022.

TANIWAKI, Ricardo Hideo *et al.* **Impacts of converting low-intensity pastureland to high-intensity bioenergy cropland on the water quality of tropical streams in Brazil.** Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 584-585, p. 339-347, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.150>.

UCKER, Fernando Ernesto *et al.* Comportamento de nutrientes em solos frágeis sob cultivo de cana-de-açúcar na região de Mineiros, GO. In: Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa. **Solos frágeis: Caracterização, Manejo e Sustentabilidade.** Brasília. Embrapa, 2015. Cap. 2. p. 186-206.

VISENTIN, Taisne Gonçalves *et al.* **Effects of temperature, pH, and C/N ratio of sugarcane wastewater processing (vinasse) on Phormidium autumnale heterotrophic cultivation.** Algal Research, [S.L.], v. 77, p. 103349, jan. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2023.103349>.