

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

**IMPACTO DO USO DE LODO DE VINHAÇA EM SOLO  
AGRÍCOLA EM ÁGUAS SUPERFICIAIS**

**Autor: Wagner Tavares dos Santos  
Orientador: Prof. Dr. Carlos Frederico de Souza Castro  
Coorientador: Prof. Dr Bruno de Oliveira Costa Couto**

**RIO VERDE - GO  
FEVEREIRO- 2025**

**WAGNER TAVARES DOS SANTOS**

**IMPACTO DO USO DE LODO DE VINHAÇA EM SOLO  
AGRÍCOLA EM ÁGUAS SUPERFICIAIS**

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE, ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde - Área de Concentração Engenharia Aplicada e Sustentabilidade.

Autor: Wagner Tavares dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Carlos Frederico de Souza Castro

Coorientador: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Costa Couto

**RIO VERDE - GO  
FEVEREIRO- 2025**

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

T231i Tavares dos Santos, Wagner  
Impacto do Uso de Lodo de Vinhaça em Solo Agrícola em  
Aguas Superficiais / Wagner Tavares dos Santos. Rio Verde  
2024.  
88f. il.  
Orientador: Prof. Dr. Carlos Frederico de Souza Castro.  
Coorientador: Prof. Dr. Bruno de Oliveira Costa Couto.  
Dissertação (Especialista) - Instituto Federal Goiano, curso de  
0233144 - Mestrado Profissional em Engenharia Aplicada e  
Sustentabilidade (Campus Rio Verde).  
1. Impacto do Uso de Lodo de Vinhaça em Solo Agrícola em  
Aguas Superficiais. I. Título.

# 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

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)                  | <input type="checkbox"/> Artigo científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização)       | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação)                   | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Wagner Tavares dos Santos

Matrícula:

2023102331440006

Título do trabalho:

IMPACTO DO USO DE LODO DE VINHAÇA EM SOLO AGRÍCOLA EM ÁGUAS SUPERFICIAIS

## RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 05 /05 /2025

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.

Rio Verde, GO

Local

05 /04 /2025

Data

WAGNER TAVARES DOS  
SANTOS:80792219600

Assinado de forma digital por WAGNER TAVARES DOS  
SANTOS:80792219600  
Dados: 2025.04.05 08:33:57 -0400

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Documento assinado digitalmente

CARLOS FREDERICO DE SOUZA CASTRO

DNK: 07/04/2025 09:22:56 -0300

Verifique em <https://validar.if.gov.br>

orientador(a)



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

Ata nº 8/2025 - 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: 84
Data: 21/02/2025	Hora de início: 15:00h	Hora de encerramento: 18:00h
Matrícula do discente:	2023102331440006	
Nome do discente:	Wagner Tavares dos Santos	
Título do trabalho:	IMPACTO DO USO DE LODO DE TANQUES DE VINHAÇA EM ÁREAS AGRÍCOLAS SOBRE A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	
Orientador:	Carlos Frederico de Souza Castro	
Área de concentração:	Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	
Linha de Pesquisa:	Eficiência Energética e Sustentabilidade	
Projeto de pesquisa de vinculação	IMPACTO DO USO DE LODO DE TANQUES DE VINHAÇA EM ÁREAS AGRÍCOLAS SOBRE A QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	

Titulação:	Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade
------------	--

Nesta data, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Prof. Dr. Carlos Frederico de Souza Castro (Presidente da banca), Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Júnior (Avaliador Interno), Prof. Dr. Bruno de Oliveira Costa Couto (Avaliador Interno) e Prof. Dr. Gildomar Alves dos Santos (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 **WAGNER TAVARES DOS SANTOS**, 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, Carlos Frederico de Souza Castro, 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.

Documento assinado eletronicamente por:

- Edio Damasio da Silva Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/02/2025 16:51:22.
- Carlos Frederico de Souza Castro, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/02/2025 16:56:56.
- Gildomar Alves dos Santos, 195.407.361-53 - Usuário Externo, em 24/02/2025 08:27:40.
- Bruno de Oliveira Costa Couto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 24/02/2025 15:28:16.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 07/01/2025. 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: 665577  
Código de Autenticação: 572dac0f13



## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha família, em especial, à minha esposa, que tem me incentivado e dado todo o apoio necessário aos meus estudos na pós-graduação.

## AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade e ao IF Goiano, pelo apoio e oportunidade única em minha carreira profissional e acadêmica de realizar este estudo. Por meio dos recursos e infraestruturas disponibilizados, estou podendo desenvolver meus conhecimentos e desenvolver meu trabalho de forma eficiente e aplicada. Além disso, gostaria de agradecer à CAPES, ao CNPq, à FAPEG e a todas as instituições que fomentam a pesquisa, pois sem estes incentivos não há como ter ciência de qualidade em nosso país. Estas instituições são grandes responsáveis pelo desenvolvimento socioeconômico do Brasil. Também quero expressar minha gratidão ao meu orientador, Carlos Frederico, por sua orientação e mentoria ao longo de todo o processo, pois seus insights, conhecimentos e dedicação estão sendo fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. Também não poderia deixar de agradecer à empresa em que atuo profissionalmente, a ATVOS Agroindustrial, unidade Costa Rica MS, pelo apoio na busca do conhecimento e autorização para realização deste trabalho. Gostaria de agradecer também ao professor Edio Damásio, pelo apoio e incentivo e distribuição de seu conhecimento, não só comigo, mas com todos os colegas, ao Professor Gildomar, por ser um eterno incentivador. Não posso deixar de mencionar a valiosa colaboração de colegas, amigos e familiares, que me incentivam e oferecem apoio emocional ao longo dessa jornada. Seus encorajamentos e palavras de incentivo foram verdadeiramente inspiradores. Por fim, eu gostaria de agradecer a Deus por me dar a oportunidade de realizar este projeto de pesquisa de mestrado. Eu sei que é um grande privilégio e estou muito grato por essa oportunidade.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Wagner Tavares dos Santos, casado, pai de três filhos, natural de João Pinheiro, MG, mas reside em Goiás há 15 anos, graduado em Engenharia Agrônômica, com especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho e Tecnologia Sucroalcooleira, com MBA em Engenharia Ambiental & Sustentabilidade e Gestão Empresarial. Atualmente atua como Gerente de SSMA (Saúde, Segurança e Meio Ambiente) na ATVOS Agroindustrial.

## RESUMO

Um dos desafios enfrentados pelas usinas sucroalcooleiras está em dispor seus resíduos de forma segura, ambientalmente correta e sustentável. O lodo, objeto deste estudo, é um subproduto da indústria sucroenergética, que se forma no fundo dos tanques de armazenamento de vinhaça em função da forma como as usinas operam a distribuição da vinhaça no campo. Por se tratar de um material rico em nutrientes, ele pode ser usado como adubo orgânico no preparo do solo para o plantio de cana-de-açúcar e outras culturas. A disposição deste lodo no solo é uma alternativa de manejo e aproveitamento, mas não pode ser descartado de qualquer forma no solo por trazer riscos ambientais como a contaminação do solo e dos recursos hídricos. No presente trabalho, objetivou-se verificar se a disposição do lodo em solo agrícola para produção de cana-de-açúcar interferiu na qualidade dos mananciais próximos às áreas de aplicação. O presente estudo foi conduzido na região de Costa Rica – MS, onde foram localizados pontos de monitoramento de aplicação do lodo, considerando também a sazonalidade de períodos secos e chuvosos do ano. Foram feitas análises físico-químicas das amostras de águas superficiais próximas ao local, embasando as interpretações das concentrações dos elementos presentes no lodo de acordo com os parâmetros da norma estadual SEMADESC N.001 e também os padrões de qualidade da água segundo CONAMA nº 357 e Índice de Qualidade da Água (IQA). A partir dos dados levantados, constatou-se que o emprego do lodo de vinhaça no solo como fonte de nutrientes não alterou as propriedades físico-químicas das águas superficiais do local.

**Palavras-chave:** Tanques; vinhaça; qualidade das águas; resíduos; lodo; Cultura da cana-de-açúcar; Recursos hídricos

## ABSTRACT

One of the challenges faced by sugar and alcohol plants is disposing of their waste in a safe, environmentally correct and sustainable way. Sludge, the object of the study, is a by-product of the sugar-energy industry, which forms at the bottom of vinasse storage tanks due to the way in which the plants distribute vinasse in the field. As it is a material rich in nutrients, it can be used as organic fertilizer in preparing the soil for planting sugar cane and other crops. The disposal of this sludge on the ground presents itself as an alternative for management and use, however, it cannot be discarded in any way on the ground as it poses environmental risks such as contamination of soil and water resources. The present work aimed to verify whether the disposal of sludge on agricultural land for sugar cane production interfered with the quality of water sources close to the application areas. The present study was carried out in the region of Costa Rica – MS, where sludge application monitoring points were carried out, also considering the seasonality of dry and rainy periods of the year, physical-chemical analyzes were carried out on surface water samples close to the local, supporting the interpretations of the concentrations of elements present in the sludge according to the parameters of the SEMADESC N.001 state standard and also the water quality standards with CONAMA n° 357 and water quality index (IQA). From the data collected, it was found that the use of vinasse sludge in the soil as a source of nutrients did not alter the physical-chemical properties of the local surface water.

**Keywords:** Tanks; vinasse; water quality; waste; sludge; sugarcane cultivation; water resources

## ÍNDICE

RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	7
1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Justificativa.....	11
1.2 Revisão da literatura.....	12
1.2.2 <i>Lodo de tanques de vinhaça: características e impactos ambientais</i> .....	16
1.2.3 <i>Legislação ambiental</i> .....	18
2 OBJETIVOS.....	20
2.1 Objetivo Geral.....	20
2.2 Objetivos Específicos.....	20
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
4 CAPÍTULO I- ARTIGO 1.....	24
RESUMO.....	25
ABSTRACT.....	26
4.1 Introdução.....	27
4.2 Material e métodos.....	29
4.2.1 <i>Caracterização da área de estudo e pontos de monitoramento</i> .....	29
4.2.2 <i>limpeza e destinação do Lodo de tanques de vinhaça</i> .....	33
4.2.3 <i>Parâmetros e metodologia para coleta e análise das amostras de águas superficiais</i> .....	37
4.2.4 <i>Tratamento estatístico dos dados</i> .....	39
4.3 Resultados e discussão.....	39
4.4 Conclusão.....	66
4.5 Referências bibliográficas.....	67

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Pontos de monitoramento e coordenadas geográficas .....	32
Tabela 2- Tamanho e capacidade do reservatório 05 .....	35
Tabela 3- Resumo do método de análise utilizado para cada parâmetro.....	37
Tabela 4- Análise do lodo do reservatório número 02.....	38
Tabela 5- Análise de Variância e Shapiro Wilk Test agrupando pelos Pontos: Turbidez .....	48
Tabela 6- ANOVA estações de chuva e seca turbidez. ....	49
Tabela 7- Análise de Variância e Shapiro Wilk Test agrupando pelos Pontos: Cálcio..	50
Tabela 8- ANOVA estações de chuva e seca cálcio.....	51
Tabela 9- Análise de Variância e Shapiro Wilk Test agrupando pelos Pontos: Condutividade elétrica .....	52
Tabela 10- ANOVA estações de chuva e seca condutividade elétrica. ....	54
Tabela 11- Análise de Variância e Shapiro Wilk Test agrupando pelos Pontos: Cromo total .....	54
Tabela 12- ANOVA estações de chuva e seca cromo total. ....	55
Tabela 13- Análise de Variância e Shapiro Wilk Test agrupando pelos Pontos: Ferro dissolvido.....	56
Tabela 14- ANOVA estações de chuva e seca ferro dissolvido. ....	57
Tabela 15- Análise de Variância e Shapiro Wilk Test agrupando pelos Pontos: Magnésio.....	58
Tabela 16- ANOVA estações de chuva e seca magnésio. ....	59
Tabela 17- Análise de Variância e Shapiro Wilk Test agrupando pelos Pontos: Manganês .....	60
Tabela 18- ANOVA estações de chuva e seca manganês .....	61
Tabela 19- Análise de Variância e Shapiro Wilk Test agrupando pelos Pontos: Nitrogênio Amoniacal.....	62
Tabela 20- ANOVA estações de chuva e seca nitrogênio amoniacal.....	63
Tabela 21- Análise de Variância e Shapiro Wilk Test agrupando pelos Pontos: pH ..	64
Tabela 22- ANOVA estações de chuva e seca pH.....	65
Tabela 23- Comparação entre grupos sem aplicação e com aplicação de lodo de vinhaça. .....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Mapa Classificação do solo Município Costa Rica MS.....	29
Figura 2- Pontos de monitoramento em relação à classificação de solos.....	31
Figura 3- Mapa Ponto de Monitoramento e local de aplicação lodo.....	32
Figura 4- Fluxograma de limpeza e incorporação do lodo de tanques de vinhaça ao solo .....	34
Figura 5- Coleta de amostra de lodo no Reservatório de Vinhaça.....	34
Figura 6- Amostras coletadas e embaladas para envio para laboratório credenciado ....	34
Figura 7- Local de recebimento do lodo.....	35
Figura 8- Retirada do lodo com uso de escavadeira e caminhão caçamba.....	35
Figura 9- Solo com lodo após sua incorporação.....	36
Figura 10-Boxplot para turbidez entre os pontos.....	49
Figura 11- Boxplot para o cálcio entre os pontos.....	51
Figura 12- Boxplot para condutividade elétrica entre os pontos.....	52
Figura 13-Boxplot para o cromo total entre os pontos.....	55
Figura 14-Boxplot para o ferro dissolvido entre os pontos.....	57
Figura 15-Boxplot para o magnésio entre os pontos.....	59
Figura 16- Boxplot estações de chuva e seca manganês.....	61
Figura 17- Boxplot estações de chuva e seca nitrogênio amoniacal.....	63
Figura 18- Boxplot estações de chuva e seca pH.....	65

**ÍNDICE DE APÊNDICES**

Apêndice

74

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo/sigla	Significado	Unidade de medida
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	
FAPEG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás	
ATVOS	Empresa de bioenergia	
Proálcool	Programa nacional de produção e uso de álcool como combustível	
SAF	Combustível Sustentável de Aviação	
MME	Ministério de Minas e Energia	
CBIOS	Créditos de descarbonização	
Conab	Companhia Nacional de Abastecimento	
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes	
ETA	Estação de tratamento de água	
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente	
SEMADESC	Secretaria de Meio Ambiente, Desenvolvimento, Ciência, Tecnologia e Inovação	
APP	Áreas de Preservação Permanente	
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária	
RD's	Reservatórios de Distribuição	
PEAD	Polietileno de Alta Densidade	
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	
MS	Mato Grosso do Sul	
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	
IQA	Índice de Qualidade das Águas	
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	
Cwa	Clima tropical de altitude	
VMPs	Valores Máximos Permitidos	
RL	Reserva legal	

---

Min	Mínimo	
Máx	Máximo	
ANOVA	Análise de Variância	
PAV	Plano de Aplicação de Vinhaça	
CV	Coeficiente de Variação	
SD	Desvio Padrão	
°C	Graus Célsius	
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez	
Km <sup>2</sup>	Quilômetros quadrados	
mg/l	Miligrama por litro	
mg/Kg	Miligrama por quilograma	
μS/cm	Microsiemens por centímetro	
p/p	peso por peso	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Íon amônio	
V%	Porcentagem	
SB	Soma de bases	
pH	Potencial Hidrogeniônico	
CTC	Capacidade de Troca Catiônica	mmolc dm <sup>-3</sup>
CE	Condutividade elétrica	μS/cm
Mg	Magnésio	mg/Kg
DQO	Demanda Química de Oxigênio	mgO <sub>2</sub> /l
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/l
P	Fosforo	mg/Kg
N	Nitrogênio	mg/Kg
MO	Matéria Orgânica	g/dm <sup>3</sup>
Ca	Cálcio	mg/Kg

---



## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol no mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. No cultivo de cana-de-açúcar, o país lidera globalmente, ocupando a primeira posição tanto em área plantada — estimada em 8.127,7 mil hectares na safra 2022/2023 — quanto na produção de açúcar, com previsão de 33.893,3 mil toneladas. O uso de técnicas avançadas de manejo, aliado a tecnologias modernas e conhecimentos especializados, tem possibilitado a otimização da produção, gerando resultados cada vez melhores (CONAB, 2022).

Nos processos industriais voltados à produção de etanol, energia e açúcar, são gerados diversos subprodutos que exigem manejo adequado para evitar impactos negativos ao meio ambiente e às comunidades vizinhas. Entre os principais subprodutos, estão a vinhaça e, conseqüentemente, o lodo. O lodo é formado nos tanques em função da forma como as usinas operam a distribuição da vinhaça no campo. Como estes tanques têm que ficar cheios durante a safra e a entressafra, o lodo vai decantando no fundo dos tanques, formando uma camada de sedimentos compostos por vinhaça, matéria orgânica, areia, bagaço e outros sedimentos, fazendo com que estes tanques percam sua capacidade de armazenamento, exigindo que, de tempos em tempos, tenham que ser limpos. A disposição deste lodo no solo pode trazer sérios problemas ambientais como a contaminação do solo e dos recursos hídricos, tanto águas subterrâneas como superficiais.

Recentemente, a gestão ambiental desses resíduos no setor sucroenergético tem recebido atenção crescente, especialmente no que diz respeito ao uso dos resíduos gerados. Esse subproduto apresenta grande potencial para melhorar a fertilidade do solo por meio da sua aplicação no solo. Entretanto, quando aplicado em excesso, pode exceder a capacidade de retenção do solo, alterando suas propriedades, causando lixiviação, com impactos relativos à qualidade das águas. Dessa forma, é fundamental encontrar alternativas que promovam o desenvolvimento sustentável desse setor, considerando seu impacto significativo na economia, na sociedade e no meio ambiente. No presente trabalho, objetivou-se verificar o índice de qualidade das águas superficiais dos recursos hídricos próximos às áreas de aplicação deste lodo, identificando se sua

disposição em solo agrícola para produção de cana-de-açúcar interfere na qualidade destes mananciais.

### **1.1 Justificativa**

A limpeza de tanques e bacias de vinhaça é feita por muitas usinas sucroalcooleiras no Brasil, sendo o lodo descartado em áreas nas proximidades das indústrias, áreas estas conhecidas por muitas usinas como áreas de sacrifício. Este descarte faz com que haja áreas saturadas, causando problemas ambientais para as indústrias e também para as comunidades onde as usinas estão instaladas, incluindo proliferação de vetores e odores nas proximidades das cidades e indústrias, podendo gerar contaminação nos cursos hídricos próximos às áreas de descarte.

O lodo, objeto deste estudo, é um subproduto da indústria sucroenergética com altas concentrações de nutrientes como nitrogênio, potássio, fósforo e matéria orgânica. Por se tratar de um material rico em nutrientes, ele pode ser usado como adubo orgânico no preparo do solo para o plantio da cana-de-açúcar e de outras culturas, criando oportunidades de transformar um resíduo comum nas indústrias sucroenergéticas em adubo orgânico, contribuindo no cultivo e na melhoria da produtividade dos canaviais.

Dessa maneira, aplicando a logística reversa no lodo das bacias de vinhaça, ele pode contribuir com nutrientes e minerais de modo a minimizar o impacto da extração não sustentável de nutrientes e minerais da natureza. No entanto, a aplicação do lodo de maneira indiscriminada tem potencial de alterar as propriedades do solo com o desbalanceamento nutricional disponível para as plantas, além da possibilidade de contaminação dos recursos hídricos por meio do seu escoamento e lixiviação.

Tendo em vista o exposto acima, este trabalho visa a avaliar a qualidade das águas superficiais nas regiões próximas onde foram feitas aplicações de lodo da limpeza das bacias de vinhaça, buscando identificar alterações positivas e/ou negativas desta aplicação, em especial, seu impacto ou não nos recursos hídricos da região. Em razão de o tema crise hídrica estar em evidência, torna-se essencial avaliar as alterações

causadas no ambiente provenientes das atividades agroindustriais e, com isso, fomentar o desenvolvimento do setor sucroenergético de modo a adotar medidas sustentáveis.

## **1.2 Revisão da literatura**

### ***1.2.1 Setor sucroalcooleiro***

O setor sucroalcooleiro vem levantando nos últimos anos a bandeira da sustentabilidade e da transição energética, colocando o Brasil como protagonista, buscando uma matriz mais sustentável. Para seguir neste caminho, há necessidade de, em toda a sua cadeia, buscar operações mais limpas e com a mínima geração de resíduos, buscando o reaproveitamento e a transformação de seus subprodutos e ou resíduos, mas garantindo que estes subprodutos não se transformem em problemas futuros, contaminando rios e ou lençóis freáticos, prejudicando as comunidades onde estas empresas estão inseridas (MARAFFON *et al.*, 2023).

No que se refere 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 da inserção dos carros flex em 2003 (VIEIRA FILHO *et al.*, 2019). Além de ser um combustível de fontes renováveis que vem com uma pegada de descarbonização muito forte no mercado de energias renováveis (CARNEIRO NETO *et al.*, 2015) e com uma gama de produtos e subprodutos como Bagaço; Torta de Filtro, Melaço (ou mel final), Óleo Fúsel, Álcool Bruto, Levedura Seca, SAF: (Combustível Sustentável de Aviação). CBIOS é um Crédito de Descarbonização ou Crédito de Carbono criado pelo programa governamental RenovaBio, lançado há mais de cinco anos pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e Biogás. O setor é uma fonte de energia limpa e renovável com estes e muitos outros produtos que vêm sendo estudados e desenvolvidos na cadeia de produção da cana-de-açúcar (CRUZ *et al.*, 2024).

A indústria sucroalcooleira brasileira atualmente está em novo ciclo de expansão, com o desenvolvimento de mais produtos e tecnologias e expectativa de crescimento na produção de açúcar, geração de energia e de etanol de primeira geração,

bem como a produção de etanol de segunda geração. A produção de cana-de-açúcar na safra 2023/24 deverá crescer 4,4% em relação a 2022/23, sendo estimada em 637,1 milhões de toneladas, sendo influenciada tanto pelo melhor rendimento das lavouras como também pela maior área destinada ao cultivo da cultura, como mostra o 1º Levantamento de Cana-de-Açúcar divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). É esperado que sejam destinados 8,4 milhões de hectares de cana para a colheita, com um rendimento médio de 75.751 quilos por hectare (CONAB, 2024).

Visto que as indústrias sucroenergéticas estão em expansão, surge a necessidade de desenvolver estudos em relação à fertilidade dos solos expostos à aplicação de vinhaça por longo período, como uma forma de avaliar os possíveis impactos dessa atividade e, assim, gerar informações importantes e mais específicas para buscar uma melhor disposição deste subproduto, visto que a vinhaça tem um alto potencial de fertilidade e seu bom emprego pode reduzir o custo com fertilizantes químicos nas empresas, e a distribuição do lodo da vinhaça nas áreas de preparo de solo pode contribuir ambientalmente, além de melhorar sua produtividade; mas para que isto aconteça, precisamos garantir que esta operação não contamine ou prejudique a qualidade das águas (GOMES *et al.*, 2018).

De acordo com Có (2007), a agroindústria sucroalcooleira, da mesma forma, gera resíduos provenientes do processamento industrial da cana-de-açúcar em quantidades que se correlacionam diretamente com seu crescimento. Destacam-se, entre as frações geradas, a água de lavagem da cana em algumas usinas, as cinzas de caldeira, a torta de filtro, a vinhaça e o lodo de tanques de vinhaça, que, apesar de terem elevados potenciais poluidores, eles não se manifestam em decorrência de serem previamente tratados (água de lavagem de cana), para sua posterior utilização como fertilizantes ou condicionadores de solos, sendo normalmente utilizados na própria cultura da cana. Essa reutilização é de grande interesse, pois, além de lhes dar destino, torna-os úteis na medida em que, ao se decomporem no solo, interferem positivamente em seus atributos, especialmente nos relacionados ao fornecimento de nutrientes e matérias orgânicas para plantas, transformando este subproduto em um produto nobre, mas, se não utilizado da forma correta, ele pode acarretar poluição dos recursos hídricos.

A vinhaça tem um alto potencial, tanto poluidor se mal aplicada, quanto benéfico se bem utilizada, podendo ser notada a relevância em avaliar as alterações causadas no ambiente proveniente da aplicação desse subproduto no solo, 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 dessa atividade. Na mesma linha, espera-se, de forma sustentável e ambientalmente correta, garantir que o uso deste lodo não crie ou cause impacto nos cursos hídricos nas proximidades da usina ou em áreas de cultivo de cana-de-açúcar (BONASSA *et al.*, 2015).

Garantir a boa qualidade das águas superficiais é fundamental e importante para a saúde humana e a do meio ambiente. O uso racional da terra determina o calor das águas superficiais e o equilíbrio ecológico do sistema, que podem causar mudanças climáticas, afetando a qualidade da água. Existem muitos fatores que afetam a degradação da qualidade dos recursos hídricos e este processo de influência é complexo. Na medida em que rios, lagos e outros corpos d'água são usados como transportadores ambientais, avaliar a qualidade dos recursos hídricos e quantificar como ocorrem os impactos entre os tipos de uso da terra e a qualidade das águas superficiais é extremamente importante (CHENG *et al.*, 2022).

A relação entre a qualidade da água e o uso da terra é fator muito importante para os órgãos fiscalizadores e de planejamento ambiental e urbano de municípios, estados e federação. Pois um curso hídrico poluído pode ser um problema grave para o meio ambiente e a sustentabilidade de uma região e para os negócios desta região, do mesmo modo para os meios e para a comunidade que usa dessas águas através da indústria, lazer, pesca ou mesmo navegação. Portanto, saber qual a origem e o nível de contaminação ou qualidade existentes nele e, acima de tudo, como corrigir e tratar o problema, passa a ser tarefa necessária para que as operações dos empreendimento e dos negócios continuem a coexistir com o meio e a comunidade (GEMINIANO *et al.*; 2021).

Alguns estudos desenvolvidos apontaram que a aplicação de vinhaça tem auxiliado na melhora dos parâmetros de fertilidade do solo e em sua produtividade. Trabalhos como os de Pereira (2015) e Nascimento *et al.* (2004) avaliaram os efeitos da adubação com lodo de esgoto em mistura com a vinhaça, fazendo uma aplicação semelhante à que ocorre com a aplicação da vinhaça, analisando os efeitos da contaminação de águas superficiais quando da aplicação de lodo de ETE em áreas agricultáveis.

A pesquisa de Barros *et al.* (2010) avaliou o efeito da aplicação de vinhaça nas propriedades químicas de um solo Argissolo Vermelho-Amarelo, cultivado com lavouras de cana-de-açúcar. As análises químicas deste solo mostraram maiores

quantidades da Matéria Orgânica (MO), contribuindo para a infiltração de água no solo, de Ca e Mg, Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Saturação por bases (V%), Soma de bases (SB) e de macro e micronutrientes em área, que tiveram dosagens de vinhaça, tendo ocorrido aumento de fertilidade em razão da aplicação desse subproduto.

Os efluentes são uma fonte de nutrientes e matéria orgânica para as plantas, mas podem contaminar o ambiente com produtos químicos e patógenos, o que pode levar à poluição ambiental, além de contribuir para a proliferação de vetores. Um dos métodos é analisar o solo e o ambiente antes e depois da aplicação para garantir que não haverá contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas ou até mesmo outros problemas socioambientais durante a aplicação e uso do lodo de vinhaça. Faz-se necessário acompanhar e analisar a qualidade das águas dos mananciais e cursos de água nas proximidades das áreas de aplicação do lodo (RIGO *et al.*, 2014).

O potássio, um macronutriente essencial para os organismos, é fundamental para o bom aproveitamento dos outros nutrientes e essencial para o cultivo da cana-de-açúcar, aumentando também a resistência das plantas contra pragas e doenças. O nível de potássio disponível no solo é frequentemente inferior ao que é necessário para a produção de uma boa colheita, especialmente em solos pobres de matéria orgânica (ZAMBERLAM & FRONCHETI, 2001). Na cultura da cana-de-açúcar, o excesso de potássio no solo é raro. No lodo, objeto deste estudo, o potássio é um nutriente que se destaca.

Fazendo uma comparação com parâmetros lodo de ETE–Estações de Tratamento de Esgoto domiciliar e seu uso e impacto quando aplicado no solo podendo contaminar ou não os recursos hídricos que, em nosso caso especial, são as águas superficiais (rios da região), alguns estudos desenvolvidos apontaram que a aplicação de vinhaça tem auxiliado na melhora dos parâmetros de fertilidade do solo e em sua produtividade. Trabalhos como os de Pereira (2015) e Nascimento *et al.* (2004) avaliaram os efeitos da adubação com lodo de esgoto em mistura com vinhaça, fazendo uma aplicação semelhante à que ocorre com a aplicação da vinhaça sozinha, analisando os efeitos da contaminação de águas superficiais quando da aplicação de lodo de ETE em áreas agricultáveis.

De acordo com Marques (1990), o lodo de esgoto pode ser definido como material sólido, constituído, basicamente, de matéria orgânica, elementos nutrientes de plantas e metais pesados, além de microrganismos patogênicos ou não, obtido em

Estações de Tratamento de Esgotos (ETES), porém para o lodo de decantação de tanques de vinhaça, objeto do estudo, ainda não há uma definição científica estabelecida, mas já se sabe que ele tem em sua composição nutrientes como potássio, matéria orgânica e outros nutrientes.

CAMILOTTI *et al.* (2007) estudaram o acúmulo de metais pesados na cultura da cana-de-açúcar, utilizando uma mistura de lodo de esgoto mais vinhaça, e identificaram em seu experimento que, após 03 aplicações anuais sucessivas, os teores metais pesados disponíveis no solo e na planta foram baixos em comparação com o máximo permitido.

Como não há uma legislação específica também para a disposição de lodo de ETA (Estação de Tratamento de Água) no solo, BITENCOURT *et al.* (2021) utilizaram como embasamento a resolução Nº 498/2002 do CONAMA, a qual estabelece parâmetros para o descarte de lodo de estações de tratamento de esgoto e seus possíveis produtos derivados, entendendo que a legislação vai considerar para aplicação de biossólidos em solos, os parâmetros redução de atratividades de vetores, substâncias químicas e qualidade microbiológica como potencial agrônomico (BITENCOURT *et al.*, 2021).

### ***1.2.2 Lodo de tanques de vinhaça: características e impactos ambientais***

Para que esse processo aconteça e a vinhaça seja distribuída para o campo, ela é bombeada para bacias e/ou tanques e destes tanques na indústria ela é distribuída para o campo através de tubulações e/ou canais. No campo, algumas empresas têm os tanques de armazenamento chamados de RDs – Reservatórios de Distribuição. A vinhaça chega aos tanques de armazenamento e é distribuída para reservatórios na área agrícola, para fertirrigação através de tubulações, motobombas e aspersores do tipo carretel. Estes tanques, mesmo em períodos em que não estão recebendo vinhaça, como, por exemplo, na entressafra, devem ficar com uma lâmina de vinhaça/ água residuária para preservação da manta/membrana de Polietileno de Alta Densidade PEAD, usada para proteção dos tanques. Em usinas de produção de álcool, as membranas são utilizadas em canais e tanques de armazenamento da vinhaça (LODI, 2013).

Devido à forma de operação, matéria-prima e método de extração, no fundo destes tanques e reservatórios origina-se uma camada de sedimentos, compostos por

vinhaça, matéria orgânica, areia e outros; e devido a este processo, muitas usinas têm que, de tempos em tempos, proceder à limpeza destes tanques. Esta limpeza pode trazer sérios problemas ambientais e sociais para as empresas, se não for feita e os resíduos tratados de uma forma segura ambientalmente. Se for jogada no solo de qualquer maneira, sem um manejo adequado, ocorre a criação das temidas e irregulares áreas de “sacrifício” o que é proibido por lei, podendo contaminar cursos de água e até o lençol freático (CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2021).

Porém, ao analisar este lodo de fundo dos tanques, identificou-se que ele tem uma grande concentração de macro e micronutrientes e outros minerais, que, se manejados de forma correta, respeitando as características do solo, pode deixar de ser um resíduo e ser uma fonte rica de nutrientes para o solo, deixando de ser uma fonte poluidora para as águas superficiais.

O lodo do tanque de vinhaça se não manejado corretamente, da mesma forma que a vinhaça e em atendimento às legislações ambientais, pode se tornar um resíduo com alto potencial poluidor e um risco para a natureza em razão do seu potencial de contaminação do solo e dos recursos hídricos. Se comparada com o esgoto doméstico, a vinhaça, assim como o lodo, tem uma capacidade de poluição cem vezes maior. Se aplicada de maneira inadequada, ela é capaz de causar desoxigenação nos rios por ter uma DBO altíssima (FIALHO *et al.*, 2019). Por ser uma decantação da vinhaça, o lodo tem um potencial de poluição igual ou maior que a vinhaça.

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

Para podermos usar o lodo dos tanques de vinhaça e o tratamento alcançar plenamente seus objetivos, além de sua correta operação em termos de eficiência de remoção de poluentes e de carga orgânica, é fundamental que o lodo gerado seja corretamente disposto no solo. Uma alternativa de manejo do lodo é a aplicação e distribuição homogênea no solo. O lodo é rico em nutrientes e tem alto teor de matéria orgânica, por isso sua aplicação como composto pode melhorar a qualidade física e química do solo (PEREIRA *et al.*, 2017).

Em alguns países, a aplicação e distribuição de lodo no solo tem sido feita há mais de duas décadas em escala operacional, com grande parte do lodo gerado sendo destinado a plantações florestais, enquanto essa prática é mais recente no Brasil.

Diversos estudos na literatura avaliaram, em condições específicas e variadas, os impactos ambientais, tanto positivos quanto negativos, decorrentes da disposição do lodo no solo. Os benefícios ambientais da disposição de resíduos no solo estão associados ao aumento da produtividade das culturas (MORSELLI *et al.*, 2022).

A ausência de legislações específicas para a disposição de lodo de ETA no solo exige a fundamentação na Resolução nº 498/2020 do CONAMA, que estabelece parâmetros para o descarte, a capacidade máxima de aplicação, os limites máximos de concentrações de substâncias inorgânicas e patógenos para os resíduos provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto e seus derivados, classificados como não perigosos, em solos para uso agrícola. A legislação considera, para a aplicação de biossólidos no solo, o potencial agronômico, a redução da atração de vetores, substâncias químicas e a qualidade microbiológica (MORSELLI *et al.*, 2022).

### ***1.2.3 Legislação ambiental***

As regulamentações estaduais sobre o uso da vinhaça não definem critérios ou padrões para uso do lodo de vinhaça em solo agrícola, porém as normas técnicas dos estados fazem menção à limpeza de tanques e bacias de vinhaça. Um dos estados a estabelecer uma legislação específica para uso e aplicação de vinhaça foi o estado de São Paulo, com a criação a Norma Técnica P4.231 - Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. Esta norma estabelece critérios para o uso da vinhaça, porém ela cita no seu ITEM 5.6 que, ao término de cada safra, deverá ser promovida uma limpeza dos tanques, e os canais mestres deverão ser impermeabilizados. Esta norma também proíbe a prática de uso de áreas de sacrifício, no ITEM 5.4 - É proibida a prática de armazenamento e/ou disposição de vinhaça em áreas de sacrifício, estando qualquer aplicação de vinhaça no solo agrícola sujeita à observância da Norma Técnica P4.231

O presente estudo também aborda a Resolução Nº 498, de 19 de agosto de 2020, que, embora não mencione o tipo específico de lodo abordado neste trabalho, trata dos critérios para produção e aplicação de biossólidos de estações de tratamento de esgoto domésticos em solos agrícolas, fornecendo definições e orientações sobre a aplicação controlada deste resíduo.

A crescente preocupação com a destinação responsável de subprodutos industriais na agricultura tem motivado a elaboração de normativas específicas em diversos estados brasileiros. Este trabalho foca nas regulamentações de São Paulo e Mato Grosso do Sul, com ênfase na Norma Técnica P4.231 e na Resolução SEMADESC N.001.

A Norma Técnica P4.231, elaborada em 2015, destaca-se por estabelecer critérios para a aplicação da vinhaça no solo agrícola. Contudo, nota-se necessidade de diretrizes mais específicas para a limpeza de tanques, a fim de assegurar uma destinação adequada deste resíduo. A norma proíbe expressamente o armazenamento ou disposição de vinhaça em áreas de sacrifício, reforçando a importância da observância desses princípios.

A Resolução SEMADESC N.001, de 2023, estabelece que a limpeza de tanques já impermeabilizados pode ser feita ao término de cada safra, independentemente de autorização ou licença ambiental. Esta norma permite ainda a execução da limpeza em situações de caso fortuito ou de força maior, devidamente documentadas, devendo ter um padrão e procedimento para tal limpeza, de modo a se ter um manejo adequado deste resíduo.

A Resolução Nº 498, de agosto de 2020, destaca-se por tratar dos critérios para produção e aplicação de biossólidos em solos. Apesar de não especificar o tipo de lodo em questão, oferece definições importantes, como a aplicação controlada visando ao aproveitamento de suas propriedades como condicionador de solo e fornecedor de nutrientes aos vegetais. Este enfoque coincide com a utilização de lodo de tanque de vinhaça, conhecido por sua riqueza em potássio, nitrogênio e outros nutrientes.

As normativas analisadas indicam avanços significativos na regulamentação da destinação de vinhaça e lodo de tanque na agricultura. Entretanto, sugerem-se uma revisão e um aprimoramento constante dessas normas para contemplar critérios específicos para a limpeza de tanques, assegurando práticas agrícolas sustentáveis e responsáveis, podendo ser criados uma nota técnica ou um informativo com práticas para disposição e uso deste material de limpeza de tanques de vinhaça no meio ambiente, de forma a não ter riscos para os recursos hídricos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Verificar se a aplicação no solo do lodo proveniente da limpeza dos tanques de vinhaça ocasiona alterações na qualidade de águas superficiais próximas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Analisar a composição química do lodo proveniente da limpeza de tanques de vinhaça;

Verificar se a aplicação no solo do lodo da limpeza dos tanques de vinhaça provoca alterações nos parâmetros físicos e químicos das águas superficiais próximas às áreas de aplicação, considerando a influência da sazonalidade;

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, Rubens Pessoa et al. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, p. 341-346, 2010.

BITENCOURT, G. D. A., et al. Lodo gerado em Estação de Tratamento de Água: Avaliação preliminar da toxicidade em plantas de milho. **Scientia Plena**, v. 16, n. 12, 18 jan. 2021.

BONASSA, G., et al. Subprodutos Gerados na Produção de Bioetanol: Bagaço, Torta de Filtro, água de Lavagem e Palhagem. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 3, 25 nov. 2015.

CAMILOTTI, F., et al. Acúmulo de metais pesados em cana-de-açúcar mediante a aplicação de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 284-293, abr. 2007.

CARNEIRO NETO, José Aprígio et al. Estudo prospectivo do etanol produzido a partir da cana-de-açúcar. **Anais do VII SIMPROD**, 2015

CETESB. Norma Técnica P4.231 - Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo, 2015.

CHENG, C., et al. What is the relationship between land use and surface water quality? A review and prospects from remote sensing perspective. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 38, p. 56887-56907, 1 ago. 2022.

CÓ, Caramo Júnior. **Fertilização com lodo de esgoto e vinhaça e influência nas frações de nitrogênio do caldo e qualidade da cana-de-açúcar**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônômica) - Universidade de Jaboticabal, Jaboticabal, São Paulo, Brasil, 2007.

CONAB. Produção de cana-de-açúcar deve crescer 4,4% na safra 2023/24, estimada em 637,1 milhões de toneladas. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas->

noticias/4982-producao-de-cana-de-acucar-deve-crescer-4-4-na-safra-2023-24-estimada-em-637-1-milhoes-de-toneladas. Acesso em: 24 jan. 2024.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução N° 498, de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 161, p. 265-269, 21 ago. 2020. Seção 1.

CHRISTOFOLETTI, Cintya Aparecida et al. O emprego de diferentes resíduos utilizados como fertilizantes na cultura de cana-de-açúcar. **Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica**, p. 63.

CRUZ, Mauro César Cardoso et al. Transição energética sustentável: uma aplicação do RenovaBio. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 22, n. 7, p. e5604-e5604, 2024.

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

GEMINIANO, M. M.; SOARES, A.; PINTO, A. L. Influência do uso da terra nos parâmetros da qualidade das águas superficiais do monumento das lagoas urbanas da cidade de Três Lagoas/MS no inverno de 2019. **Geosul**, v. 36, n. 78, p. 558-581, 8 abr. 2021.

GOMES, A. C. C. de O., et al. Análise de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de poços de monitoramento em área aplicada com vinhaça. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p. 237-247, 29 jun. 2018.

LODI, P. Degradação polimérica de membrana impermeabilizante de polietileno de alta densidade usada em tanques de armazenamento de vinhaça. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, 1 jan. 2013.

MARAFON, R.; JUNIOR, R. M.; VASCONCELOS, P. E. A. O hidrogênio verde como alternativa para a transição energética e a importância do Brasil neste cenário. **Revista Direito das Políticas Públicas**, v. 5, n. 1, 2023.

MARIANO, A. P., 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**, v. 52, n. 4, p. 1043-1055, ago. 2009.

MARQUES, M. O. **Efeitos da aplicação do lodo de esgoto na produtividade e qualidade da cana-de-açúcar**. 1990. 164 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

MATOGROSSO DO SUL. Resolução **SEMADESC n. 001 de 02 de janeiro de 2023** - Critérios e procedimentos para armazenamento, a distribuição e a aplicação no solo agrícola, da vinhaça in natura e de águas residuais geradas a partir do processamento da cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso do Sul. 2023.

MORSELLI, Luiza Beatriz Gamboa Araújo et al. Lodo de estação de tratamento de água: possibilidade de aplicação no solo. **Scientia Plena**, v. 18, n. 5, 2022.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

PEREIRA, A. C. A. **Efeitos da Disposição de Lodo de ETE de Indústria Alimentícia no solo: Estudo de caso**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2015. 75 p.

PEREIRA, A. C. A.; GARCIA, M. L. Disposição de lodo de ETE de indústria alimentícia no solo: efeitos na água subterrânea. **Geosciences = Geociências**, v. 36, n. 2, p. 275-283, 18 out. 2017.

RIGO, M. et al. Destinação e reúso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil. *Gaia Scientia*, v. 8, p. 174, 15 out. 2014.

SANTOS, H. F. DOS. Fatores de expansão do setor sucroenergético no Brasil no início do século XXI. *Geografares*, n. 36, 10 jul. 2023

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

ZAMBERLAM, Jurandir; FRONCHETI, Alceu. Agricultura ecológica. Editora Vozes, 2001.

## **4 CAPÍTULO I- ARTIGO 1**

### **IMPACTO DO USO DE LODO DE VINHAÇA EM SOLO AGRÍCOLA EM ÁGUAS SUPERFICIAIS**

## RESUMO

O Brasil tem se destacado como um dos países chave na transição energética global, desempenhando papel crucial na preservação dos recursos hídricos e na qualidade das águas em seu território. O país é também um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo, uma matéria-prima vital para a produção de etanol, biomassa, energia, açúcar e outros produtos. O setor sucroenergético, além de produzir produtos sustentáveis, gera subprodutos e resíduos que, se não forem corretamente utilizados ou manejados, podem causar impactos ambientais e sociais. Este estudo tem como objetivo analisar a destinação ambientalmente adequada do lodo das limpezas de tanques de vinhaça e seus possíveis impactos nos cursos hídricos na região onde esse lodo é distribuído. Na execução do trabalho, foram avaliados 34 parâmetros, entre físicos, microbiológicos e químicos, obtidos ao longo de quatro anos de monitoramento em oito pontos de coleta de água superficial. Para a análise dos dados, foram utilizadas técnicas estatísticas para comparação, classificação e agrupamento por similaridade e revisão da literatura de outros estudos já realizados sobre o tema. Assim, este estudo buscou avaliar se as aplicações do lodo de tanque de vinhaça no solo, através de sua incorporação a longo prazo, são capazes de causar efeitos cumulativos nos parâmetros que avaliam a qualidade das águas superficiais de córregos e rios próximos às áreas que recebem a aplicação desse subproduto. O estudo mostrou que o emprego do lodo de vinhaça no solo como fonte de nutrientes não alterou as propriedades físico-químicas das águas superficiais do local.

**Palavras-chave:** Transição energética; Preservação hídrica; Setor sucroenergético; Impactos ambientais; Qualidade da água; Lodo de vinhaça

## ABSTRACT

Brazil has stood out as one of the key countries in the global energy transition, playing a crucial role in preserving water resources and water quality in its territory. The country is also one of the largest producers of sugar cane in the world, a vital raw material for the production of ethanol, biomass, energy, sugar and other products. The sugar-energy sector, in addition to producing sustainable products, generates by-products and waste that, if not correctly used or managed, can cause environmental and social impacts. This study aims to analyze the environmentally appropriate disposal of sludge from cleaning vinasse tanks and its possible impacts on water courses in the region where this sludge is distributed. To carry out the work, 34 parameters were evaluated, including physical, microbiological and chemical. , obtained over four years of monitoring at eight surface water collection points. For data analysis, statistical techniques were used for comparison, classification and grouping by similarity and literature review of other studies already carried out on the topic. Thus, this study sought to evaluate whether the applications of vinasse tank sludge to the soil, through its long-term incorporation, are capable of causing cumulative effects on the parameters that evaluate the quality of surface waters in streams and rivers close to the areas that receive the application of this byproduct.

**Keywords:** Energy transition; Water preservation; Sugar-energy sector; Environmental impacts; Water quality; Vinasse sludge

#### 4.1 Introdução

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores mundiais de açúcar e biocombustíveis. A cana-de-açúcar é uma das culturas mais utilizadas pelas indústrias sucroenergéticas. Durante os processos industriais para fabricação do etanol e do açúcar, as indústrias geram vários subprodutos que precisam ser bem gerenciados para que não venham causar impactos negativos no meio ambiente e na sociedade circunvizinha (CARDOSO, 2021)

Entre os subprodutos gerados, destaca-se a vinhaça, um subproduto de natureza ácida, rico em potássio, proveniente do processo fermentativo da cana-de-açúcar na produção do etanol (LIMA, 2016). As indústrias sucroenergéticas geram em torno de 9 a 14 litros do subproduto para cada litro de etanol produzido (SILVA, 2017). Esse resíduo é rico em matéria orgânica, potássio, fósforo, nitrogênio e micronutrientes, sendo frequentemente utilizado na agricultura como fertilizante, no entanto, a vinhaça é caracterizada como efluente com alto poder poluente ao mesmo tempo em que tem um alto valor como fertilizante para aplicação em solos agrícolas. A vinhaça é considerada altamente nociva à fauna, flora, microfauna, microflora e à qualidade dos recursos hídricos se não for bem gerenciada (FREIRE & CORTEZ, 2000).

Glória & Orlando Filho (1983) enumeraram os benefícios advindos da fertirrigação gerenciada de forma ambientalmente correta e os seguintes efeitos da vinhaça no solo: elevação do pH, aumento da disponibilidade de alguns íons, aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), aumento da capacidade de retenção de água e melhoria da estrutura física do solo. A vinhaça deve ser vista também como agente do aumento da população e atividade microbiana no solo. O pH dos solos tratados com

vinhaça geralmente sofre um aumento, principalmente em áreas cultivadas há mais tempo (ROSSETTO, 1987).

Para que esse processo aconteça e a vinhaça seja distribuída para o campo, ela é bombeada para bacias e/ou tanques e, destes tanques na indústria, distribuída para o campo através de tubulações e/ou canais. No campo, algumas empresas têm os tanques de armazenamento chamados de RDs – Reservatórios de Distribuição. A vinhaça chega aos tanques de armazenamento e é distribuída para reservatórios na área agrícola para fertirrigação através de tubulações, motobombas e aspersores do tipo carretel. Estes tanques, mesmo em períodos em que não estão recebendo vinhaça, como, por exemplo, na entressafra, devem ficar com uma lâmina de vinhaça/ água residuária para preservação da manta/membrana de Polietileno de Alta Densidade PEAD, que é usada para proteção dos tanques em usinas de produção de álcool. Essas membranas são utilizadas em canais e tanques de armazenamento da vinhaça (LODI, 2013).

Devido à forma de operação, matéria-prima e método de extração, no fundo destes tanques e reservatórios, origina-se uma camada de sedimentos, compostos por vinhaça, matéria orgânica, bagacilho de cana, areia e outros produtos, que formam o chamado lodo de vinhaça; que se refere aos sólidos em suspensão que se acumulam durante seu tratamento ou armazenamento. Esse lodo é resultado da sedimentação de partículas orgânicas e inorgânicas e dos restos de nutrientes presentes na vinhaça. Durante o armazenamento, esses sedimentos são depositados no fundo dos tanques de vinhaça, formando o lodo, que é posteriormente retirado e, muitas vezes, também aplicado em solos agrícolas. Devido a este processo, muitas usinas têm que, de tempos em tempos, proceder à limpeza destes tanques. Esta limpeza pode trazer sérios problemas ambientais e sociais para as empresas, se não for feita e os resíduos não forem tratados de forma segura ambientalmente. Se for aplicado no solo de qualquer maneira, sem um manejo adequado, ocorre a criação de pequenas e irregulares áreas de “sacrifício” que são proibidas por lei, podendo contaminar cursos de água e até o lençol freático/ recursos hídricos.

Assim, o uso da vinhaça e do seu lodo como fertilizantes, se não for bem gerido, pode trazer riscos ambientais significativos, especialmente para as águas superficiais. Alguns dos principais impactos incluem contaminação por nutrientes quando aplicados em excesso ou sem técnicas adequadas, o lodo de vinhaça pode ser transportado pelas chuvas até rios, lagos e riachos. Portanto, se manejados de forma correta, respeitando as características do solo, podem ser uma fonte rica de nutrientes

para o solo, uma vez que o potássio é um dos nutrientes mais exigidos pela cultura de cana-de-açúcar, deixando de ser um risco e um poluente para as águas superficiais, objeto deste estudo.

## **4.2 Material e métodos**

### ***4.2.1 Caracterização da área de estudo e pontos de monitoramento***

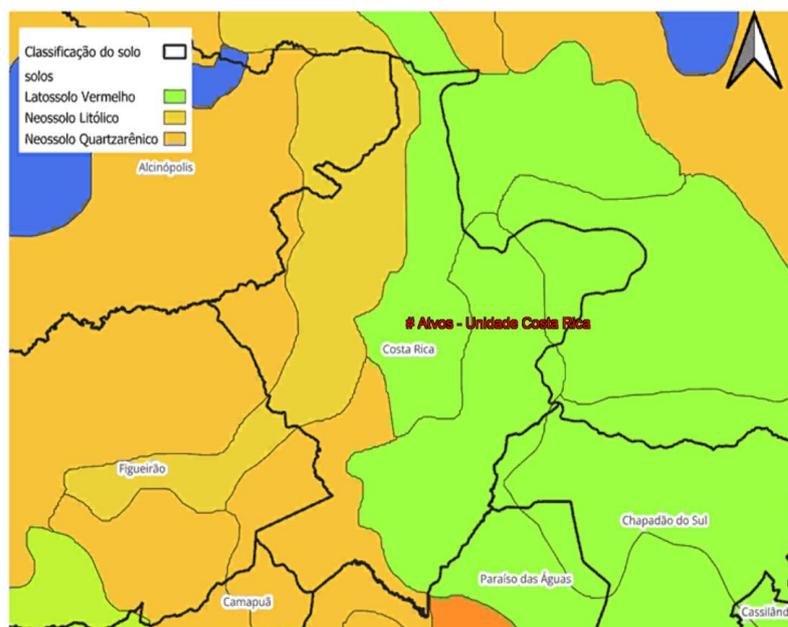
O presente estudo foi conduzido na região de Costa Rica, Mato Grosso do Sul. Segundo o IBGE (2022), o município tem uma população de 26.037 habitantes, área territorial de 4.159,384 km<sup>2</sup>, altitude de 641 metros em relação ao nível do mar. O clima é caracterizado como tropical de altitude (Cwa), com regime de chuvas entre os meses de setembro e maio e período seco de junho a setembro.

O município de Costa Rica MS está sob influência da Bacia do Rio da Prata. O município se constitui em divisor de águas entre as bacias dos Rios Paraguai (Rios Taquari e Jaurú) e do Paraná (Rio Sucuriú, nascentes do Aporé e Corrente de Goiás).

Em termos de recursos hídricos, o município de Costa Rica está localizado entre duas grandes bacias hidrográficas: a do Paraguai e a do Paraná. Essas bacias têm grande expressão e importância nacional pelo tamanho territorial ocupado, por representarem grande potencial turístico, importância para o setor energético, irrigação, navegação e saneamento ambiental.

O tipo de solo que compõe o município de Costa Rica MS é Neossolo litólico, latossolo vermelho e neossolo quartzarênico (AMBADATA, 2024).

**Figura 1-** Mapa Classificação do solo Município Costa Rica MS

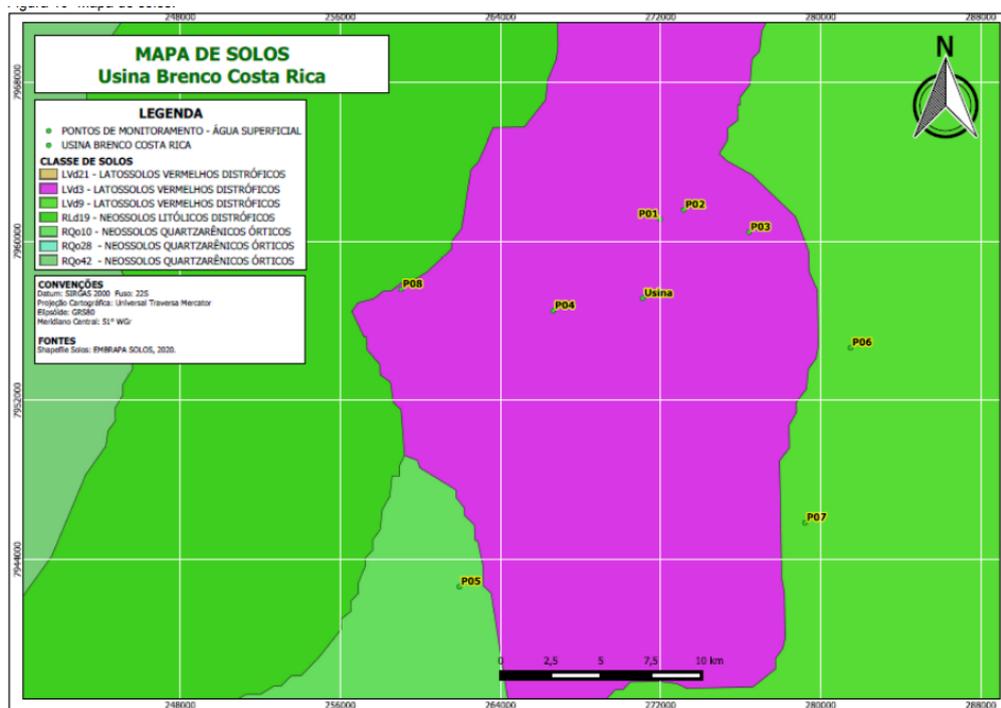


**Fonte : INPE (2024)**

A Figura 1 mostra o mapa de solo local, conforme classificação mais atualizada elaborada pela EMBRAPA. Predominam no município solos correspondentes a LVd3 e LVd9 (Latosolos Vermelhos Distróficos), bem como RQo10 (Neossolos Quartzarênicos Órticos). Os Latossolos em geral têm o domínio de caulinita e óxidos de ferro e alumínio principalmente nas frações de argila, conforme apontado por KER (1997).

Os pontos de monitoramento de qualidade de água superficial foram delimitados levando em consideração a área da bacia de aplicação de vinhaça da usina. E como objeto deste trabalho eles também foram utilizados considerando uma maior proximidade com as áreas onde foi aplicado o lodo, visto que caso haja alguma influência da aplicação na qualidade da água superficial, esses pontos estariam mais suscetíveis a apresentar alteração em seus parâmetros. Estes também são afluentes de uma mesma bacia hidrográfica, desaguando em algum momento no Rio Sucuriú, que é o principal rio da região. A Figura 2 mostra a distribuição dos pontos de monitoramento em relação à classificação de solos da região da usina.

Figura 2-Pontos de monitoramento e relação à classificação de solos



Fonte: Arater (2024)

O uso e a ocupação do solo são fatores determinantes na qualidade das águas superficiais, podendo alterar processos biológicos, físicos e químicos dos sistemas naturais. O monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais é elaborado visando à sua sustentabilidade, sendo, desta forma, conduzido um programa de monitoramento que inclui coletas frequentes nos mesmos pontos de amostragem e análises laboratoriais de diversos parâmetros, de modo a acompanhar, através de informações resumidas, a possível deterioração dos recursos hídricos na bacia hidrográfica ao longo do tempo (GLÓRIA *et al.*, 2017). A Tabela 1 apresenta os pontos de monitoramento, com a localização e suas coordenadas geográficas.

**Tabela 1-** Pontos de monitoramento e coordenadas geográficas

Pontos	Localização	Coordenadas Geográficas		Aplicação do lodo
		Latitude	Longitude	
01	Córrego Indaiá a montante da captação de água	18°25'40.69"S	53°09'32.05"O	SIM
02	Córrego Baús na captação de água	18°25'25.70"S	53°08'51.73"O	SIM
03	Córrego Baús a jusante da captação de água	18°26'63.63"S	53°07'00.82"O	SIM
04	Afluente do Rio Sucuriú 1	18°28'08.10"S	53°12'35.67"O	SIM
05	Ribeirão Cascavel - Jusante	18°35'37.41"S	53°15'21.52"O	SIM
06	Afluente do Rio Sucuriú 2	18°29'14.32"S	53°04'10.23"O	SIM
07	Afluente do Rio Sucuriú 3	18°33'59.67"S	53°05'31.34"O	NÃO
08	Ribeirão Cascavel - Montante	18°27'30.01"S	53°16'54.25"O	NÃO

**Fonte :** Autor (2024)

Os pontos de monitoramento das águas superficiais estão localizados em toda extensão da bacia de vinhaça da usina, objeto deste estudo, conforme mostra o mapa na Figura 04, sendo que os pontos 01, 02, 03, 04 e 06 são os mais próximos das áreas de influência de aplicação do lodo dos tanques de vinhaça; os pontos 08 e 07 são pontos mais distantes e foram utilizados como testemunha, pois não sofrem influência da área de aplicação de vinhaça ou do ponto de aplicação do lodo; o ponto 02 é um dos pontos mais próximos do local utilizado para aplicação do lodo de limpeza dos tanques de vinhaça, estando localizado no córrego Baús, onde estão instaladas as bombas de captação de água para uso na indústria; o ponto 01 também fica próximo da área de aplicação e está localizado no córrego Indaiá a montante da captação de água industrial; o ponto 03 está localizado também no córrego Baús, porém a jusante da captação de água; o ponto 06, apesar de estar mais distante, está localizado em um dos afluentes do Rio Sucuriú, que é um importantes rios da região e, que ,em seu percurso cruza o centro da cidade de Costa Rica MS. O ponto 07 está situado a jusante do município de Costa Rica, não estando próximo às áreas de aplicação do lodo da vinhaça.

**Figura 3-** Mapa Ponto de Monitoramento e local de aplicação lodo



Fonte :Autor (2024)

Os pontos acima estão localizados a montante da cidade de Costa Rica antes de o rio passar pela cidade, fato importante para análise de qualidade de água, considerando o risco de contaminação dos recursos hídricos quando eles passam por dentro de zonas urbanas, como mostra a Figura 3.

#### ***4.2.2 limpeza e destinação do Lodo de tanques de vinhaça***

A limpeza e a destinação do lodo dos tanques de vinhaça seguem o fluxograma mostrado pela Figura 4.

Figura 4- Fluxograma de limpeza e incorporação do lodo de tanques de vinhaça ao solo



**Fonte:** Autor (2024)

Ao estabelecer a necessidade de realização desta limpeza do lodo acumulado nos fundos dos tanques de vinhaça, a usina, através de seu corpo técnico, estabeleceu procedimentos técnicos de como deve ser feito para que não haja impactos socioambientais. Inicialmente, foram feitas a quantificação e a caracterização do lodo, sendo realizada sua coleta no reservatório, como mostram as Figuras 5 e 6, sendo, posteriormente, encaminhado para análise laboratorial.

**Figura 5-** Coleta de amostra de lodo no Reservatório de Vinhaça

**Figura 6-** Amostras coletadas e embaladas para envio para laboratório credenciado



Fonte: Autor (2021)

As amostras coletadas deste lodo foram analisadas com os mesmos parâmetros para caracterização da vinhaça, conforme a legislação vigente do estado do Mato Grosso do Sul. Um dos objetivos dessa análise foi mensurar a quantidade de macro e micronutrientes por  $m^3$  do lodo presente no reservatório. Para quantificar o lodo existente no reservatório, foram considerados o comprimento x largura x profundidade do tanque e o nível em que estava o lodo, conforme a Tabela 2, que mostra a capacidade do Reservatório de Distribuição e a quantidade de lodo decantado. .

**Tabela 2-** Tamanho e capacidade do Reservatório 05

Tamanho do RD em $m^3$	Lodo no RD	Quant. de lodo para retirar em $m^3$
1.500	70%	1050

Fonte: Autor (2023)

Após realizar a estimativa do volume do lodo a ser aplicado, define-se o local para sua aplicação em uma área compatível com a quantidade de lodo e o teor de macro e micronutrientes presentes nesta área para receber a incorporação do material. O local que recebeu lodo é uma área de reforma de canavial para plantio de cana-de-açúcar, visando a facilitar a aplicação e a incorporação do subproduto na área definida, conforme a Figura 7. Para retirada do lodo dos tanques, eles foram esgotado ao máximo, tendo sido utilizada uma escavadeira fora do reservatório de vinhaça para a limpeza e retirada do lodo do tanque, sendo esse material transportado por caminhão caçamba e levado até o talhão programado, preparado para a incorporação (Figura 8).

**Figura 7-** Local de recebimento do lodo

**Figura 8-** Retirada do lodo com uso de escavadeira e caminhão caçamba.



**Fonte:** Autor (2024)

Nos talhões que receberam o material, foi feita primeiramente a operação de subsolagem e, em seguida, de gradagem intermediária, antes de distribuir o lodo. Todos os restos culturais do talhão foram incorporados ao solo antes de iniciar a distribuição e/ou incorporação de lodo. Para não haver proliferação de vetores, é importante que não haja excesso de matéria orgânica na superfície do solo. O lodo foi distribuído de maneira uniforme no talhão e incorporado ao solo através de gradagem e/ou arado, repetindo a operação até que o lodo estivesse completamente incorporado ao solo, conforme apresenta a Figura 9.

**Figura 9-** Solo com lodo após incorporação do lodo



**Fonte:** Autor (2022)

Dessa forma, é importante ressaltar que, após a aplicação do material, a equipe técnica executora da atividade observará a absorção do lodo junto ao solo e, posteriormente, deverá fazer a gradagem do local, com a finalidade de incorporação de todo o lodo ao solo, evitando possíveis carreamentos por chuvas ou outros processos que possam levar o lodo para reservas, áreas de preservação permanentes (APPs) e cursos hídricos, causando danos ambientais.

#### 4.2.3 Parâmetros e metodologia para coleta e análise das amostras de águas superficiais

Para estudo e execução desse trabalho, foi delimitado um período histórico de quatro anos entre os anos de 2020 e 2023, tendo sido feitas coletas em oito pontos de monitoramento com frequência de análise semestral, avaliando também a sazonalidade das amostras: uma no período seco no mês de maio e outra no período chuvoso no mês de novembro, totalizando 64 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, tendo todos os parâmetros sido analisados com a mesma frequência.

No que concerne às amostras de água para análise, elas 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 feitas diretamente no canal dos corpos hídricos.

Para coletar as amostras, foi utilizado 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 seu conjunto. A aferição de parâmetros in loco (pH e oxigênio dissolvido) foi feita com o uso de sonda multiparâmetros.

As análises laboratoriais também foram feitas de acordo com as técnicas preconizadas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. A Tabela 3 descreve os métodos aplicados em cada análise feita após a coleta da água.

**Tabela 3-** Resumo do método de análise utilizado para cada parâmetro

Parâmetros	Método de Análise
Cálcio	SM 3120 B
Coliformes Totais	SM 9223 B
Condutividade Elétrica	SM 2510 B
DBO (5 dias)	SM 5210 B/ SM 4500 OH

DQO	HACH 8000
Dureza	SM 2340 C
Fósforo total (com P)	SM 4500 P D
Manganês	SM 3120 B
Nitrato (com N)	SM 4500 NO3 E
Nitrito (com N)	SM 4500 NO2 B
Nitrogênio total	CÁLCULO
Oxigênio dissolvido	SM 4500 O H
pH	SM 4500 H+ B
Potássio	SM 3120 B
Turbidez	SM 2130 B

**Fonte:** Autor (2024)

Para o uso do lodo nas áreas de preparo de solo, foi feita sua análise físico-química, de acordo com os parâmetros da norma estadual SEMADSC 01/2023, conforme dados da Tabela 4.

**Tabela 4-** Análise do lodo do reservatório número 02  
**Análise Resíduo Lodo de acordo com Semadesc 01/2023**

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>RD2 N° 26518</b>
Data da amostragem	dd/mm/aa	21/01/2021
Hora da amostragem	hora	16:30
Porcentagem de Sólidos	% p/p	48,2
PH (suspensão a 5%)	.....	4,06
Sólidos totais	% p/p	48,2
condutividade (suspensão a 5%)	µS/cm	< 1
Nitrato (como N)	mg/Kg	< 10
Nitrito (como N)	mg/Kg	5,83
Nitrogênio amoniacal	mg/Kg	249
Nitrogênio total Kjeldahi	mg/Kg	28400
Sódio	mg/Kg	128
Cálcio	mg/Kg	649
Potássio	mg/Kg	1950
Sulfato	mg/Kg	783
Fosfato (como P)	mg/Kg	468
Nitrogênio total	mg/Kg	28406

**Fonte:** Elaboração do Autor (2023)

#### ***4.2.4 Tratamento estatístico dos dados***

Neste trabalho, foram analisados inicialmente todos os 34 parâmetros dos últimos 04 anos de análise de água superficial. As verificações dos resultados das análises de solos foram feitas por meio de tratamento estatístico entre duas etapas, que compreenderam o período de seca (maio) e o período de chuva (novembro). Assim, foi feito o tratamento estatístico através de pacotes estatísticos dentro do RStudio referente aos 08 pontos de coletas. O delineamento experimental utilizado consistiu em análise multivariada, inicialmente avaliou-se a normalidade dos dados através do teste *Shapiro Wilk* para verificar se os dados analisados diferem ou não significativamente de uma distribuição normal, tendo sido feitos também a Análise de Variância (ANOVA) e o Test Dunn com correção de Bonferroni (Apêndice), corroborando as informações. Os resultados foram analisados utilizando métodos estatísticos, considerando alterações nos parâmetros durante os quatro anos. As variáveis selecionadas foram aquelas que tiveram diferença estatística pela ANOVA em termos dos pontos, observando-se também a sazonalidade dos períodos de chuva e seca nestes pontos. As análises comparativas foram feitas com os Valores Máximos Permitidos (VMPs), de acordo com as normas e protocolos vigentes para determinar o índice de qualidade das águas superficiais.

#### **4.3 Resultados e discussão**

Dentro do processo agroindustrial de fermentação e destilação é gerado um subproduto conhecido como vinhaça, que é rica em potássio, nitrogênio e outros nutrientes (SHIKIDA, 2019). A vinhaça, quando produzida, é armazenada em tanques de passagem na saída da indústria e, em algumas usinas, em reservatórios distribuídos nas lavouras, tanques estes que são chamados de RDs- Reservatórios de Distribuição ou tanques de vinhaça.

Durante a safra e no seu final, esta vinhaça é mantida nos tanques para que eles não ressequem e danifiquem as mantas/membranas de PEAD e seus revestimentos. Como a vinhaça é rica em matéria orgânica e os tanques durante todo ano ficam expostos a intempéries, vão se acumulando e decantando materiais no fundo do tanques, sendo este material composto por areia, matéria orgânica, fuligem, bagaço de cana e vinhaça, limitando a capacidade do tanque, o que pode ocasionar problemas operacionais como entupimento de tubulações de aéreas e enterradas, bombas e aspersores; podendo também causar danos ambientais como rompimento da manta de PEAD dos tanques, transbordamento do tanque e proliferação de vetores, o que pode ocasionar carreamento para áreas de APP, RL e cursos hídricos, caso estejam próximos das áreas do tanques. Com isso, há necessidade de proceder a uma limpeza destes tanques de tempos em tempos, retirando este material acumulado no fundo dos tanques, material que chamamos de “lodo dos tanques de vinhaça”.

Existem várias formas de fazer a limpeza, algumas mais adequadas e ambientalmente corretas do que outras, pois esta limpeza, de acordo com a legislação do estado, deve ser feita, seguindo a norma, no caso do estado do Mato Grosso do Sul, estado onde se localiza a usina em que estamos realizando o trabalho. A norma que fala sobre a destinação da vinhaça é a Resolução SEMADESC N.001, de 02, de janeiro de 2023. Esta norma não estabelece critérios específicos para o lodo ou material da limpeza dos tanques, citando em seu Parágrafo 5º que A execução de limpeza de tanques de armazenamento e de canais mestres já impermeabilizados poderá ser executada ao término de cada safra, conforme couber independentemente de autorização ou licença ambiental, admitindo-se a realização de limpeza a qualquer tempo, caso necessário em decorrência de caso fortuito ou força maior devidamente documentados.

Devidamente documentados” se refere a um padrão mínimo e a um procedimento específico para a realização de tal limpeza, pois a usina objeto deste estudo já foi no passado notificada pelo órgão ambiental do estado para que fizesse a limpeza dos tanques e a destinação correta, citando o uso do lodo em seu PAV – Plano de Aplicação de Vinhaça, fator este que, em situações de precipitações ou erosões das margens dos corpos hídricos, pode carrear estes componentes e materiais provenientes

do lodo, que podem ser parcialmente dissolvidos na água e carregados para os recursos hídricos.

O solo da região, se não manejado da forma agronomicamente correta, favorece o carregamento de areias quartzosas, segundo SPERA *et al.* (1999), pois são solos pobres em nutrientes para as plantas, álicos e saturados com alumínio, gerando problemas de fertilidade para práticas de agricultura, podendo apresentar saturações de até 80% de alumínio, porém como o lodo é rico em matéria orgânica e de fácil incorporação, ele pode melhorar a qualidade deste tipo de solo, protegendo as camadas do solo, não deixando que haja carregamento para os mananciais e recursos hídricos da região para onde ele foi destinado.

Dessa forma, o monitoramento dos recursos hídricos é um eficiente instrumento de avaliação da qualidade das águas dos mananciais, bem como do aproveitamento múltiplo e integrado da água e de minimização dos impactos ambientais que eventualmente possam ou venham ocorrer, uma vez que são registradas informações da qualidade da água em diferentes pontos a montante e a jusante do local utilizado para distribuição do lodo, e em períodos sazonais, obtendo assim um banco de dados de provas e estudos das diferentes práticas agroindustriais.

O descarte de forma irregular do lodo diretamente no solo ou em áreas de sacrifício pode trazer impactos ambientais para o solo, a água e os cursos hídricos, além do aumento de vetores de doenças (TEIXEIRA *et al.*, 2005). O trabalho analisou também a interferência da sazonalidade das coletas em relação aos períodos chuvosos e secos, pois o período chuvoso pode gerar maior carregamento de nutrientes e matéria orgânica das áreas de aplicação do lodo para os cursos hídricos, podendo, após análise, serem evidenciadas alterações nos padrões físicos e químicos da água durante longos períodos de aplicação de lodo em um mesmo local.

Contudo, de acordo com Peyton *et al.* (2016), ao pesquisar sobre a perda de nutrientes, metais e micróbios no escoamento superficial após a aplicação de lodo tratado e chorume de gado leiteiro em um solo de pastagem irlandesa, perdas de nutrientes para corpos de água superficiais ou subterrâneos podem ocorrer de duas maneiras principais. Primeiramente, de forma crônica e a longo prazo, devido ao acúmulo de nutrientes no solo. Em segundo lugar, de forma incidental ou acidental, com

perdas de curto prazo, dentro de 48 horas após a aplicação, causadas por eventos de chuvas temporais logo após a aplicação de um fertilizante ou aditivo na terra.

Essas perdas para corpos de água superficiais ocorrem por meio de descargas diretas, superficiais e próximas à superfície, ou por descarga de água subterrânea, em razão do *continuum* de transferência hidrológica entre uma fonte de nutrientes crônica ou incidental, podendo resultar na perda de fósforo (P) após a aplicação de biossólidos secos. Além disso, foram relatadas perdas de nitrogênio (N) após a aplicação direta no solo. No entanto, é importante considerar que esses resultados podem variar conforme o tipo de solo, as condições climáticas e as práticas de manejo utilizadas.

A análise química indica que o lodo tem níveis significativos de nutrientes como nitrogênio, potássio e fósforo, essenciais para o crescimento das plantas. O pH ácido e os altos níveis de nitrito necessitam de monitoramento para garantir que a aplicação do lodo não cause desequilíbrios ambientais ou contaminação. A baixa condutividade sugere que o lodo não contribuirá significativamente para a salinidade do solo, tornando-o inadequado para aplicação na agricultura.

Contudo, segundo Zawadzki *et al.* (2020), em seu estudo sobre o uso de lodo de esgoto na agricultura, há sérios perigos associados a essa prática. Mesmo após vários processos de tratamento, os lodos de esgoto podem contribuir para que os fertilizantes introduzidos no solo representem uma ameaça sanitária e ecológica tanto para a agricultura quanto para os recursos hídricos.

Para minimizar esses riscos, é essencial que os países implementem regulamentações legais rigorosas. Neste contexto, são justificadas pesquisas abrangentes sobre o impacto dos fertilizantes derivados de lodo de esgoto, especialmente no que se refere ao solo, ao ambiente subterrâneo e aquático, bem como à qualidade das colheitas. Dadas a atual legislação e a composição diversa dos lodos de esgoto, é necessária uma análise de segurança completa, incluindo análises biológicas e avaliações de risco detalhadas.

A comparação com a norma estadual SEMADESC 01/2023 do Mato Grosso do Sul é crucial. Verificar se os parâmetros analisados atendem aos limites estabelecidos por essa norma é essencial para garantir a conformidade e a segurança ambiental.

O aproveitamento e a distribuição correta do lodo dos tanques de vinhaça no solo podem trazer ganhos de produtividade para produção agrícola; porém necessitamos avaliar seus impactos junto ao meio ambiente em especial junto aos recursos hídricos e águas superficiais. A aplicação de lodo em solos, se não for gerida adequadamente, pode resultar em riscos significativos para os recursos hídricos e águas superficiais. Com base na análise química do lodo fornecida, aqui estão os principais riscos e impactos potenciais de acordo com a análise.

A análise química do lodo revelou altos níveis de Nitrogênio Total (28,406 mg/Kg) e Nitrogênio Amoniacal (249 mg/Kg), o que pode acarretar sérios impactos ambientais. O excesso de nitrogênio é um fator crucial para a eutrofização dos corpos d'água, resultando na proliferação de algas que consomem oxigênio, podendo levar à morte de peixes e a outras formas de vida aquática. Adicionalmente, níveis elevados de nitrogênio amoniacal são tóxicos para a vida aquática e podem se converter em nitrito e nitrato, ambos poluentes significativos da água.

O fosfato, presente no lodo em 468 mg/kg, tem um impacto semelhante ao nitrogênio na eutrofização, estimulando o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas. Nitrito, com uma concentração de 583 mg/kg, é particularmente tóxico para organismos aquáticos, interferindo na capacidade do sangue de transportar oxigênio, causando a "doença do sangue" nos peixes.

Além dos nutrientes, a contaminação por metais pesados, embora não detalhada nos dados fornecidos, é uma preocupação comum no lodo. Esses metais podem se acumular nos sedimentos dos corpos d'água, prejudicando organismos bentônicos e entrando na cadeia alimentar.

A qualidade da água também pode ser alterada pelo pH ácido do lodo (4.06), que afeta a solubilidade de metais pesados e outros poluentes, aumentando sua biodisponibilidade e toxicidade. A alta concentração de sólidos totais (482% p/p) pode aumentar a turbidez da água, prejudicando a penetração da luz solar, afetando a fotossíntese aquática.

Finalmente, a condutividade muito baixa ( $<1 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) indica baixa salinidade. No entanto, uma aplicação excessiva de lodo pode causar lixiviação de outros sais presentes no solo, aumentando a salinidade das águas superficiais e subterrâneas. Esses

fatores juntos destacam a necessidade de um gerenciamento cuidadoso do lodo para evitar impactos ambientais negativos, especialmente em relação aos recursos hídricos.

Para análise do impacto nos recursos hídricos, foram determinados 34 parâmetros físico-químicos dos cursos hídricos que estão próximos à região de lançamento do lodo dos tanques de vinhaça( Tabela 05). .

A Tabela 5 apresenta a análise estatística dos dados de água superficial, tendo sido calculados os valores da média de todos os pontos, os desvios padrão (SD) entre eles, e os dados de mínimas (Min) e Máximas (Max). Foram encontrados valores mais altos de desvio padrão, que indicam uma maior dispersão dos dados em torno da média, enquanto valores mais baixos indicam menor variabilidade e maior consistência.

**Tabela 5-** Análise Estatística dos Dados de Água Superficial

Variável	Média	Desvio Padrão (SD)	Mínimo (Min)	Máximo (Max)	Coef.Variação CV
Temperatura ambiente	27,750	4,370	13,000	35,000	15,748
Temperatura da amostra	23,240	2,200	18,000	28,000	9,466
Turbidez	9,090	11,320	1,300	53,000	124,532
Alumínio dissolvido	0,060	0,060	0,010	0,022	100,000
Cálcio	1,240	1,060	0,010	4,500	85,484
Chumbo	0,010	0,000	0,000	0,001	0,000
Clorofila a	1,000	0,020	1,000	1,010	2,000
Cobre dissolvido	0,010	0,000	0,000	0,010	-
Coliformes termotolerantes	982,970	2730,840	1,000	16000,000	277,815
Condutividade	14,900	11,680	4,200	60,000	78,389

elétrica					
Cor aparente	41,500	61,160	5,000	270,000	147,373
Cromo total	0,010	0,010	0,000	0,040	100,000
DBO 5 dias	1,500	0,000	1,500	1,500	-
DQO	3,000	0,000	3,000	3,000	-
Ferro dissolvido	0,170	0,100	0,010	0,390	58,824
Fósforo total	0,030	0,020	0,000	0,110	66,667
Magnésio	0,540	0,480	0,000	2,000	88,889
Manganês	0,020	0,020	0,00	0,070	100,000
Materiais sedimentáveis	0,500	0,000	0,500	0,500	-
Mercurio	0,000	0,000	0,000	0,001	-
Nitrato	0,190	0,050	0,100	0,330	26,316
Nitrito	0,090	0,030	0,020	0,190	33,333
Nitrogênio amoniacal total	0,110	0,040	0,000	0,220	36,364
Óleos e graxas totais	7,500	2,520	5,000	15,000	33,600
Óleos e graxas VISUAL	0,000	0,000	0,000	0,000	-
Oxigênio dissolvido	6,720	0,920	5,100	8,600	13,690
pH.SM.4500	6,610	0,560	5,750	8,500	8,472
Potássio	0,380	0,340	0,050	1,200	89,474

Sólidos dissolvidos	41,160	44,820	11,000	190,000	108,892
Sólidos suspensos	22,230	9,660	15,000	51,000	43,455
Sólidos totais	57,940	52,500	21,000	250,000	90,611
Sulfato	3,350	0,790	2,000	5,200	23,582
Surfactantes	0,190	0,050	0,030	0,400	26,316
Chuva ou seca	0,500	0,500	0,000	1,000	100,000

**Fonte:** Autor (2024)

Após análise dos dados e desvio padrão mais relevantes nas amostras, com base nos desvios padrão dos parâmetros medidos que mais se destacaram:

A temperatura ambiente mostra uma variação moderada em torno da média (27.75°C), com um desvio padrão de 4.37°C. Isso sugere flutuações sazonais ou diurnas na temperatura do ambiente, mas também em função dos períodos de coleta durante as estações de chuva e seca entre os meses de maio, período mais seco e de maior temperatura na primeira coleta, e novembro, período chuvoso na segunda coleta.

A turbidez apresenta uma alta variabilidade (SD = 11.32 NTU), refletindo a grande variabilidade nas partículas suspensas na água, o que também é justificável em relação aos períodos das coletas, possivelmente em razão de eventos como chuvas, escoamento superficial ou atividades antropogênicas.

O alumínio dissolvido tem um desvio padrão igual à média (0.06 mg/L), indicando uma alta variabilidade relativa e possivelmente influências sazonais ou locais e solos com uma maior concentração de alumínio.

O cálcio mostra uma variação moderada (SD = 1.06 mg/L) que pode ser atribuída a diferentes fontes de entrada de cálcio na água, não necessariamente em

relação ao lodo dos tanques de vinhaça, podendo ter outros fatores como a erosão de rochas calcárias ou a contribuição de águas subterrâneas.

A concentração de chumbo apresenta baixa variabilidade ( $SD = 0.00$  mg/L), indicando que os níveis de chumbo são consistentemente baixos e próximos de zero em todas as amostras, o que indica inicialmente que a aplicação do lodo não tem interferência na qualidade dos cursos hídricos da região para este parâmetro

A contagem de coliformes termotolerantes tem uma variabilidade extremamente alta ( $SD = 2730.84$  MPN/100mL), sugerindo possíveis fontes pontuais de contaminação fecal, que podem variar significativamente entre os pontos de amostragem ou ao longo do tempo, em especial, tendo em vista que a região dos cursos hídricos é uma área com grande influência de pecuária de corte e leite, mas que também após análise mais detalhada dos dados históricos vamos identificar ou não influência do lodo.

A condutividade elétrica mostra uma variação considerável ( $SD = 11.68$   $\mu$ S/cm), refletindo mudanças na concentração de íons dissolvidos na água, possivelmente em razão das fontes de poluição ou das variações naturais.

A cor aparente da água apresenta alta variabilidade ( $SD = 61.16$  Pt-Co), indicando flutuações significativas da presença de substâncias dissolvidas e em suspensão, que afetam a coloração da água, que pode ser justificada pelo tipo de solo da região e das áreas de preservação próximas aos cursos hídricos.

O fósforo total tem um desvio padrão relativamente baixo ( $SD = 0.02$  mg/L), indicando menor variabilidade nas concentrações de fósforo, embora ainda haja alguma flutuação.

O oxigênio dissolvido apresenta variação moderada ( $SD = 0.92$  mg/L), refletindo mudanças na oxigenação da água, possivelmente influenciadas por fatores como a temperatura da água, atividades biológicas e a presença de poluentes.

Os valores de desvio padrão fornecem uma visão clara da consistência e da variabilidade dos diferentes parâmetros de qualidade da água. Parâmetros com alta variabilidade, como turbidez, coliformes termotolerantes e cor aparente, indicam que esses fatores são altamente influenciados por condições ambientais e antropogênicas

variáveis. Por outro lado, parâmetros com baixa variabilidade, como chumbo e oxigênio dissolvido, sugerem condições mais estáveis ou menores influências externas nas concentrações desses componentes.

Dentro de todos os elementos analisados, foram selecionadas as variáveis que tiveram diferença estatística pela ANOVA em termos de pontos, sendo apresentadas mais detalhadamente a seguir:

- Turbidez

A turbidez é indicadora da presença de sólidos totais em suspensão, que podem ser de origem natural ou originárias de atividades antropogênicas (OLIVEIRA *et al.*, 2024). A Tabela 5 apresenta os valores médios entre os pontos para a turbidez bem como o Shapiro Wilk Test.

**Tabela 5-** Análise de Variância e *Shapiro Wilk Test* agrupando pelos Pontos: Turbidez

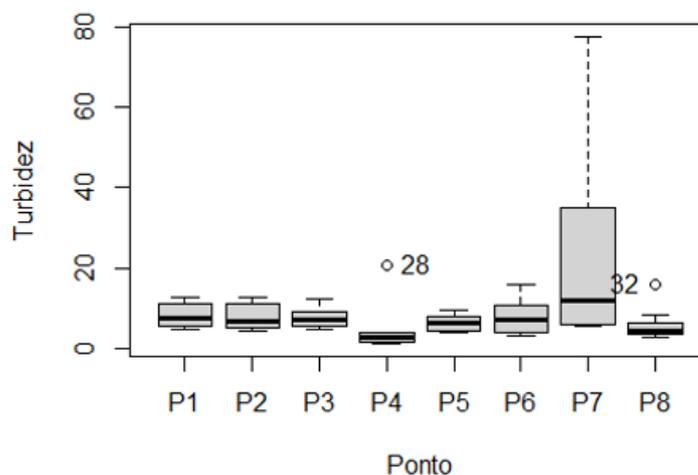
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Médias	8.2125	8.0000	7.6500	4.8375	6.4500	7.9500	23.6375	5.9500
Desvio Padrão	3.08657	3.19240	2.57127	6.57483	2.11592	4.36872	27.42532	4.38210
ANOVA	Sum Sq	Df	F	Pr(>F)				
	0.028072	7	0.9475	0.4781				
W =	0.46737	p-value	7.138e-14					

**Fonte:** Autor (2024)

O resultado da análise de variância para a turbidez apresentou uma diferença no ponto P7 de 27.425 UNT, contrastando consideravelmente com os demais pontos e também com a amostra testemunha P8, que apresenta 5.9500 UNT, que pode ser justificado pelo fato de o P7 estar a jusante da cidade e sofrer influência de escoamentos de águas, escoamentos residuais e fluviais, que podem alterar a turbidez, como observado na Figura 10. Para o *Shapiro Wilk Test*, rejeita-se a hipótese nula, significando que há evidências estatísticas para afirmar que os dados não seguem uma distribuição normal. Conforme mostra a Figura 10, a turbidez geralmente é menor em períodos de elevadas precipitações, em razão da diluição de partículas suspensas. No

entanto, fontes antrópicas podem favorecer a elevação dos níveis de turbidez, incluindo o desmatamento das matas ciliares, o despejo de efluentes, a presença de pastos, o acesso de animais aos corpos hídricos, processos erosivos, entre outros (MONTOVANI, 2021).

Figura 10-Boxplot para turbidez entre os pontos.



**Fonte:** Autor (2024)

Uma das principais fontes de turbidez é a erosão dos solos, quando, no período chuvoso, as águas carregam uma grande quantidade de material sólido para os corpos d'água. Assim, atividades como o lançamento de efluentes industriais também são fontes significativas que ocasionam um acréscimo da turbidez das águas. Ao longo do percurso estudado, os maiores valores médios foram encontrados no período de seca quando comparados ao período de chuva (Tabela 7) A turbidez média para o período chuvoso apresentou 6.0218 UNT e 12.150 UNT para seca, mostrando que há uma diferença entre as estações, porém os níveis ficaram abaixo do valor estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, atendendo as normas vigentes.

**Tabela 6-** ANOVA estações de chuva e seca turbidez.

	Chuva	Seca		
Médias	6.021875	12.150000		
Desvio Padrão	2.786573	15.266155		
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
	600.9	1	4.9901	0.02911

**Fonte:** Autor (2024)

- Cálcio

Para o cálcio, estatisticamente foi indicada uma diferença significativa entre os pontos, apontando que os dados não seguem a distribuição normal (Tabela 7).

**Tabela 7-** Análise de Variância e *Shapiro Wilk Test* agrupando pelos Pontos: Cálcio

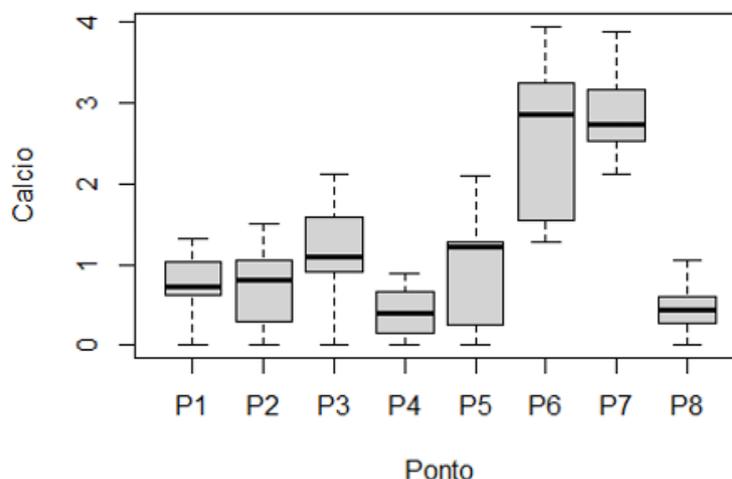
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Médias	0.76537	0.72912	1.16487	0.41437	0.95462	2.56262	2.85837	0.46487
Desvio Padrão	0.41634	0.52021	0.66812	0.32126	0.72030	0.99072	0.55812	0.31487
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)				
	49.794	7	19.592	5.622e-13				
W	0.89505	p-value	5.235e-05					

**Fonte:** Autor (2024)

De acordo com a Tabela 7, apenas os pontos P6 e P7 apresentaram maiores níveis de cálcio, destoando dos demais, quando comparados entre si e também com o P8. Valores elevados de cálcio em águas superficiais podem indicar uma condição de alta mineralização, muitas vezes associada à composição geológica da área de drenagem, como solos calcários ou rochas ricas em carbonato de cálcio, o que pode justificar as alterações nos pontos P6 e P7, uma vez que todos receberam aplicação de lodo de vinhaça e apenas estes dois apresentaram maiores teores dos níveis de cálcio.

No Brasil, não há um valor máximo específico para a concentração de cálcio em águas superficiais definido diretamente pelas legislações ambientais ou sanitárias. No entanto, as normas relacionadas à qualidade da água fornecem diretrizes, e no caso da Semadesc, os valores obtidos pelas amostras dos pontos de aplicação do lodo atendem aos teores estabelecidos. A Figura 11 apresenta a variação do cálcio, sendo que os pontos P6 e P7 apresentam maiores variações.

Figura 11- Boxplot para o cálcio entre os pontos.



Fonte: Autor (2024)

A variação do cálcio nas águas superficiais durante o período de seca e chuva pode ser significativa e está fortemente ligada aos processos naturais de diluição e ao escoamento superficial, não propriamente ligada a influência de aplicação do lodo. A Tabela 8 apresenta a ANOVA para as estações de seca e chuva, mostrando que não houve variações significativas neste aspecto entre as estações de chuva e seca.

**Tabela 8-** ANOVA estações de chuva e seca cálcio.

	Chuva	Seca		
Médias	1.244125	1.234438		
Desvio Padrão	1.111553	1.013187		
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
	0.002	1	0.0013	0.9711

Fonte: Autor (2024)

- Condutividade elétrica

Segundo Rolim *et al.* (2013), a condutividade elétrica (CE) se relaciona com o teor de sais presentes na água, tendo, portanto, relação direta com o teor de sólidos dissolvidos totais (SDT). Os valores de condutividade elétrica presentes na amostra apresentaram uma variabilidade nos pontos P6 e P7 como mostra a Tabela 9. .

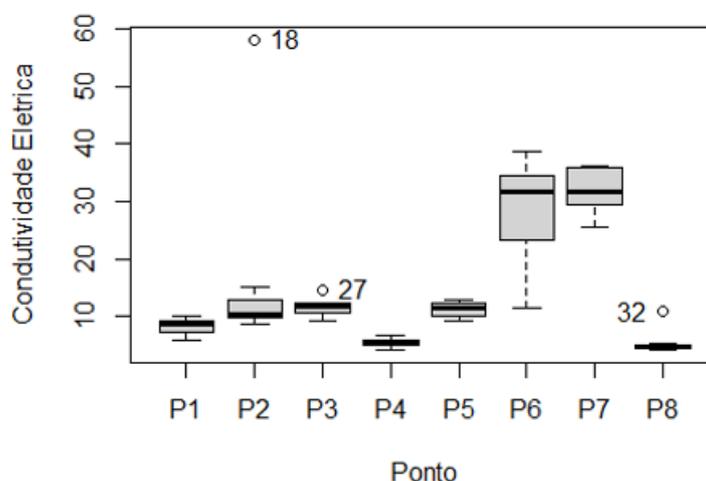
**Tabela 9-** Análise de Variância e Shapiro Wilk Test agrupando pelos Pontos: Condutividade elétrica

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Médias	8.2750	16.6125	11.6625	5.3875	11.2125	28.5875	32.0375	5.4125
Desvio Padrão	1.44987	16.8753	1.54729	0.76239	1.42672	8.84104	3.89172	2.20676
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)				
	5859.6	7	17.168	6.713e-12				
W =	0.78379	p-value = 2.617e-08						

**Fonte:** Autor (2024)

Conforme observado pela ANOVA na Tabela 9, juntamente com o teste de normalidade *Shapiro Wilk Test*, durante o tempo monitorado, rejeita-se a hipótese nula com  $p\text{-value} = 2.617e^{-08}$ . As amostras das águas superficiais apresentaram variação de condutividade elétrica entre 5.3875 e 32.0375  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , destacando os pontos P6 e P7 com níveis mais elevados. O P7, por cortar o centro da cidade, pode sofrer esta influência em razão do carreamento de sólidos vindos de águas carreadas da cidade para o rio. Diversos estudos apontam fatores importantes que influenciam a condutividade elétrica (CE), especialmente a geologia da bacia hidrográfica (DE AZEVEDO *et al.*, 2014; MOLIN *et al.*, 2011).

Figura 12- Boxplot para condutividade elétrica entre os pontos



**Fonte:** Autor (2024)

Observou-se neste estudo que o valor foi elevado nos pontos P6 e P7 com 28.5875 e 32.0375  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente, como mostra a Figura 12. No ponto 06, estes teores podem estar relacionados com a disposição do lodo de vinhaça no solo durante seu preparo para o plantio de cana-de-açúcar, visto que, conforme a Semadesc RD2 nº 26518, o valor deverá ser inferior a 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . No P7, pode ser a influência do carreamento de água fluvial da cidade para o curso de água. Rolim *et al.* (2013), em estudo com aplicação de vinhaça no solo, constataram que tal efluente tem um elevado teor de SDT, tem mais propensão a lixiviar para corpos d'água e camadas profundas do solo, podendo atingir o lençol freático.

Frota (2023) afirma que a condutividade pode ser influenciada pelo volume de precipitações, ou seja, a sazonalidade está inteiramente relacionada à concentração. Ainda segundo o autor, o lançamento de efluentes pode aumentar a condutividade elétrica mesmo que não haja interferência da sazonalidade. Os ambientes que expõem valores acima de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sugerem poluição do meio hídrico, e meios que contenham até 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  podem estar relacionados à poluição por esgotos domésticos ou industriais (VON SPERLING, 1996).

Durante a estação chuvosa, ocorre maior diluição dos íons presentes na água, o que tende a reduzir a condutividade elétrica. No entanto, o escoamento superficial pode carregar partículas, sedimentos e poluentes, o que, em alguns casos, eleva a CE. Assim, a condutividade pode diminuir ou aumentar, dependendo da quantidade de substâncias carregadas para os corpos d'água. No caso em estudo, foram observados níveis médios maiores da condutividade elétrica durante a estação de chuva na região, conforme apresenta a Tabela 11. Vale destacar que esse parâmetro não apresenta limites postos na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005. Apesar de não haver padronização para essa variável, torna-se pertinente o monitoramento em razão de evidenciar deterioração e a poluição da qualidade das águas monitoradas, sem diferença entre as estações.

**Tabela 10-** ANOVA estações de chuva e seca condutividade elétrica.

	Chuva	Seca		
Médias	16.15625	13.64062		
Desvio Padrão	13.683565	9.305491		
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
	101.3	1	0.7395	0.3931

**Fonte:** Autor (2024)

- Cromo total

O cromo pode estar presente nas águas provenientes de fontes naturais ou antropogênicas, logo, diversos países estabelecem limites de segurança para o cromo total em águas superficiais. No Brasil, por exemplo, a Resolução CONAMA n° 357/2005 estabelece os valores máximos para corpos hídricos de 0,05 mg/L a fim de reduzir os impactos na saúde pública e nos ecossistemas. Este limite para cromo total também é preconizado por países da União Europeia (MATAVELI *et al.*, 2018). A Tabela 11 apresenta a Análise de Variância e o teste de normalidade para o elemento Cromo total.

**Tabela 11-** Análise de Variância e *Shapiro Wilk Test* agrupando pelos Pontos: Cromo total

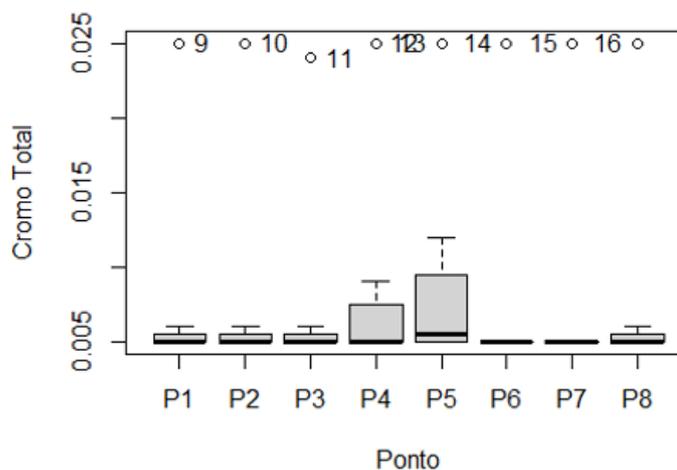
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Médias	0.00762	0.00762	0.00750	0.00812	0.00875	0.00750	0.00750	0.00762
Desvio Padrão	0.00702	0.00702	0.00667	0.00695	0.00698	0.00707	0.00707	0.00702
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)				
	1.094e-05	7	0.0321	1				
W =	0.45035	p-value = 4.268e-14						

**Fonte:** Autor (2024)

A amostra apresenta  $p\text{-value} = 4.268e^{-14}$ , dessa forma, o elemento não segue uma distribuição normal nos pontos verificados. A ANOVA dos dados para o

elemento cromo não apresentou grandes variações nos níveis do elemento ao longo dos pontos de aplicação, apresentando níveis maiores para os pontos P4 e P5, valores considerados aceitáveis, uma vez que os níveis obtidos foram inferiores aos limites permitidos pela legislação brasileira, como visto na Figura 13.

**Figura 13**-Boxplot para o cromo total entre os pontos.



**Fonte:** Autor (2024)

A concentração de cromo total em águas superficiais varia entre períodos de chuva e seca devido a fatores como diluição, escoamento e concentração de poluentes. Os acompanhamentos das flutuações sazonais são essenciais para o monitoramento ambiental para garantir que os níveis de cromo se mantenham dentro dos limites seguros para o consumo. A Tabela 12 mostra uma pequena variância para o cromo total durante as estações de chuva e seca.

**Tabela 12**- ANOVA estações de chuva e seca cromo total.

	Chuva	Seca		
Médias	0.00546875	0.01009375		
Desvio Padrão	0.001294763	0.008700609		
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
	0.00034225	1	8.8463	0.00418

**Fonte:** Autor (2024)

- Ferro dissolvido

O ferro é um dos metais mais abundantes no solo, no entanto, em grandes quantidades, além de degradar o solo, pode contaminar águas subterrâneas e, em seguida, cursos d'água (PRINCHAK, 2022). A Tabela 13 apresenta a Análise de Variância e *Shapiro Wilk Test* para o ferro dissolvido.

**Tabela 13-** Análise de Variância e *Shapiro Wilk Test* agrupando pelos Pontos: Ferro dissolvido.

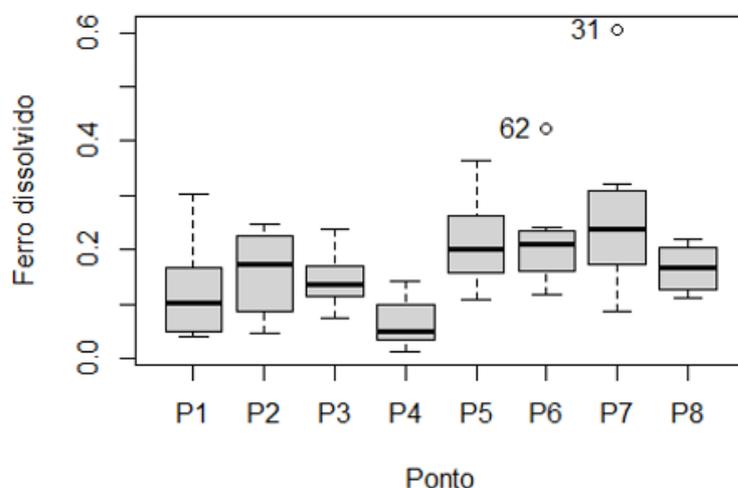
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Médias	0.12220	0.15825	0.14396	0.06510	0.21398	0.21900	0.26562	0.16596
Desvio Padrão	0.09129	0.07626	0.04995	0.04775	0.08174	0.09247	0.15763	0.04125
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)				
	0.22077	7	4.1561	0.0009587				
W =	0.9047	p-value = 0.0001208						

**Fonte:** Autor (2024)

Conforme a Tabela 13, os resultados estatísticos rejeitam a hipótese nula, apresentando diferença significativa entre as médias dos pontos em análise, com *p-value* = 0.0001208. O teor de ferro ao longo do período em análise apresentou valores abaixo de 0,3 mg/L, o que é permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, sendo os níveis mais elevados encontrados nos pontos P5, P6 e P7, como visto na Tabela 13.

Em um estudo realizado por Canellas *et al.* (2003), em solos aplicados com vinhaça, foi observado aumento nos teores de cobre e ferro nas camadas de 0,20-0,40m de profundidade, podendo haver o transporte para camadas mais profundas.

As águas superficiais estão sujeitas a níveis mais elevados de ferro devido à ocorrência de matéria orgânica, além disso, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas em razão do carreamento de solos agrícolas e da ocorrência de processos de erosão das margens dos rios (DA SILVA *et al.*, 2022). A distribuição apresentou pequenas variações ao longo dos pontos de distribuição, conforme apresenta a Figura 14.

**Figura 14-**Boxplot para o ferro dissolvido entre os pontos.

**Fonte:** Autor (2024)

Níveis elevados de ferro equivalem a precipitados de hidróxido de ferro insolúvel, que estão associados às ações humanas por descarte de efluentes industriais nos corpos hídricos (OLIVEIRA *et al.*, 2024). A concentração de ferro dissolvido em águas superficiais pode variar significativamente entre os períodos de seca e de chuva devido a mudanças nas condições de escoamento. A amostra apresentou uma pequena variação nos níveis de ferro, sendo de 0.14111 mg/L na estação de chuva e de 0.1202 mg/L na estação de seca, estando este nível dentro dos valores máximos permitidos de acordo com o Índice de Qualidade das Águas (IQA), como visto na Tabela 14.

**Tabela 14-** ANOVA estações de chuva e seca ferro dissolvido.

	Chuva	Seca		
Médias	0.1411156	0.12028243		
Desvio Padrão	0.06875439	0.12028243		
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
	0.05070	1	5.2824	0.02493

**Fonte:** Autor (2024)

- Magnésio

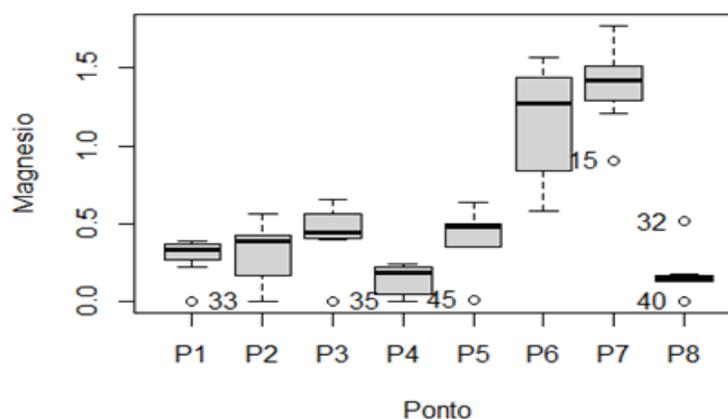
Um dos fatores relacionados ao magnésio diz respeito à dureza da água, que pode ser por fator natural, a exemplo da dissolução de rochas calcárias, ricas em cálcio e magnésio ou pode ser por fator antropogênico, caso de despejo de efluentes industriais. A Tabela 15 apresenta a análise de variância nos pontos em estudo para o parâmetro magnésio, juntamente com o teste de normalidade.

**Tabela 15-** Análise de Variância e *Shapiro Wilk Test* agrupando pelos Pontos: Magnésio

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Médias	0.29375	0.31787	0.43750	0.14712	0.41650	1.15712	1.39212	0.17800
Desvio Padrão	0.12766	0.20087	0.20039	0.09847	0.18779	0.36744	0.25287	0.14620
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)				
	12.2243	7	38.582	< 2.2e-16				
W =	0.85096	p-value = 1.757e-06						

**Fonte:** Autor (2024)

Os resultados da análise de variância para o elemento magnésio apresentaram diferenças significativas, além disso, os dados não seguem uma distribuição normal com  $p\text{-value} = 1.757e^{-06}$ . Todos os pontos apresentaram valores destoando da amostra testemunha (P8), sendo que os pontos P6 e P7 apresentaram maiores níveis, como observado na Figura 15. . Apesar de não haver limites para os teores de magnésio na CONAMA n° 357/2005 e nem na SEMADESC, entretanto, de acordo com a Portaria 518/2004-ANAVISA/ MS, o limite máximo de dureza para água potável é de 500mg/l.

**Figura 15-**Boxplot para o magnésio entre os pontos.

**Fonte:** Autor (2024)

O magnésio pode ser transportado junto com outros nutrientes, dependendo das condições do solo e do manejo da vinhaça e também do lodo. Atribuem-se efeito laxativo e sabor desagradável à água de elevada dureza (VON SPERLING, 1996). A Análise de Variância agrupando as estações não apresentou variações significativas, tendo no período de chuva níveis de 0.5647 mg/L e no período de seca níveis de 0.5202mg/L, conforme apresenta a Tabela 16.

**Tabela 16-** ANOVA estações de chuva e seca magnésio.

	Chuva	Seca		
Médias	0.5647813	0.5202187		
Desvio Padrão	0.5322019	0.4379903		
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
	0.0318	1	0.1338	0.7158

**Fonte:** Autor (2024)

O comparativo entre o período de chuva e seca apresentou uma pequena variação entre as estações, porém uma atenção deve ser dada aos pontos de aplicação P6 e P7, pois o magnésio causa impacto nas águas principalmente em situações em que suas concentrações são elevadas, o que pode ocorrer devido à contaminação por efluentes industriais, fertilização agrícola inadequada, ou lixiviação de resíduos, como no caso do uso de vinhaça, o mesmo valendo para o lodo. A lixiviação de nutrientes

junto com matéria orgânica por meio do escoamento superficial pode acarretar vários impactos negativos nas águas superficiais, incluindo a eutrofização (FUESS *et al.*, 2017). No caso do P7, pode ser influência da cidade, pois o rio passa pelo seu centro.

- Manganês

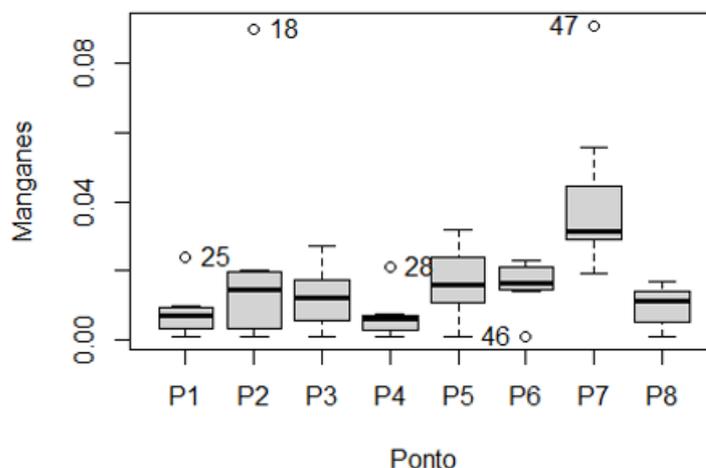
O manganês é um elemento metálico que pode ser encontrado em abundância na natureza, sendo ele um elemento importante para a vida animal e vegetal, mas o consumo ou a exposição elevada pode causar graves problemas (PAGANINI *et al.*, 2015). A Tabela 17 mostra a análise de variância entre os pontos para o elemento manganês.

**Tabela 17-** Análise de Variância e *Shapiro Wilk Test* agrupando pelos Pontos: Manganês

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Médias	0.008125 0	0.02075 0	0.01223 7	0.00680 0	0.01681 2	0.01600 0	0.04000 0	0.00983 7
Desvio Padrão	0.007239	0.02907	0.00876	0.00627	0.00992	0.00688	0.02311	0.00597
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)				
A	0.006377	7	4.2136	0.00085				
W =	0.71813	p-value = 8.889e-10						

**Fonte:** Autor (2024)

Os dados mostrados acima para o elemento manganês apresentaram evidências estatísticas para afirmar que eles não seguem uma distribuição normal, apesar de seus níveis entre pontos serem próximos aos níveis da testemunha P8. O manganês presente no lodo de vinhaça pode levar a um impacto negativo das águas superficiais, entretanto, os níveis do presente estudo se situam dentro do padrão de referência IQA e também de acordo com CONAMA nº 357/2005, como apresenta a Figura 16. .

**Figura 16-** Boxplot estações de chuva e seca manganês.

**Fonte:** Autor (2024)

Avaliando comportamento do manganês de acordo com a sazonalidade, nota-se que ele não apresentou variação significativa, com valores médios de 0.01520 mg/L e 0.01743 mg/L no período de chuva e seca, respectivamente, como apresenta a Tabela 18. .

**Tabela 18-** ANOVA estações de chuva e seca manganês

	Chuva	Seca		
Médias	0.01520312	0.01743750		
Desvio Padrão	0.01638665	0.01803391		
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
	0.0000799	1	0.2691	0.6058

**Fonte:** Autor (2024)

- Nitrogênio Amoniacal

A presença de compostos de nitrogênio na água pode ser um indicativo de contaminação do aquífero e de condições higiênico-sanitárias insatisfatórias. O nitrogênio amoniacal na vinhaça pode ter efeitos adversos em águas superficiais se for prejudicialmente gerido. Tanto a vinhaça quanto o lodo, subproduto da produção de

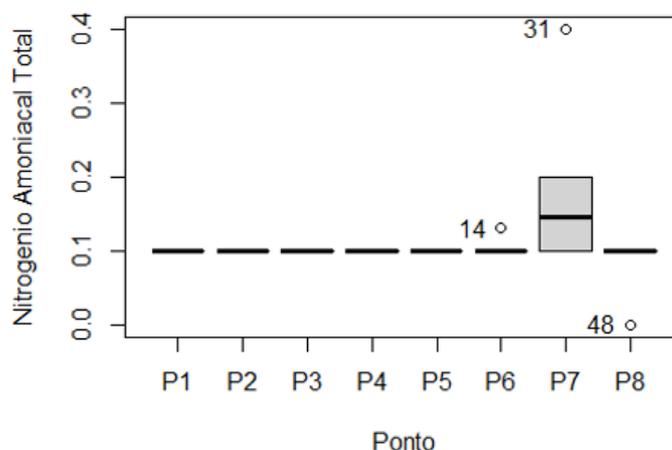
etanol, contêm nitrogênio na forma de amônia ( $\text{NH}_4^+$ ), que pode impactar o solo e as águas ao ser aplicado como fertilizante. A Tabela 1 apresenta ANOVA e *Shapiro Wilk Test*, agrupando pelos pontos para o nitrogênio amoniacal.

**Tabela 19-** Análise de Variância e *Shapiro Wilk Test*, agrupando pelos Pontos:  
Nitrogênio Amoniacal

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Médias	0.10000	0.10000	0.10000	0.10000	0.10000	0.10375	0.17375	0.08750
Desvio Padrão	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.010606	0.10322	0.03535
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)				
	0.040650	7	3.8657	0.001694				
W =	0.31624	p-value = 1.06e-15						

**Fonte:** Autor (2024)

Há evidências estatísticas, conforme mostra a Tabela 19, de que os dados não seguem uma distribuição normal. Apesar de apresentar uma grande quantidade de nitrogênio em sua composição, para o nitrogênio amoniacal, os valores obtidos na análise de variância mostraram-se uniformes, destoando o ponto P7 = 0.17375 mg/L em relação à testemunha, como apresenta a Figura 17, no entanto, esse valor é inferior do referido pela SEMADESC, mas dentro do estabelecido pela CONAMA nº 357/2005.

**Figura 17-** Boxplot estações de chuva e seca nitrogênio amoniacal.

**Fonte:** Autor (2024)

A concentração de nitrogênio amoniacal em águas superficiais varia consideravelmente entre os períodos de chuva e seca, devido às mudanças nos processos de escoamento, lixiviação e volatilização. Essas variações sazonais são importantes para o planejamento agrícola e o manejo de resíduos, como a vinhaça, para evitar a contaminação das águas superficiais e os efeitos prejudiciais da eutrofização. Brunini *et al.* (2017) ressaltaram que Áreas de Preservação Permanente (APPs), próximas a áreas cultivadas com cana-de-açúcar, apresentaram alto teor de nitrogênio, sugerindo que o processo produtivo do local estaria afetando a qualidade da água desses ambientes mesmo estando protegidos por mata ciliar. Em relação à sazonalidade, o nitrogênio amoniacal não apresentou variação significativa, como mostra a Tabela 20. .

**Tabela 20-** ANOVA estações de chuva e seca nitrogênio amoniacal

	Chuva	Seca		
Médias	0.10000	0.11625		
Desvio Padrão	0.00000000	0.06235952		
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
	0.004225	1	2.173	0.1455

**Fonte:** Autor (2024)

- pH

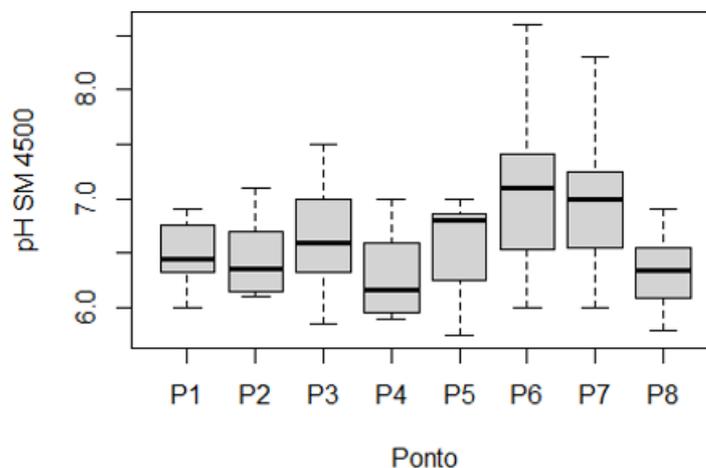
A vinhaça assim como seu lodo, têm pH ácido, elevada carga de matéria orgânica, alta concentração de macro e micronutrientes, principalmente potássio e nitrogênio (Rolim *et al.*, 2013), O pH do lodo de vinhaça pode impactar tanto a água quanto o solo, principalmente por sua natureza moderadamente ácida, o que influencia na acidificação do solo, na disponibilidade e mobilidade de metais, entre outros aspectos. A análise de variância para o pH apresentou diferença significativa.

**Tabela 21-** Análise de Variância e *Shapiro Wilk Test* agrupando pelos Pontos: pH

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Médias	6.49500	6.45125	6.65000	6.29125	6.57250	7.08750	6.98750	6.33375
Desvio Padrão	0.29914	0.36937	0.51616	0.43672	0.44002	0.78835	0.68751	0.35684
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)				
	4.7188	7	2.5702	0.02274				
W =	0.9277	p-value = 0.001059						

**Fonte:** Autor (2024)

O pH influencia diretamente na disponibilidade e na solubilidade do cromo. Dessa forma, a aplicação contínua deste lodo no solo pode, ao longo do tempo, aumentar a concentração de cromo no solo e, por consequência, facilitar seu transporte para as águas superficiais. A Figura 18 mostra a ANOVA dos pontos para o pH, tendo o P6 e P7 apresentado os maiores níveis, com 7.0875 e 6.9875, respectivamente.

**Figura 18-** Boxplot estações de chuva e seca pH.

**Fonte:** Autor (2024)

Avaliando as estações de chuva e seca, como mostra a Tabela 23, nota-se, pouco variaram as médias dos níveis do pH. No entanto, ao comparar com as diretrizes da SEMADESC, o valor do pH se situa acima do recomendado, de 4.06, porém ainda dentro do limite estabelecido pela CONAMA nº 357/2005. Desta forma, o pH do solo e da água deve ser monitorado regularmente nas áreas onde o lodo de vinhaça é aplicado.

**Tabela 22-** ANOVA estações de chuva e seca pH

	Chuva	Seca		
Médias	6.789062	6.428125		
Desvio Padrão	0.6081774	0.4346184		
ANOVA	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
	2.0844	1	7.4607	0.008202

**Fonte:** Autor (2024)

Avaliando as médias e seus valores máximos e mínimos dos parâmetros supracitados, constatou-se que, na grande maioria, houve redução de teores para estes elementos com a aplicação do lodo de vinhaça, como visto na Tabela 23. . Dessa forma, verifica-se que a aplicação do lodo, até o presente trabalho, não tem interferido de modo a impactar as regiões de aplicação, porém os pontos P6 e P7 merecem atenção devido aos altos níveis contrastando em sua maior parte com os demais.

**Tabela 23-** Comparação entre grupos sem aplicação e com aplicação de lodo de vinhaça.

<b>SEM APLICAÇÃO</b>	<b>mean</b>	<b>sd</b>	<b>median</b>	<b>min</b>	<b>max</b>
Turbidez	9.7650	14.1707	5.7500	1.3000	7.750e+01
Cálcio	1.4510	1.2214	1.2165	0.0100	3.945e+00
Condutividade Elétrica	16.5275	12.4042	11.1000	4.2000	3.880e+01
Cromo Total	0.0079	0.0067	0.0050	0.0050	2.500e-02
Ferro dissolvido	0.1859	0.1126	0.1755	0.0130	6.050e-01
Magnésio	0.6582	0.5675	0.4945	0.0050	1.772e+00
Manganês	0.0179	0.0166	0.0150	0.0010	9.100e-02
Nitrogênio.amoniacal.total	0.1130	0.0560	0.1000	0.0000	4.000e-01
pH.SM.4500	6.6545	0.6317	6.6500	5.7500	8.600e+00
<b>COM APLICAÇÃO</b>	<b>mean</b>	<b>sd</b>	<b>median</b>	<b>min</b>	<b>max</b>
Turbidez	7.9542	2.8407	7.2500	4.5000	12.8000
Cálcio	0.8865	0.5583	0.8960	0.0100	2.1290
Condutividade. Elétrica	12.1833	10.0135	10.2500	5.8000	58.1000
Cromo. Total	0.0076	0.0066	0.0050	0.0050	0.0250
Ferro.dissolvido	0.1415	0.0728	0.1320	0.0390	0.3020
Magnésio	0.3497	0.1833	0.3880	0.0050	0.6600
Manganês	0.0137	0.0180	0.0100	0.0010	0.0900
Nitrogênio.amoniacal.total	0.1000	0.0000	0.1000	0.1000	0.1000
pH.SM.4500	6.5321	0.3968	6.4500	5.8500	7.5000

**Fonte:** Autor (2024)

#### 4.4 Conclusão

A análise química do lodo indicou presença de nutrientes e compostos que, se não geridos adequadamente, podem causar impactos negativos significativos nos recursos hídricos. As verificações realizadas e os cálculos estatísticos mostraram que ainda não há alterações significativas durante a série histórica analisada do lodo de vinhaça nos pontos de aplicação. Contudo, implementar medidas mitigadoras e seguir rigorosamente as diretrizes da norma estadual SEMADESC 01/2023 do Mato Grosso do Sul é essencial para proteger esses recursos.

#### 4.5 Referências bibliográficas

ANA - Agência Nacional de Águas - **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%A7amento%20de%20esgotos%20dom%C3%A9sticos>. Acesso em: 23 out. 2024.

AMBDATA. Disponível em: [https://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa\\_solos.php](https://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php). Acesso em: 8 jul. 2024.

BRASIL., Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005

BRASIL., Resolução Nº 498, de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 161, p. 265-269, 21 ago. 2020. Seção 1.

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.

CANELLAS, L. P. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 935-944, 2003.

CARDOSO, E. **Impactos da aplicação da vinhaça por longo período em solos de textura argilosa e arenosa**. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2021.

**CETESB. Norma Técnica P4.231 - Vinhaça** – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo, 2015.

CONAB. Produção de cana-de-açúcar deve crescer 4,4% na safra 2023/24, estimada em 637,1 milhões de toneladas. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4982-producao-de-cana-de-acucar-deve-crescer-4-4-na-safra-2023-24-estimada-em-637-1-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 24 jan. 2024.

DA SILVA, Rafael Oliveira; EL ROBRINI, Maamar; DE FREITAS, Margarida Pereira. INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE CHUVAS E DE REJEITOS DE EFLUENTES NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO IGARAPÉ SANTOS (TUCURUÍ-SUDESTE PARAENSE/AMAZÔNIA ORIENTAL). **Boletim Paulista de Geografia**, v. 109, n. 1, p. 188-212, 2023.

DE AZEVEDO, Julio Henrichs; CAMPOS, José Elói Guimarães; BOAVENTURA, Geraldo Resende. Influência dos fatores geológicos e hidrogeológicos na estabilidade química das águas freáticas no sul do estado do Tocantins. **Geosciences= Geociências**, v. 33, n. 1, p. 73-88, 2014.

FIALHO, M. L. 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.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203 p.

FROTA, Thalyson Oriel Sousa da. **Influência da sazonalidade e de ações antrópicas na qualidade da água: um estudo de caso**. 2023.

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>.

GLÓRIA, L.; HORN, B.; HILGEMANN, M. Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta Índice de Qualidade da Água - IQA. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 14, 8 jun. 2017.

GLÓRIA, N. A.; ORLANDO FILHO, J. **Aplicação de vinhaça como fertilizante**. São Paulo: Coopersucar, 1983.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em :[ [https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ms/costa-rica.html#:~:text=Costa%20Rica%20\\*%204.159%2C384%20km%2%B2%20\[2022\]%20\\*,227.689.161%2C00%20R\\$%20\[2023\]%20\\*%2097.722%2C89%20R\\$%20\[2021\]](https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ms/costa-rica.html#:~:text=Costa%20Rica%20*%204.159%2C384%20km%2%B2%20[2022]%20*,227.689.161%2C00%20R$%20[2023]%20*%2097.722%2C89%20R$%20[2021]) ]. Acesso em 06 junho 2024.

KER, J. C. Latossolos no Brasil: uma revisão. **Geonomos**, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

LIMA, A. F.; SANTOS JUNIOR, A. C.; MARTINS, L. C.; SARROUH, B.; LOFRANO, R. C. Z. Revisão sobre a toxicidade e impactos ambientais relacionados à vinhaça, efluente da indústria sucroalcooleira. **Cadernos UniFOA**, v. 11, n. 32, p. 27-34, 2016.

LODI, P. Degradação polimérica de membrana impermeabilizante de polietileno de alta densidade usada em tanques de armazenamento de vinhaça. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, 1 jan. 2013.

MARAFON, R.; JUNIOR, R. M.; VASCONCELOS, P. E. A. O hidrogênio verde como alternativa para a transição energética e a importância do Brasil neste cenário. **Revista Direito das Políticas Públicas**, v. 5, n. 1, 2023.

MATAVELI, Lidiane Raquel Verola et al. Avaliação dos níveis de Cromo total em águas para consumo humano. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 77, p. 1-11, 2018.

**MATO GROSSO DO SUL**. Resolução **SEMADESC n. 001** de 02 de janeiro de 2023 - Critérios e procedimentos para armazenamento, a distribuição e a aplicação no solo agrícola, da vinhaça in natura e de águas residuais geradas a partir do processamento da cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso do Sul. 2023.

MONTOVANI, Camila Pereira. **Condutividade elétrica e cloretos como indicador da qualidade de água**. 2021. Tese de Doutorado. [sn].

MOLIN, José P.; RABELLO, Ladislau M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 90-101, 2011.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

OLIVEIRA, Dalila Kênia; SILVA, Larissa Queiroz; BRITO, Núbia Natália de. Monitoramento de trihalometanos (thms) e da qualidade da água para abastecimento público da cidade de Cavalcante, Goiás. **Química Nova**, v. 47, n. 4, p. e-20230116, 2024.

PAGANINI, E.R. MANZINI, F.F. PLICAS, L.M.A. Comportamento da concentração do metal manganês no solo de acordo com a sazonalidade. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 8, p. 42-56, 2015.

PEYTON, D., Peyton, D., Healy, M., Fleming, G., Grant, J., Wall, D., Morrison, L., Cormican, M., & Fenton, O. (2016). Perda de nutrientes, metais e micróbios no escoamento superficial após aplicação de lodo tratado e chorume de gado leiteiro em um solo de pastagem irlandesa. **The Science of the total environment** , 541, 218-229 . <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.053> .

PRINCHAK, T. C. **Síntese e caracterização do complexo de ferro com o pesticida carbendazim, um ligante de importância ambiental**. 2022. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Química Industrial, Universidade Federal de São Paulo, Diadema, 2022.

ROSSETTO, A. J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira. In: PARANHOS, S. B. (Ed.). *Cana-de-açúcar: Cultivo e Utilização*. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v. 2, p. 435-504.

ROLIM, Mário M. et al. Influência de uma lagoa de distribuição de vinhaça na qualidade da água freática. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, p. 155-171, 2013.

SILVA, J. L. D. **Desenvolvimento de detectores nanoestruturados de óxidos metálicos em grafeno para detecção eletroquímica de aminoácidos em vinhaça de cana-de-açúcar utilizando cromatografia líquida de alta eficiência**. 2017. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017.

SHIKIDA, Pery Francisco Assis; BACHA, Carlos José Caetano. Aspectos econômicos da geração de tecnologia e a utilização dos principais produtos e subprodutos da agroindústria canavieira do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 36, n. 2, p. 9-30, 2019.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; MARTINS, E. D. S.; CORREIA, J. R.; CUNHA, T. J. F. Solos areno-quartzosos no Cerrado: problemas, características e limitações ao uso. EMBRAPA, Planaltina, DF, 1999.

TEIXEIRA, S., MELO, W., & SILVA, É. (2005). Metais pesados em solo degradado tratado com lodo de estação de tratamento de água. **Scientia Agricola** , 62, 498-501. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000500016> .

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.

ZAWADZKI, P., & Głodniok, M. (2020). Avaliação de segurança ambiental de produtos fertilizantes. **Polish Journal of Environmental Studies** , 30, 11-22. <https://doi.org/10.15244/pjoes/120519> .

## APÊNDICE

Teste de Normalidade. Teste de Dunn para as variáveis não normais

```
# Turbidez
#Normalidade
shapiro.test(y)

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: y
## W = 0.46737, p-value = 7.138e-14

#Teste de Dunn com correção de Bonferroni
dunnTest(y~x,data=dados, method="bonferroni")

## Warning: x was coerced to a factor.

## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison

## p-values adjusted with the Bonferroni method.

##      Comparison          Z      P.unadj      P.adj
## 1      P1 - P2  0.161155365  0.8719710351  1.00000000
## 2      P1 - P3  0.154440558  0.8772623765  1.00000000
## 3      P2 - P3 -0.006714807  0.9946423995  1.00000000
## 4      P1 - P4  2.806789274  0.0050037963  0.14010630
## 5      P2 - P4  2.645633909  0.0081538007  0.22830642
## 6      P3 - P4  2.652348716  0.0079933940  0.22381503
## 7      P1 - P5  0.906498928  0.3646718320  1.00000000
## 8      P2 - P5  0.745343563  0.4560640522  1.00000000
## 9      P3 - P5  0.752058370  0.4520159575  1.00000000
## 10     P4 - P5 -1.900290346  0.0573950276  1.00000000
## 11     P1 - P6  0.510325322  0.6098235651  1.00000000
## 12     P2 - P6  0.349169957  0.7269617189  1.00000000
## 13     P3 - P6  0.355884764  0.7219268661  1.00000000
## 14     P4 - P6 -2.296463951  0.0216493681  0.60618231
## 15     P5 - P6 -0.396173606  0.6919769614  1.00000000
## 16     P1 - P7 -0.940072962  0.3471801364  1.00000000
## 17     P2 - P7 -1.101228327  0.2707972958  1.00000000
## 18     P3 - P7 -1.094513521  0.2737298208  1.00000000
## 19     P4 - P7 -3.746862236  0.0001790604  0.00501369
## 20     P5 - P7 -1.846571891  0.0648092113  1.00000000
## 21     P6 - P7 -1.450398285  0.1469474851  1.00000000
## 22     P1 - P8  1.718990560  0.0856160908  1.00000000
## 23     P2 - P8  1.557835195  0.1192723206  1.00000000
## 24     P3 - P8  1.564550002  0.1176884600  1.00000000
## 25     P4 - P8 -1.087798714  0.2766839775  1.00000000
```

```
## 26 P5 - P8 0.812491632 0.4165095863 1.00000000
## 27 P6 - P8 1.208665237 0.2267914820 1.00000000
## 28 P7 - P8 2.659063522 0.0078358188 0.21940293
```

```
# Cálcio
```

```
#Normalidade
```

```
shapiro.test(y)
```

```
##
```

```
## Shapiro-Wilk normality test
```

```
##
```

```
## data: y
```

```
## W = 0.89505, p-value = 5.235e-05
```

```
#Test de Dunn com correção de Bonferroni
```

```
dunnTest(y~x,data=dados, method="bonferroni")
```

```
## Warning: x was coerced to a factor.
```

```
## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
```

```
## p-values adjusted with the Bonferroni method.
```

##	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
## 1	P1 - P2	0.2083213	8.349781e-01	1.0000000000
## 2	P1 - P3	-0.7929649	4.277983e-01	1.0000000000
## 3	P2 - P3	-1.0012862	3.166885e-01	1.0000000000
## 4	P1 - P4	1.2835280	1.993072e-01	1.0000000000
## 5	P2 - P4	1.0752067	2.822822e-01	1.0000000000
## 6	P3 - P4	2.0764929	3.784839e-02	1.0000000000
## 7	P1 - P5	-0.3494422	7.267574e-01	1.0000000000
## 8	P2 - P5	-0.5577635	5.770059e-01	1.0000000000
## 9	P3 - P5	0.4435227	6.573877e-01	1.0000000000
## 10	P4 - P5	-1.6329701	1.024753e-01	1.0000000000
## 11	P1 - P6	-2.9635384	3.041242e-03	0.0851547631
## 12	P2 - P6	-3.1718597	1.514662e-03	0.0424105329
## 13	P3 - P6	-2.1705734	2.996343e-02	0.8389760698
## 14	P4 - P6	-4.2470663	2.165879e-05	0.0006064460
## 15	P5 - P6	-2.6140962	8.946384e-03	0.2504987633
## 16	P1 - P7	-3.1651396	1.550086e-03	0.0434023957
## 17	P2 - P7	-3.3734609	7.422959e-04	0.0207842847
## 18	P3 - P7	-2.3721747	1.768373e-02	0.4951443666
## 19	P4 - P7	-4.4486676	8.640463e-06	0.0002419330
## 20	P5 - P7	-2.8156974	4.867148e-03	0.1362801419
## 21	P6 - P7	-0.2016012	8.402285e-01	1.0000000000
## 22	P1 - P8	1.1020868	2.704239e-01	1.0000000000
## 23	P2 - P8	0.8937655	3.714474e-01	1.0000000000
## 24	P3 - P8	1.8950517	5.808555e-02	1.0000000000
## 25	P4 - P8	-0.1814411	8.560213e-01	1.0000000000
## 26	P5 - P8	1.4515290	1.466326e-01	1.0000000000
## 27	P6 - P8	4.0656252	4.790387e-05	0.0013413084
## 28	P7 - P8	4.2672264	1.979182e-05	0.0005541711

```
# Condutividade Elétrica
```

```
#Normalidade
```

```
shapiro.test(y)
```

```

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: y
## W = 0.78379, p-value = 2.617e-08

#Test de Dunn com correção de Bonferroni
dunnTest(y~x,data=dados, method="bonferroni")

## Warning: x was coerced to a factor.

## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
## p-values adjusted with the Bonferroni method.

## Comparison Z P.unadj P.adj
## 1 P1 - P2 -1.5512092 1.208516e-01 1.000000e+00
## 2 P1 - P3 -1.8533928 6.382608e-02 1.000000e+00
## 3 P2 - P3 -0.3021836 7.625121e-01 1.000000e+00
## 4 P1 - P4 1.1147218 2.649697e-01 1.000000e+00
## 5 P2 - P4 2.6659310 7.677546e-03 2.149713e-01
## 6 P3 - P4 2.9681146 2.996326e-03 8.389713e-02
## 7 P1 - P5 -1.6653675 9.583947e-02 1.000000e+00
## 8 P2 - P5 -0.1141583 9.091123e-01 1.000000e+00
## 9 P3 - P5 0.1880254 8.508568e-01 1.000000e+00
## 10 P4 - P5 -2.7800892 5.434396e-03 1.521631e-01
## 11 P1 - P6 -3.4986147 4.676819e-04 1.309509e-02
## 12 P2 - P6 -1.9474055 5.148614e-02 1.000000e+00
## 13 P3 - P6 -1.6452219 9.992406e-02 1.000000e+00
## 14 P4 - P6 -4.6133365 3.962561e-06 1.109517e-04
## 15 P5 - P6 -1.8332472 6.676581e-02 1.000000e+00
## 16 P1 - P7 -3.8075135 1.403711e-04 3.930390e-03
## 17 P2 - P7 -2.2563043 2.405158e-02 6.734442e-01
## 18 P3 - P7 -1.9541207 5.068695e-02 1.000000e+00
## 19 P4 - P7 -4.9222353 8.556126e-07 2.395715e-05
## 20 P5 - P7 -2.1421460 3.218173e-02 9.010885e-01
## 21 P6 - P7 -0.3088988 7.573985e-01 1.000000e+00
## 22 P1 - P8 1.2691712 2.043800e-01 1.000000e+00
## 23 P2 - P8 2.8203804 4.796675e-03 1.343069e-01
## 24 P3 - P8 3.1225640 1.792831e-03 5.019928e-02
## 25 P4 - P8 0.1544494 8.772554e-01 1.000000e+00
## 26 P5 - P8 2.9345386 3.340440e-03 9.353231e-02
## 27 P6 - P8 4.7677859 1.862616e-06 5.215325e-05
## 28 P7 - P8 5.0766847 3.840775e-07 1.075417e-05

# Ferro dissolvido
#Normalidade
shapiro.test(y)

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: y
## W = 0.9047, p-value = 0.0001208

```

```

#Test de Dunn com correção de Bonferroni
dunnTest(y~x,data=dados, method="bonferroni")

## Warning: x was coerced to a factor.

## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
## p-values adjusted with the Bonferroni method.

## Comparison Z P.unadj P.adj
## 1 P1 - P2 -1.168215879 0.2427196969 1.000000000
## 2 P1 - P3 -0.711671743 0.4766680697 1.000000000
## 3 P2 - P3 0.456544137 0.6479987398 1.000000000
## 4 P1 - P4 1.195071417 0.2320591285 1.000000000
## 5 P2 - P4 2.363287296 0.0181136214 0.507181398
## 6 P3 - P4 1.906743159 0.0565538551 1.000000000
## 7 P1 - P5 -2.168584649 0.0301142316 0.843198486
## 8 P2 - P5 -1.000368770 0.3171320776 1.000000000
## 9 P3 - P5 -1.456912907 0.1451404228 1.000000000
## 10 P4 - P5 -3.363656066 0.0007691733 0.021536853
## 11 P1 - P6 -2.215581840 0.0267201537 0.748164304
## 12 P2 - P6 -1.047365961 0.2949308248 1.000000000
## 13 P3 - P6 -1.503910097 0.1326045167 1.000000000
## 14 P4 - P6 -3.410653257 0.0006480745 0.018146086
## 15 P5 - P6 -0.046997191 0.9625154667 1.000000000
## 16 P1 - P7 -2.672125977 0.0075372347 0.211042570
## 17 P2 - P7 -1.503910097 0.1326045167 1.000000000
## 18 P3 - P7 -1.960454234 0.0499427222 1.000000000
## 19 P4 - P7 -3.867197393 0.0001100933 0.003082613
## 20 P5 - P7 -0.503541327 0.6145837319 1.000000000
## 21 P6 - P7 -0.456544137 0.6479987398 1.000000000
## 22 P1 - P8 -1.174929764 0.2400228168 1.000000000
## 23 P2 - P8 -0.006713884 0.9946431356 1.000000000
## 24 P3 - P8 -0.463258021 0.6431794319 1.000000000
## 25 P4 - P8 -2.370001180 0.0177880285 0.498064797
## 26 P5 - P8 0.993654886 0.3203909134 1.000000000
## 27 P6 - P8 1.040652076 0.2980370526 1.000000000
## 28 P7 - P8 1.497196213 0.1343422105 1.000000000

# Magnésio
#Normalidade
shapiro.test(y)

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: y
## W = 0.85096, p-value = 1.757e-06

#Test de Dunn com correção de Bonferroni
dunnTest(y~x,data=dados, method="bonferroni")

## Warning: x was coerced to a factor.

## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
## p-values adjusted with the Bonferroni method.

```

```

##      Comparison          Z      P.unadj      P.adj
## 1      P1 - P2 -0.3694075 7.118240e-01 1.0000000000
## 2      P1 - P3 -1.3298668 1.835622e-01 1.0000000000
## 3      P2 - P3 -0.9604594 3.368241e-01 1.0000000000
## 4      P1 - P4  1.0276244 3.041266e-01 1.0000000000
## 5      P2 - P4  1.3970318 1.624040e-01 1.0000000000
## 6      P3 - P4  2.3574912 1.839889e-02 0.5151689643
## 7      P1 - P5 -1.1485214 2.507534e-01 1.0000000000
## 8      P2 - P5 -0.7791139 4.359126e-01 1.0000000000
## 9      P3 - P5  0.1813455 8.560964e-01 1.0000000000
## 10     P4 - P5 -2.1761457 2.954437e-02 0.8272422537
## 11     P1 - P6 -3.4119816 6.449248e-04 0.0180578932
## 12     P2 - P6 -3.0425741 2.345641e-03 0.0656779347
## 13     P3 - P6 -2.0821147 3.733199e-02 1.0000000000
## 14     P4 - P6 -4.4396059 9.012375e-06 0.0002523465
## 15     P5 - P6 -2.2634602 2.360733e-02 0.6610053768
## 16     P1 - P7 -3.7478065 1.783878e-04 0.0049948577
## 17     P2 - P7 -3.3783991 7.290919e-04 0.0204145738
## 18     P3 - P7 -2.4179397 1.560866e-02 0.4370425831
## 19     P4 - P7 -4.7754309 1.793229e-06 0.0000502104
## 20     P5 - P7 -2.5992852 9.341813e-03 0.2615707716
## 21     P6 - P7 -0.3358250 7.370029e-01 1.0000000000
## 22     P1 - P8  0.8126964 4.163921e-01 1.0000000000
## 23     P2 - P8  1.1821038 2.371645e-01 1.0000000000
## 24     P3 - P8  2.1425632 3.214819e-02 0.9001492322
## 25     P4 - P8 -0.2149280 8.298235e-01 1.0000000000
## 26     P5 - P8  1.9612177 4.985363e-02 1.0000000000
## 27     P6 - P8  4.2246780 2.392827e-05 0.0006699916
## 28     P7 - P8  4.5605029 5.103125e-06 0.0001428875

```

```
# Manganês
```

```
#Normalidade
```

```
shapiro.test(y)
```

```
##
```

```
## Shapiro-Wilk normality test
```

```
##
```

```
## data: y
```

```
## W = 0.71813, p-value = 8.889e-10
```

```
#Test de Dunn com correção de Bonferroni
```

```
dunnTest(y~x,data=dados, method="bonferroni")
```

```
## Warning: x was coerced to a factor.
```

```
## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
```

```
## p-values adjusted with the Bonferroni method.
```

```

##      Comparison          Z      P.unadj      P.adj
## 1      P1 - P2 -1.16571328 2.437304e-01 1.0000000000
## 2      P1 - P3 -0.91639888 3.594577e-01 1.0000000000
## 3      P2 - P3  0.24931440 8.031176e-01 1.0000000000
## 4      P1 - P4  0.29648199 7.668620e-01 1.0000000000
## 5      P2 - P4  1.46219527 1.436877e-01 1.0000000000
## 6      P3 - P4  1.21288087 2.251754e-01 1.0000000000

```

```

## 7      P1 - P5 -1.77889194 7.525748e-02 1.0000000000
## 8      P2 - P5 -0.61317866 5.397582e-01 1.0000000000
## 9      P3 - P5 -0.86249306 3.884162e-01 1.0000000000
## 10     P4 - P5 -2.07537393 3.795189e-02 1.0000000000
## 11     P1 - P6 -1.87322712 6.103703e-02 1.0000000000
## 12     P2 - P6 -0.70751384 4.792472e-01 1.0000000000
## 13     P3 - P6 -0.95682824 3.386540e-01 1.0000000000
## 14     P4 - P6 -2.16970911 3.002889e-02 0.8408089048
## 15     P5 - P6 -0.09433518 9.248429e-01 1.0000000000
## 16     P1 - P7 -3.96207751 7.430041e-05 0.0020804115
## 17     P2 - P7 -2.79636423 5.168112e-03 0.1447071384
## 18     P3 - P7 -3.04567863 2.321558e-03 0.0650036327
## 19     P4 - P7 -4.25855950 2.057485e-05 0.0005760957
## 20     P5 - P7 -2.18318556 2.902215e-02 0.8126201269
## 21     P6 - P7 -2.08885039 3.672119e-02 1.0000000000
## 22     P1 - P8 -0.46493767 6.419761e-01 1.0000000000
## 23     P2 - P8  0.70077561 4.834431e-01 1.0000000000
## 24     P3 - P8  0.45146121 6.516572e-01 1.0000000000
## 25     P4 - P8 -0.76141966 4.464065e-01 1.0000000000
## 26     P5 - P8  1.31395427 1.888616e-01 1.0000000000
## 27     P6 - P8  1.40828945 1.590454e-01 1.0000000000
## 28     P7 - P8  3.49713984 4.702752e-04 0.0131677069

```

```
# Nitrogênio Amoniacal Total
```

```
#Normalidade
```

```
shapiro.test(y)
```

```
##
```

```
## Shapiro-Wilk normality test
```

```
##
```

```
## data: y
```

```
## W = 0.31624, p-value = 1.06e-15
```

```
#Test de Dunn com correção de Bonferroni
```

```
dunnTest(y~x,data=dados, method="bonferroni")
```

```
## Warning: x was coerced to a factor.
```

```
## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
```

```
## p-values adjusted with the Bonferroni method.
```

```
##      Comparison      Z      P.unadj      P.adj
## 1      P1 - P2  0.0000000 1.000000e+00 1.0000000000
## 2      P1 - P3  0.0000000 1.000000e+00 1.0000000000
## 3      P2 - P3  0.0000000 1.000000e+00 1.0000000000
## 4      P1 - P4  0.0000000 1.000000e+00 1.0000000000
## 5      P2 - P4  0.0000000 1.000000e+00 1.0000000000
## 6      P3 - P4  0.0000000 1.000000e+00 1.0000000000
## 7      P1 - P5  0.0000000 1.000000e+00 1.0000000000
## 8      P2 - P5  0.0000000 1.000000e+00 1.0000000000
## 9      P3 - P5  0.0000000 1.000000e+00 1.0000000000
## 10     P4 - P5  0.0000000 1.000000e+00 1.0000000000
## 11     P1 - P6 -0.7832866 4.334588e-01 1.0000000000
## 12     P2 - P6 -0.7832866 4.334588e-01 1.0000000000
## 13     P3 - P6 -0.7832866 4.334588e-01 1.0000000000

```

```
## 14 P4 - P6 -0.7832866 4.334588e-01 1.0000000000
## 15 P5 - P6 -0.7832866 4.334588e-01 1.0000000000
## 16 P1 - P7 -3.3986674 6.771501e-04 0.0189602034
## 17 P2 - P7 -3.3986674 6.771501e-04 0.0189602034
## 18 P3 - P7 -3.3986674 6.771501e-04 0.0189602034
## 19 P4 - P7 -3.3986674 6.771501e-04 0.0189602034
## 20 P5 - P7 -3.3986674 6.771501e-04 0.0189602034
## 21 P6 - P7 -2.6153808 8.912803e-03 0.2495584967
## 22 P1 - P8 0.7832866 4.334588e-01 1.0000000000
## 23 P2 - P8 0.7832866 4.334588e-01 1.0000000000
## 24 P3 - P8 0.7832866 4.334588e-01 1.0000000000
## 25 P4 - P8 0.7832866 4.334588e-01 1.0000000000
## 26 P5 - P8 0.7832866 4.334588e-01 1.0000000000
## 27 P6 - P8 1.5665732 1.172145e-01 1.0000000000
## 28 P7 - P8 4.1819540 2.890144e-05 0.0008092404
```

```
# pH SM 4500
```

```
#Normalidade
```

```
shapiro.test(y)
```

```
##
```

```
## Shapiro-Wilk normality test
```

```
##
```

```
## data: y
```

```
## W = 0.9277, p-value = 0.001059
```

```
#Test de Dunn com correção de Bonferroni
```

```
dunnTest(y~x,data=dados, method="bonferroni")
```

```
## Warning: x was coerced to a factor.
```

```
## Dunn (1964) Kruskal-Wallis multiple comparison
```

```
## p-values adjusted with the Bonferroni method.
```

##	Comparison	Z	P.unadj	P.adj
## 1	P1 - P2	0.2554759	0.798355571	1.0000000
## 2	P1 - P3	-0.5042287	0.614100668	1.0000000
## 3	P2 - P3	-0.7597046	0.447431186	1.0000000
## 4	P1 - P4	1.0084574	0.313234920	1.0000000
## 5	P2 - P4	0.7529815	0.451461008	1.0000000
## 6	P3 - P4	1.5126861	0.130359405	1.0000000
## 7	P1 - P5	-0.2756450	0.782820722	1.0000000
## 8	P2 - P5	-0.5311209	0.595334998	1.0000000
## 9	P3 - P5	0.2285837	0.819192509	1.0000000
## 10	P4 - P5	-1.2841024	0.199106113	1.0000000
## 11	P1 - P6	-1.6337010	0.102321645	1.0000000
## 12	P2 - P6	-1.8891769	0.058868130	1.0000000
## 13	P3 - P6	-1.1294723	0.258698645	1.0000000
## 14	P4 - P6	-2.6421584	0.008237951	0.2306626
## 15	P5 - P6	-1.3580560	0.174445919	1.0000000
## 16	P1 - P7	-1.5059631	0.132076653	1.0000000
## 17	P2 - P7	-1.7614390	0.078164136	1.0000000
## 18	P3 - P7	-1.0017344	0.316471903	1.0000000
## 19	P4 - P7	-2.5144205	0.011922818	0.3338389
## 20	P5 - P7	-1.2303180	0.218578028	1.0000000

## 21	P6 - P7	0.1277379	0.898356365	1.0000000
## 22	P1 - P8	0.8269351	0.408273858	1.0000000
## 23	P2 - P8	0.5714592	0.567688407	1.0000000
## 24	P3 - P8	1.3311638	0.183135123	1.0000000
## 25	P4 - P8	-0.1815223	0.855957603	1.0000000
## 26	P5 - P8	1.1025801	0.270209552	1.0000000
## 27	P6 - P8	2.4606361	0.013869096	0.3883347
## 28	P7 - P8	2.3328982	0.019653491	0.5502977