

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO - CÂMPUS RIO VERDE**

BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**ESTUDO DE CASO EM ÁREA COM FERTIRRIGAÇÃO DE
EFLUENTES DE INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA EM BATAGUASSU - MS**

Iago Felipe Araújo Palmeiras

Agosto/2025

Rio Verde/Goiás

Iago Felipe Araújo Palmeiras

ESTUDO DE CASO EM ÁREA COM FERTIRRIGAÇÃO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA EM BATAGUASSU - MS

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - câmpus Rio Verde, como parte das exigências da disciplina Trabalho de Curso II, do curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental.

Orientador: **Édio Damásio da Silva Junior**

Agosto/2025
Rio Verde/Goiás



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

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

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
☐ Dissertação (mestrado)
☐ Monografia (especialização)
☒ TCC (graduação)

- ☐ Artigo científico
☐ Capítulo de livro
☐ Livro
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Iago Felipe Araújo Palmeiras

Matrícula:

2016102200740640

Título do trabalho:

Estudo de caso em área com fertirrigação de efluentes de indústria alimentícia em Bataguassu - MS

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 05 / 09 / 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 inclusos 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

Local

03 / 09 / 2025

Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Regulamento de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – IF Goiano - Campus Rio Verde

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 02 dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco às 10:00 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Édio Damásio da Silva Junior (orientador), Prof. Lucas Peres Angelini (membro interno) e Prof. Rafael Marques Pereira Leal (membro interno), para examinar o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “Estudo de caso em área com fertirrigação de efluentes de indústria alimentícia em Bataguassu - MS” de Iago Felipe Araújo Palmeiras, estudante do curso de Engenharia Ambiental do IF Goiano – Campus Rio Verde, sob Matrícula nº 2016102200740640. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela **APROVAÇÃO** do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, após apresentação da versão corrigida do TC, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Rio Verde, 02 de setembro de 2025.

(Assinado eletronicamente)

Edio Damasio da Silva Junior

Orientador

(Assinado eletronicamente)

Rafael Marques Pereira Leal

Membro da Banca Examinadora

(Assinado eletronicamente)

Lucas Peres Angelini

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado eletronicamente por:

- **Edio Damasio da Silva Junior**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 02/09/2025 14:43:53.
- **Lucas Peres Angelini**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 02/09/2025 14:45:22.
- **Rafael Marques Pereira Leal**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 02/09/2025 15:29:02.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 02/09/2025. 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: 739545

Código de Autenticação: 9b8fbcd2bd



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

P172 Araújo Palmeiras, Iago Felipe
ESTUDO DE CASO EM ÁREA COM FERTIRRIGAÇÃO DE
EFLUENTES DE INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA EM
BATAGUASSU - MS / Iago Felipe Araújo Palmeiras. Rio Verde
2025.

37f. il.

Orientador: Prof. Me. Édio Damásio da Silva Júnior.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0220074 -
Bacharelado em Engenharia Ambiental - Integral - Rio Verde
(Campus Rio Verde).

I. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança para chegar até aqui e concluir mais esta etapa da minha vida.

Aos meus familiares, pelo amor, incentivo e apoio incondicional em todos os momentos, sendo minha base e inspiração.

Aos meus amigos, pela amizade, compreensão e companheirismo durante essa caminhada acadêmica, tornando o percurso mais leve e especial.

BIOGRAFIA

Iago Felipe Araújo Palmeiras, natural de Rio Verde Goiás, graduando em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Goiano. Durante sua trajetória acadêmica, demonstrou interesse especial pela área de consultoria ambiental, com foco em processos de outorga de recursos hídricos o qual culminou em estágios na área.

Participou ativamente do Centro Acadêmico de Engenharia Ambiental, contribuindo para a representação estudantil e o fortalecimento do curso. Teve também a oportunidade de expandir sua experiência acadêmica ao participar do Congresso ENEEAmb (Encontro Nacional dos Estudantes de Engenharia Ambiental e Sanitária), evento de grande relevância na área.

Seu Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado “Estudo de caso em área comparativa da aplicação de fertirrigação”, reflete sua dedicação em aprofundar os conhecimentos sobre o tema. Pretende seguir carreira na área de consultoria ambiental, com ênfase na gestão e regularização do uso de recursos hídricos.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	8
2	Revisão Bibliográfica	9
2.1	Efluentes Industriais e a Necessidade de Destinação Sustentável.....	9
2.1.1	A Geração de Efluentes como Desafio Global e o Papel da Indústria de Alimentos	9
2.1.2	Caracterização Físico-Química e Biológica dos Efluentes Alimentícios.....	10
2.1.3	Impactos Ambientais do Descarte Inadequado	11
2.2	A Fertirrigação como Alternativa Agronômica e Ambiental.....	12
2.2.1	Definição e Princípios da Fertirrigação com Efluentes	12
2.2.2	Vantagens Agronômicas: Eficiência Nutricional e Economia de Insumos.....	13
2.2.3	Benefícios Ambientais: Redução da Poluição e Fechamento de Ciclos de Nutrientes	14
2.3	Fatores Técnicos no Manejo da Fertirrigação com Efluentes.....	15
2.3.1	A Cultura Receptora: Potencial do Capim Tifton (<i>Cynodon spp.</i>).....	15
2.3.2	O Nitrogênio como Nutriente-Chave e Parâmetro Limitante..... Erro! Indicador não definido.	
2.3.3	A Importância Crítica do Monitoramento do Solo.....	17
2.4	Legislação Aplicada ao Reúso de Efluentes em Fertirrigação	18
2.4.1	A Resolução CONAMA N° 430/2011 como Marco Regulatório para Lançamento de Efluentes.....	18
2.4.2	A Resolução CONAMA N° 503/2021: Critérios Específicos para a Fertirrigação	18
2.4.3	Metodologias de Cálculo e Monitoramento Exigidas pela Legislação	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1	Sistema de Tratamento de Efluentes	21
3.2	Coleta e Análise de Solo e Efluente.....	22
3.2.1	Coleta de Solo.....	22

3.2.2	Análise de Efluente.....	Erro! Indicador não definido.
3.2.3	Equipamentos de Fertirrigação	23
3.2.4	Monitoramento	23
3.3	Análise de dados	24
3.3.1	Memorial de Cálculo.....	24
4.	Resultados	26
5.	Conclusão	32
	Referências	32

RESUMO

A fertirrigação com efluentes industriais tem sido apontada como alternativa sustentável para reciclagem de nutrientes e redução da dependência de fertilizantes minerais, mas seu uso exige monitoramento rigoroso para evitar riscos ambientais. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de efluentes sobre os atributos químicos do solo cultivado com capim Tifton 85, em comparação com uma área testemunha não fertirrigada. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0–30, 30–60 e 60–90 cm, em ambas as áreas, e realizadas análises de pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e Porcentagem de Sódio Trocável (PST). Os resultados evidenciaram que a área fertirrigada apresentou teores de fósforo muito elevados em todas as camadas, em desacordo com a Resolução CONAMA nº 430/2011, além de saturação de potássio na CTC acima do limite de 5% estabelecido pela CETESB. O sódio apresentou valores superiores em relação à área testemunha, refletidos em maiores valores de PST (até 3,9%), embora ainda dentro da faixa considerada segura (<5%). O solo das duas áreas foi classificado como arenoso, característica que aumenta a suscetibilidade à lixiviação de nutrientes. Conclui-se que a fertirrigação promove ganhos imediatos de fertilidade e pode aumentar a disponibilidade de nutrientes para o Tifton 85, mas apresenta riscos ambientais de médio e longo prazo, sobretudo pelo excesso de fósforo, pela saturação elevada de potássio e pela tendência de acúmulo de sódio. A sustentabilidade da prática depende do ajuste das taxas de aplicação conforme a Resolução CONAMA nº 503/2021, do monitoramento periódico de parâmetros críticos e da adoção de práticas corretivas de manejo.

Palavras-chave: Fertirrigação. Efluente agroindustrial. Análise de solo. Manejo de pastagem.

INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, os efluentes líquidos provenientes de diferentes sistemas produtivos têm se tornado uma das principais preocupações ambientais, especialmente em função das grandes quantidades de água utilizadas nos processos de produção, limpeza e higienização das instalações (Asgharnejad *et al.*, 2021). A crescente demanda por soluções que conciliem eficiência produtiva e redução de impactos ambientais representa um desafio constante para a indústria moderna.

A necessidade de destinar adequadamente os efluentes líquidos de indústrias e cidades em áreas seguras é um pilar para o desenvolvimento sustentável e a saúde pública. O lançamento inadequado desses resíduos em corpos hídricos pode causar a eutrofização, a contaminação por patógenos e a poluição química, comprometendo ecossistemas aquáticos e fontes de água potável (Jahan e Singh, 2023). Diante disso, a busca por alternativas que não apenas tratem, mas também valorizem esses efluentes, tornou-se uma prioridade ambiental, impulsionando a transição de um modelo linear de "usar e descartar" para um modelo de economia circular.

Nesse contexto, a indústria de processamento de carnes se destaca tanto por sua relevância econômica quanto pelo desafio que representa na gestão de seus resíduos. Os efluentes gerados por frigoríficos e abatedouros são caracterizados por uma elevada carga de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, o que lhes confere um alto potencial poluidor (De Souza; Siqueira, 2023). No entanto, essa mesma composição os torna uma valiosa fonte de nutrientes para a agricultura. A aplicação controlada desses efluentes no solo, através de técnicas como a fertirrigação, surge como uma solução de dupla vantagem: mitiga um passivo ambiental e o converte em um ativo agrônomo.

Diante disso, a fertirrigação se destaca como uma alternativa sustentável para o aproveitamento desses efluentes. Quando devidamente aplicada, essa técnica possibilita a destinação ambientalmente adequada do efluente tratado, ao mesmo tempo em que proporciona vantagens agrônômicas e econômicas ao produtor (Malliga *et al.*, 2023). Entre os benefícios estão a redução do uso de fertilizantes minerais, a aplicação de nutrientes em doses e momentos mais adequados às exigências das plantas, a diminuição do risco de contaminação ambiental e a otimização do uso de equipamentos, mão de obra e máquinas (Rashid, 2023).

O presente trabalho consiste em um estudo de caso realizado no município de Bataguassu - MS, que tem como objetivo avaliar a aplicação de fertirrigação em uma área de

pastagem. Especificamente, busca-se: (i) analisar a conformidade do sistema atual por meio da comparação entre os atributos do solo em uma área fertirrigada e em uma área testemunha; e (ii) realizar o dimensionamento técnico da área necessária para a correta disposição do efluente, considerando os parâmetros estabelecidos pela legislação vigente.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A crescente produção industrial e a necessidade de sustentabilidade agrícola definem um dos desafios mais complexos do século XXI. De um lado, a atividade industrial, especialmente no setor alimentício, gera grandes volumes de efluentes líquidos que representam um importante passivo ambiental. De outro, a agricultura enfrenta a pressão por maior produtividade em um cenário de finitos recursos hídricos e nutrientes. A transição da visão dos efluentes industriais como um problema de descarte para o seu reconhecimento como um recurso dentro de uma bioeconomia circular (isto é, usar recursos biológicos renováveis de forma inteligente e em ciclos fechados, transformando resíduos em novos produtos, energia ou insumos). A fertirrigação com efluentes tratados surge entre a união de tecnologia e sustentabilidade, na qual é possível enfrentar esses desafios. Ao transformar um potencial poluente em uma fonte controlada de água e nutrientes essenciais para as plantas, esta prática não apenas mitiga impactos ambientais, mas também promove a resiliência e a eficiência dos sistemas agrícolas, alinhando a produção industrial à conservação de recursos e à segurança alimentar.

1.1 EFLUENTES INDUSTRIAIS E A NECESSIDADE DE DESTINAÇÃO SUSTENTÁVEL

A gestão de resíduos líquidos industriais é uma importante questão para o desenvolvimento sustentável em escala global. A geração contínua de efluentes, se não manejada de forma adequada, impõe severos riscos aos ecossistemas, à saúde pública e à própria viabilidade das atividades produtivas (Jahan e Singh, 2023). Dentro deste contexto, a indústria de alimentos é um dos setores de maior relevância, tanto por sua importância econômica quanto pelo volume e pela complexidade dos efluentes que gera (Abdel-Fatah, 2023).

1.1.1 A Geração de Efluentes como Desafio Global e o Papel da Indústria de Alimentos

A indústria moderna é direta/indiretamente dependente do uso intensivo de água. Globalmente, o setor industrial responde por uma parcela da captação total de recursos hídricos, com a indústria de alimentos e bebidas sendo uma das maiores consumidoras (Asgharnejad *et al.*, 2021). A água é um insumo utilizado em praticamente todas as etapas do processamento de alimentos, desde a limpeza e sanitização de equipamentos, transporte de matérias-primas, incorporação direta ao produto, até processos de resfriamento, aquecimento e geração de vapor.

Esta grande demanda hídrica resulta, inevitavelmente, na geração de grandes volumes de águas residuais, tecnicamente denominadas efluentes industriais (Veolia, 2024). Nesse contexto, a gestão inadequada desses efluentes é um desafio que afeta o desenvolvimento urbano e o avanço industrial. A indústria de alimentos, em particular, é reconhecida como uma fonte primária de efluentes com elevado potencial poluidor, devido à natureza orgânica de suas matérias-primas e à intensidade de seus processos (Sharma e Kumar, 2021). Setores como laticínios, frigoríficos, abatedouros e processadores de óleos e gorduras são responsáveis pelo volume e pela carga poluidora de seus resíduos líquidos (Veolia, 2024).

1.1.2 Caracterização Físico-Química e Biológica dos Efluentes Alimentícios

Conforme a norma brasileira ABNT NBR 9800/1987, efluentes industriais são definidos como despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, o que inclui águas de lavagem, de produção e de operações de limpeza (Tera Ambienta, 2025). Estes se distinguem fundamentalmente do esgoto sanitário por suas características químicas, físicas e biológicas específicas, que são um reflexo direto do processo fabril.

A característica mais marcante dos efluentes da indústria alimentícia é sua elevada concentração de matéria orgânica. Esta carga orgânica é quantificada por parâmetros como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO), que tipicamente apresentam valores muito elevados nestes efluentes. A composição específica, no entanto, varia consideravelmente entre os subsetores:

- **Laticínios:** Os efluentes contêm resíduos de leite, proteínas, gorduras, açúcares (lactose), ácido láctico, além de produtos de limpeza e saneantes. Uma atenção especial deve ser dada ao soro do leite, um subproduto da fabricação de queijos que, devido à sua alta concentração de matéria orgânica, pode ser até 100 vezes mais poluente que o esgoto doméstico (Silva *et al.*, 2014)
- **Frigoríficos e Abatedouros:** Geram efluentes com grande carga de sangue, gordura, vísceras, esterco e fragmentos de tecidos. O sangue, em particular, é

um dos principais contribuintes para a elevada carga orgânica. Esses efluentes são putrescíveis e frequentemente contêm uma carga expressiva de microrganismos patogênicos (De Sousa e Siqueira, 2023).

- **Óleos e Gorduras Vegetais:** Os efluentes deste setor são ricos em proteínas, carboidratos, ácidos orgânicos e substâncias químicas utilizadas no processo de refino, como o hidróxido de sódio (Adetunji e Olaniran, 2021).

Além da matéria orgânica, esses efluentes são ricos em nutrientes essenciais para as plantas, como nitrogênio (N) e fósforo (P), bem como em sais, óleos e graxas (Equipe Agronômica, 2024). Esta composição revela um paradoxo fundamental: os mesmos componentes que tornam os efluentes perigosos para os ecossistemas aquáticos são, na verdade, insumos importantes para a agricultura. No entanto, o problema não está na composição do efluente, mas em sua destinação inadequada, transformando um recurso (nutrientes) em um poluente.

1.1.3 Impactos Ambientais do Descarte Inadequado

O lançamento de efluentes industriais sem tratamento adequado em corpos hídricos é uma das principais fontes de poluição da água, com consequências para o meio ambiente e a saúde pública (Veolia, 2024). Essa prática é coibida por legislações ambientais, como a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/10) que responsabiliza o gerador pela destinação ambientalmente correta de seus resíduos. Os principais impactos incluem:

- **Eutrofização:** Este é um dos impactos mais severos e disseminados. O excesso de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, presentes nos efluentes da indústria alimentícia, atua como um fertilizante para os corpos d'água, desencadeando uma proliferação descontrolada de algas e cianobactérias.¹⁰ Essa massa de algas, conhecida como "florações", forma uma camada espessa na superfície da água, bloqueando a penetração da luz solar e causando a morte de plantas aquáticas submersas. A decomposição aeróbia dessa vasta biomassa consome rapidamente o oxigênio dissolvido na água, criando zonas anóxicas ou hipóxicas — as chamadas "zonas mortas" — que levam à mortandade em massa de peixes e outros organismos aquáticos (Gadelha, 2022).
- **Contaminação do Solo e das Águas Subterrâneas:** O descarte inadequado em terra pode levar à infiltração de poluentes no perfil do solo, contaminando

aquíferos e lençóis freáticos, que são importantes fontes de água potável para muitas comunidades (Jain *et al.*, 2021).

- **Degradação da Qualidade da Água:** Além da eutrofização, o descarte de efluentes altera as características físicas e químicas da água, como pH, temperatura, cor e turbidez. A decomposição anaeróbia da matéria orgânica pode liberar gases de odor fétido, como o gás sulfídrico (H₂S). Substâncias tóxicas, como metais pesados, podem se acumular na cadeia alimentar, representando um risco para a vida selvagem e para os seres humanos que consomem peixes contaminados (Quddoos *et al.*, 2024).

1.2 A FERTIRRIGAÇÃO COMO ALTERNATIVA AGRONÔMICA E AMBIENTAL

Diante do grave problema ambiental representado pelos efluentes industriais, a fertirrigação emerge como uma solução tecnológica robusta e sustentável. A técnica reposiciona o efluente, de um resíduo a ser tratado e descartado para um recurso a ser valorizado, integrando a gestão de resíduos industriais ao ciclo produtivo agrícola de maneira sinérgica.

1.2.1 Definição e Princípios da Fertirrigação com Efluentes

A fertirrigação é definida como a técnica de aplicação de fertilizantes por meio da água de irrigação, que atua como veículo para distribuir os nutrientes no solo (Giordanni et al., 2018). Quando se utilizam efluentes industriais tratados, a prática supera a simples adubação, configurando-se como uma estratégia de dupla finalidade: (i) serve como método eficiente de nutrição de culturas e, simultaneamente, como (ii) uma forma de disposição final e tratamento complementar para as águas residuais.

Esse processo materializa os princípios da economia circular, transformando um passivo ambiental em um ativo agrícola (Brancalione, 2021). Os nutrientes e a matéria orgânica contidos no efluente são reciclados e reincorporados ao solo, enquanto a água é reaproveitada para irrigação, reduzindo a pressão sobre mananciais de água potável. A aplicação controlada do efluente no sistema solo-planta permite que os processos biogeoquímicos naturais (como os ciclos do carbono e do nitrogênio) promovam a depuração final da água, sendo a prática reconhecida como uma técnica de tratamento complementar por infiltração no solo, desde que conduzida com rigor técnico e acompanhamento profissional (EMBRAPA, 2022).

O sucesso da fertirrigação depende da escolha do sistema de irrigação adequado. Tecnologias de alta eficiência, como gotejamento e microaspersão, permitem aplicação localizada de água e nutrientes diretamente na zona radicular, reduzindo perdas por escoamento superficial ou percolação profunda (EMBRAPA, 2014). Entretanto, essas modalidades demandam água de melhor qualidade, com baixo teor de sólidos em suspensão, o que limita sua utilização direta com efluentes agroindustriais, a menos que estes passem por tratamento avançado para remoção de partículas. Por essa razão, o sistema de aspersão convencional é o mais empregado em fertirrigação com efluentes, pois apresenta maior tolerância à presença de sólidos, além de possibilitar distribuição uniforme em grandes áreas de pastagem.

Por outro lado, sistemas de baixa eficiência, como a irrigação por inundação, podem ampliar riscos ambientais. Ao aplicar volumes excessivos de efluente sobre a superfície do solo, o problema do descarte é apenas transferido de uma fonte pontual (o lançamento em corpo hídrico) para uma fonte difusa (a área irrigada), comprometendo a sustentabilidade da prática (EMBRAPA, 2014). Assim, a adoção de sistemas tecnicamente adequados, considerando tanto a eficiência agrônômica quanto a qualidade do efluente disponível, é essencial para garantir que a fertirrigação represente de fato uma solução ambientalmente segura e agronomicamente viável.

1.2.2 Vantagens Agrônômicas: Eficiência Nutricional e Economia de Insumos

São vários os benefícios agrônômicos da fertirrigação com efluentes, promovendo um modelo de agricultura mais eficiente e econômico.

- **Aplicação Precisa de Nutrientes:** A principal vantagem agrônômica está na capacidade de fornecer água e nutrientes de forma sincronizada com as necessidades da cultura. É possível aplicar a solução nutritiva em doses parceladas ao longo do ciclo fenológico (i.e., em plantas, seu desenvolvimento – germinação, crescimento vegetativo, florescimento, frutificação e maturação), garantindo que os nutrientes estejam disponíveis em quantidade e no momento certo em que a planta mais precisa. Isso representa um avanço em relação à adubação convencional em cobertura, que aplica grandes quantidades de fertilizantes de uma só vez, de forma menos precisa e sujeita a perdas (Revista Cultivar, 2020).
- **Economia de Fertilizantes e Custos Operacionais:** Ao aproveitar os nutrientes presentes no efluente, como nitrogênio, fósforo e potássio, a necessidade de

adquirir fertilizantes minerais sintéticos é reduzida ou, em alguns casos, eliminada, o que reduz os custos de produção. Adicionalmente, a integração da adubação com a irrigação elimina operações mecanizadas de aplicação de fertilizantes, reduzindo despesas com mão de obra, combustível e manutenção de maquinário (Revista Cultivar, 2020).

1.2.3 Benefícios Ambientais: Redução da Poluição e Fechamento de Ciclos de Nutrientes

Do ponto de vista ambiental, a fertirrigação com efluentes pode representar uma ferramenta de mitigação de impactos quando conduzida sob rigor técnico, mas também pode se configurar como prática insustentável e poluidora se aplicada de forma inadequada.

Entre os benefícios, destaca-se a prevenção da contaminação de corpos hídricos, uma vez que a destinação agrícola substitui o descarte direto em rios, lagos e reservatórios, reduzindo processos de eutrofização e degradação de ecossistemas aquáticos (Tera Ambienta, 2025). Outro aspecto positivo é a maior eficiência no uso de nutrientes: quando bem manejada, a aplicação parcelada e controlada aumenta a absorção pelas plantas e reduz perdas por lixiviação, atenuando a contaminação de águas subterrâneas por nitrato — um dos principais problemas da adubação nitrogenada convencional (Silva et al., 2005). Além disso, a prática promove a economia circular, ao devolver nutrientes da indústria para a agricultura, reduzir a dependência de fertilizantes minerais e aumentar a resiliência climática dos sistemas agrícolas pela oferta contínua de água e nutrientes.

No entanto, os aspectos negativos precisam ser igualmente considerados. Pesquisas de longo prazo mostram que aplicações sucessivas de efluentes podem levar ao acúmulo de sais e sódio, aumentando a condutividade elétrica (CE) e a Porcentagem de Sódio Trocável (PST) a níveis prejudiciais à estrutura física do solo, resultando em dispersão de argilas, compactação e perda de permeabilidade (CETESB, 2015; EMBRAPA, 2014). O excesso de fósforo no solo, comum em áreas fertirrigadas por muitos anos, pode ultrapassar a capacidade de retenção do sistema, favorecendo a perda por erosão e o transporte para cursos d'água, agravando a eutrofização. A saturação por potássio acima de limites críticos também traz riscos de desequilíbrio nutricional e lixiviação em solos arenosos, com implicações ambientais e agronômicas.

Além disso, a qualidade variável dos efluentes pode trazer riscos microbiológicos e químicos. Microrganismos patogênicos e metais traço, quando presentes em concentrações elevadas, representam potenciais ameaças à saúde humana, animal e ao ambiente. Sistemas de irrigação de alta eficiência, como gotejo e microaspersão, embora tecnicamente desejáveis, têm

restrições para efluentes devido ao risco de entupimento por sólidos suspensos, o que frequentemente leva à utilização da aspersão convencional como sistema predominante — mas esta, por sua vez, aumenta a possibilidade de contato direto do efluente com a parte aérea das plantas e de perdas por deriva.

Portanto, a fertirrigação com efluentes deve ser entendida como prática de duplo potencial: pode ser ferramenta de sustentabilidade se conduzida sob critérios técnicos, legais e de monitoramento, mas também pode gerar impactos ambientais severos quando manejada sem controle. O equilíbrio entre benefícios e riscos depende da qualidade do efluente, da escolha do sistema de irrigação, do cálculo da taxa de aplicação e do acompanhamento contínuo da fertilidade e salinidade do solo.

1.3 FATORES TÉCNICOS NO MANEJO DA FERTIRRIGAÇÃO COM EFLUENTES

A transição da fertirrigação de um conceito promissor para uma prática sustentável e segura depende de um manejo técnico criterioso, fundamentado em conhecimentos de agronomia, química do solo e engenharia ambiental. A viabilidade do sistema não reside apenas na aplicação do efluente, mas na gestão integrada de um sistema biogeoquímico, onde o solo, a planta e o efluente interagem. O sucesso da operação depende da seleção adequada da cultura receptora, do controle rigoroso da taxa de aplicação baseada em nutrientes limitantes e do monitoramento contínuo das condições do solo.

1.3.1 A Cultura Receptora: Potencial do Capim Tifton (*Cynodon spp.*)

A escolha da cultura é um dos pilares para o sucesso da fertirrigação com efluentes. A planta ideal deve funcionar como um "biofiltro" eficiente, possuindo alta capacidade de absorção de água e nutrientes, elevada taxa de produção de biomassa e tolerância às características físico-químicas do efluente, como a salinidade (Collares *et al.*, 2021; PARDE *et al.*, 2021).

Neste contexto, as gramíneas forrageiras do gênero *Cynodon*, com destaque para o híbrido Tifton 85, são consideradas culturas adequadas para este fim.⁴⁶ Suas principais características favoráveis incluem:

- **Elevada Produtividade de Biomassa:** O capim-tifton 85 é conhecido por seu crescimento vigoroso e pela alta produção de matéria seca (MS), o que permite a aplicação de grandes volumes de efluente e, conseqüentemente, a remoção de grandes quantidades de nutrientes do sistema através da colheita da forragem (Collares *et al.*, 2021).

- **Alta Capacidade de Extração de Nutrientes:** Esta gramínea responde à adubação, especialmente a nitrogenada, demonstrando uma capacidade de absorver e converter nutrientes em massa vegetal. Essa característica é fundamental para "limpar" o efluente, absorvendo (fitorremediação) o nitrogênio e outros elementos em seus tecidos e evitando que se dispersem para o ambiente (PARDE *et al.*, 2021).
- **Robustez e Resiliência Agronômica:** Sendo uma cultura perene, o capim-tifton 85 oferece cobertura contínua ao solo, protegendo-o da erosão. Além disso, apresenta boa resistência à seca, a pragas e a cortes frequentes, o que o torna uma opção de baixo risco e alta confiabilidade para sistemas de longo prazo (PARDE *et al.*, 2021).

Ensaio de longo prazo demonstram que a fertirrigação com dejetos suínos, ao longo de oito anos, resultou em alta produtividade de forragem, mas também em acúmulo excessivo de cobre, zinco e fósforo no solo, evidenciando riscos ambientais cumulativos (SARTO *et al.*, 2019). Em estudos com águas residuárias de laticínios, observou-se aumento significativo da produtividade de Tifton 85 sem efeitos negativos imediatos sobre a microbiota do solo, embora os autores ressaltem a importância do controle de doses para evitar perdas por lixiviação (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Pesquisas mais recentes com wetlands horizontais mostraram que o Tifton 85 pode atingir produtividades superiores a 50 t ha⁻¹, funcionando como biofiltro eficiente para remover N, P e K dos efluentes (DE OLIVEIRA *et al.*, 2021; TEIXEIRA *et al.*, 2021). Por outro lado, experimentos com reúso de águas residuárias urbanas e da bovinocultura apontam que, embora haja incremento de biomassa e melhoria na qualidade nutricional da forragem, há também tendência de aumento da salinidade do solo e da saturação por sódio, sobretudo em solos de textura mais arenosa (LICATA *et al.*, 2022; SÉRVULO *et al.*, 2024). Esses resultados reforçam o duplo potencial da prática: ganhos produtivos e ambientais quando bem manejada, mas riscos significativos de degradação do solo e da água se conduzida sem monitoramento adequado.

O nitrogênio (N) desempenha um papel duplo e central no manejo da fertirrigação com efluentes da indústria alimentícia (Pereira *et al.*, 2011). Por um lado, é (i) o nutriente mais requerido em quantidade pelas gramíneas de alta produção e o principal fator que impulsiona o crescimento vegetativo e o teor de proteína da forragem. Por outro lado, (ii) devido sua abundância no efluente e sua mobilidade no solo que o nitrogênio se torna o parâmetro agrônomo e ambiental limitante.

A taxa máxima de aplicação de efluente (lâmina anual) deve ser calculada com base na capacidade da cultura de absorver o nitrogênio total aplicado. Exceder essa capacidade de absorção causa grandes riscos ambientais (Fertisystem, 2025). O nitrogênio não utilizado pela planta, especialmente na forma de nitrato (NO_3^-), é solúvel e não se liga fortemente às partículas do solo. Consequentemente, ele é facilmente lixiviado pelas chuvas ou pelo excesso de irrigação, percolando através do perfil do solo até atingir as águas subterrâneas (Veloso, 2006). A contaminação de aquíferos por nitrato é um problema de saúde pública, pois altas concentrações na água potável podem causar metahemoglobinemia em bebês e estão associadas a outros riscos à saúde. Portanto, o balanço de nitrogênio é a pedra angular do manejo sustentável da fertirrigação.

1.3.2 A Importância Crítica do Monitoramento do Solo

A aplicação contínua de efluentes, mesmo que tratados, introduz no solo não apenas nutrientes, mas também sais e outros constituintes que podem, ao longo do tempo, alterar suas propriedades físicas e químicas. Por essa razão, um programa de monitoramento do solo não é uma mera recomendação, mas uma condição indispensável para garantir a sustentabilidade da prática a longo prazo. O monitoramento deve focar em vários riscos, incluindo: a salinização e a sodificação (Cerqueira *et al.*, 2016).

- **Salinidade:** A interpretação da salinidade do solo é feita a partir da condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação. Valores abaixo de 2,0 dS/m indicam solos não salinos, enquanto concentrações superiores a 4,0 dS/m são consideradas críticas, com elevado risco de prejuízo à maioria das culturas (EMBRAPA, 2014; CETESB, 2015).
- **Sodificação:** Do mesmo modo, a sodicidade é avaliada pelo PST e pela Razão de Adsorção de Sódio (RAS). PST acima de 15% ou RAS superior a 12 são indicativos de solos com alto risco de dispersão de argilas e perda de permeabilidade, podendo inviabilizar a prática da fertirrigação sem manejo corretivo (AYERS; WESTCOT, 1999).

É fundamental compreender a diferença temporal desses riscos. A lixiviação de nitrato (NO_3^-) pode ocorrer de forma rápida, sendo um problema de curto a médio prazo. Em contrapartida, a degradação do solo por sodicidade é um processo lento e cumulativo. Uma lavoura pode apresentar alta produtividade por vários anos devido ao fornecimento de água e nitrogênio, enquanto, de forma silenciosa, a estrutura do solo se degrada. Quando os efeitos

negativos se tornam visíveis na cultura, pode haver dano e de difícil recuperação. Essa diferença temporal entre a causa e o efeito visível torna o monitoramento proativo e regular da RAS e da PST absolutamente essencial para a sustentabilidade do sistema.

1.4 LEGISLAÇÃO APLICADA AO REÚSO DE EFLUENTES EM FERTIRRIGAÇÃO

A prática da fertirrigação com efluentes industriais no Brasil é regulamentada por um arcabouço legal que evoluiu de diretrizes gerais para o lançamento em corpos d'água para normas específicas que governam a aplicação no solo. Este quadro regulatório reflete a maturação da política ambiental brasileira, que transita de um modelo de controle de poluição para um de promoção da economia circular e do reúso seguro de recursos. As Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 430/2011 (Brasil, 2011) e, mais recentemente, a Nº 503/2021 (Brasil, 2021), são os instrumentos normativos centrais que disciplinam a matéria.

1.4.1 A Resolução CONAMA Nº 430/2011 como Marco Regulatório para Lançamento de Efluentes

A Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011, estabelece as condições e os padrões para o lançamento de efluentes em corpos de água receptores, complementando e alterando a Resolução Nº 357/2005. Ela define os limites máximos para diversos parâmetros (pH, DBO, óleos e graxas, metais, etc.) que um efluente tratado deve atender para ser legalmente descartado em um rio ou lago.

No entanto, o Artigo 2º desta resolução contém uma disposição crucial para o tema em questão: ele explicita que a disposição de efluentes no solo, mesmo que tratados, não está sujeita aos padrões de lançamento estabelecidos para corpos d'água. Contudo, o mesmo artigo impõe a condição de que tal disposição não pode causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Dessa forma, a CONAMA 430/2011 (Brasil, 2011) funcionou como um marco regulatório fundamental que, ao mesmo tempo em que definia a qualidade de um efluente tratado, criava uma lacuna normativa sobre como a aplicação no solo deveria ser conduzida para atender à exigência de não poluir.

1.4.2 A Resolução CONAMA Nº 503/2021: Critérios Específicos para a Fertirrigação

Para preencher a lacuna deixada pela norma anterior e fornecer segurança jurídica e técnica para a prática, o CONAMA publicou a Resolução Nº 503, de 14 de dezembro de 2021 (Brasil, 2021). Esta resolução é o principal dispositivo legal que define, de forma específica, os

critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias.

A norma representa uma mudança significativa na abordagem regulatória, passando de uma simples proibição de poluir para o estabelecimento de um conjunto de regras técnicas para a promoção do reúso seguro. Seus principais critérios incluem:

- A exigência de que o efluente seja "estabilizado", ou seja, que tenha passado por tratamento biológico que reduza odores, patógenos e potencial de putrefação.
- A obrigatoriedade da elaboração de um projeto agrônomo detalhado, assinado por profissional habilitado, que fundamente tecnicamente a operação.
- A definição de padrões de qualidade para o efluente a ser utilizado, incluindo limites para parâmetros físico-químicos e microbiológicos, conforme detalhado na Tabela 1.
- A exigência de caracterização e monitoramento anual tanto do efluente quanto do solo receptor.

Tabela 1: Parâmetros e Valores Máximos para Efluente Estabilizado Destinado à Fertirrigação (CONAMA Nº 503/2021).

Parâmetro	Valor Máximo Perdido	Observações/Frequência De Monitoramento
pH	Entre 5,0 e 9,0	Anual (antes da primeira aplicação e após)
Óleos minerais	20 mg/L	Anual
Óleos vegetais e gorduras animais	50 mg/L	Anual
<i>Escherichia coli</i>	1.000 NMP/100 mL	Monitoramento bimestral (para culturas consumidas cruas com contato com o solo)
<i>Escherichia coli</i>	10.000 NMP/100 mL	Monitoramento trimestral (para outras culturas e pastagens)
Demais parâmetros	Conforme Art. 16, II da Res. CONAMA 430/2011	Excetuam-se B, Cu, Fe, Mn, N amoniacal e Zn, que são considerados nutrientes.

Fonte: Elaborado com base na Resolução CONAMA Nº 503/2021.86

1.4.3 Metodologias de Cálculo e Monitoramento Exigidas pela Legislação

A Resolução CONAMA Nº 503/2021 (Brasil, 2021) se destaca por sua natureza técnica, codificando em lei os princípios científicos de manejo sustentável. Ela não apenas estabelece limites, mas prescreve as metodologias de cálculo e monitoramento que devem ser empregadas, refletindo diretamente a abordagem de sistema discutida na seção anterior.

- **Taxa de Aplicação do Efluente (TAE):** A resolução formaliza o nitrogênio como o parâmetro limitante. Ela determina que a TAE deve ser calculada com base em um balanço de massa, garantindo que a quantidade de nitrogênio aplicada anualmente via efluente não ultrapasse a quantidade de nitrogênio que será exportada pela colheita da cultura. Para isso, fornece um conjunto específico de equações (Tabela 2).
- **Monitoramento da Sodicidade e Salinidade:** A norma torna obrigatório o cálculo da Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e da Porcentagem de Sódio Trocável (PST), utilizando as fórmulas na ciência do solo. Também exige o monitoramento da condutividade elétrica.
- **Monitoramento do Solo:** Para garantir que a aplicação não está causando contaminação subsuperficial, a resolução exige a instalação de estações de monitoramento com extratores de solução do solo em diferentes profundidades, permitindo a verificação empírica do comportamento dos nutrientes e sais no perfil do solo.

Tabela 2: Metodologias de Cálculo para Manejo da Fertirrigação (CONAMA N° 503/2021)

Parâmetro de Manejo	Fórmula	Definição das Variáveis	CrITÉrios de Interpretação
Taxa de Aplicação do Efluente (TAE)	$TAE = \frac{TNE}{(TN^{Análise} \times IEAN)}$	TAE: Taxa de Aplicação do Efluente (m³/ha.ano) TNE: Total de Nitrogênio Exportado pela cultura (kg de N/ha.ano) TN^{Análise}: Teor de Nitrogênio na Análise do Efluente (kg de N/m³) IEAN: Índice de Eficiência Agrônômica do Nitrogênio (adimensional, 0,80 a 0,92)	Deve garantir que a dose de N aplicada não ultrapasse a absorção da cultura. O limite anual no Brasil é definido pela CONAMA nº 503/2021.
Razão de Adsorção de Sódio (RAS)	$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$	RAS: Razão de Adsorção de Sódio (adimensional) Na⁺: Teor de Sódio (mmol_e/dm³) Ca²⁺: Teor de Cálcio (mmol_e/dm³) Mg²⁺: Teor de Magnésio (mmol_e/dm³)	< 6 = baixo risco; 6–12 = risco moderado; > 12 = alto risco de sodificação (FAO, 1985; EMBRAPA, 2014).
Porcentagem de Sódio Trocável (PST)	$PST = \frac{(Na^+ \times 100)}{Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + H^+ + Al^{3+}}$	PST: Porcentagem de Sódio Trocável (%) Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, H⁺, Al³⁺: Teores dos respectivos cátions (mmol_e/dm³)	< 5% = seguro; 5–15% = risco intermediário; > 15% = alto risco de sodificação (CETESB, 2015)

Fonte: Elaborado com base na Resolução CONAMA N° 503/2021.⁸⁶

Essa transição regulatória, da abordagem generalista da CONAMA 430/2011 para a abordagem técnica e processual da CONAMA 503/2021, demonstra uma evolução na governança ambiental. A legislação mais recente não apenas permite o reúso, mas o condiciona à adoção de boas práticas científicas, transformando o que poderia ser uma fonte de poluição em uma atividade de engenharia ambiental aplicada, com parâmetros de operação (TAE baseada em N) e mecanismos de controle e feedback (monitoramento de RAS, CE e solução do solo) legalmente estabelecidos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

O sistema adotado para tratamento dos efluentes da fábrica de hambúrguer é através do conjunto de gradeamento, peneiras rotativas, tanque de equalização e lagoas de estabilização. Nestes ocorrem os processos de separação de sólidos, sedimentação e digestão aeróbia e anaeróbia do efluente. As lagoas funcionam em sistema de batelada e possuem o TDH (tempo de detenção hidráulica) acima de 15 dias, período no qual o efluente é sedimentado e tratado pela massa microbiana presente no lodo das lagoas.

2.2 COLETA E ANÁLISE DE SOLO E EFLUENTE

2.2.1 Coleta de Solo

A amostragem de solo foi realizada em duas áreas distintas, no município de Bataguassu, estado do Mato Grosso do Sul (Figura 1). A Área 01 possui 45,3 hectares e recebe a aplicação de efluentes de resíduos alimentícios, enquanto a Área 02 foi utilizada como testemunha, sem aplicação de efluentes. Ambas as áreas contem capim Tifton e estão há 3 km de distância uma da outra. O procedimento de campo seguiu as orientações da Cartilha Técnica da Agência Estadual de Defesa Sanitária Animal e Vegetal (IAGRO, 2025), em conformidade com a metodologia proposta pela EMBRAPA (2017). Conforme essas orientações, a amostragem do solo foi realizada caminhando-se em zigue-zague, com estratificação em três camadas de profundidade: 0–30 cm, 30–60 cm e 60–90 cm. Para a coleta, foram utilizados um trado holandês e uma cavadeira.

Em cada área experimental foram definidos oito pontos amostrais distribuídos ao longo do trajeto em zigue-zague. As amostras coletadas em uma mesma camada de profundidade foram reunidas e homogeneizadas, resultando em uma amostra composta representativa por profundidade em cada área. Dessa forma, ao final do processo, cada área originou três amostras finais: uma correspondente à profundidade de 0–30 cm, outra à de 30–60 cm e outra à de 60–90 cm.

A adoção do método de amostras compostas permitiu reduzir a variabilidade intrínseca do solo e gerar valores médios representativos das condições químicas de cada área. Esse procedimento segue a prática usual em levantamentos de fertilidade, quando o objetivo é comparar áreas submetidas a diferentes manejos (Raij *et al.*, 2001; EMBRAPA, 2017).

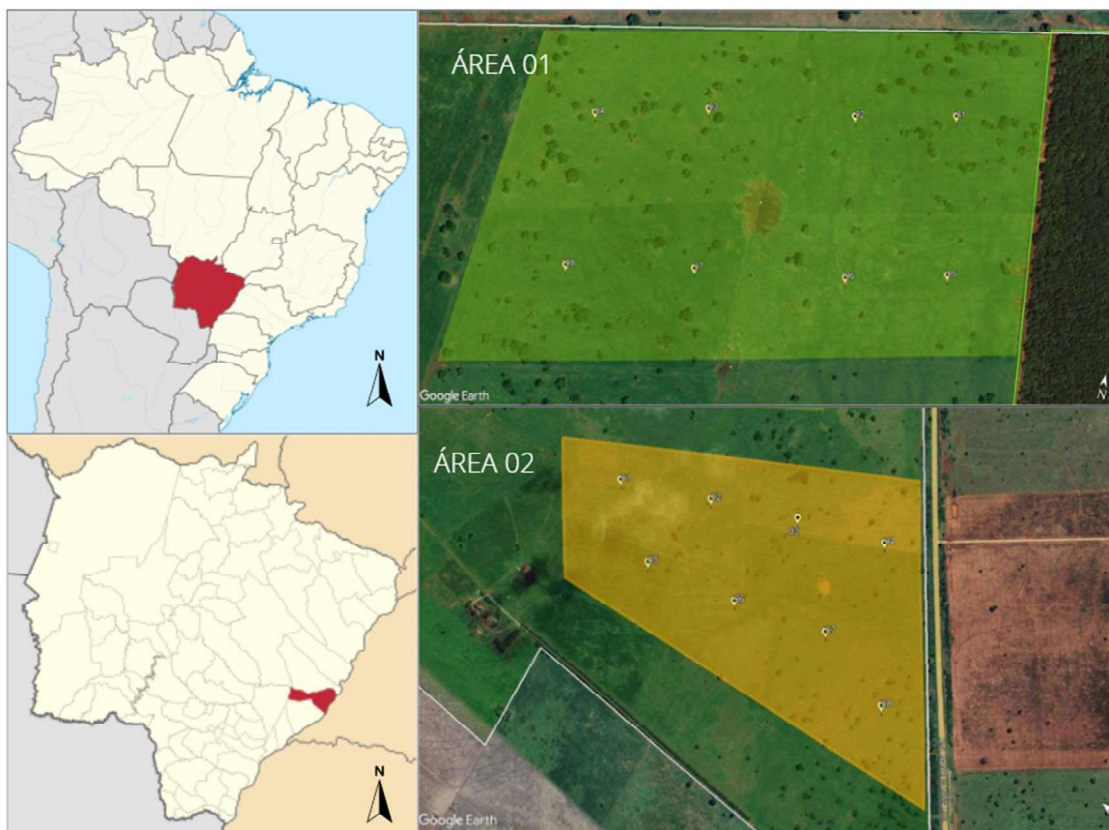


Figura 1: Localização das áreas de amostragem do solo. Brasil (à esquerda), destacando o estado do Mato Grosso do Sul e abaixo o município de Bataguassu. À direita, delimitação das áreas de coleta de solo: Área 01 (45,3 ha), submetida à aplicação de efluente via fertirrigação (em verde), e Área 02, utilizada como área testemunha sem aplicação de efluente (em amarelo). Os pontos indicam os locais de amostragem do solo

2.2.2 Equipamentos de Fertirrigação

O sistema utilizado é um canhão autopropelido, dimensionado para aplicar o efluente em uma área de pastagem de 45,3 hectares. O sistema é controlado manualmente por um colaborador, que realiza a locação do canhão com auxílio de um trator. O período máximo de irrigação diária é de 8 horas, aplicando 60 m³ de efluente por hora.

2.2.3 Monitoramento

O monitoramento das áreas é realizado anualmente, conforme condicionante da licença de operação, e apresentado à secretaria de meio ambiente, bem como nos períodos de renovação da licença.

2.3 ANÁLISE DE DADOS

2.3.1 Memorial de Cálculo

O parâmetro limitante definido para estudo da taxa de aplicação de efluente foi o Nitrogênio presente no efluente. Para efeito de cálculo foram utilizadas as equações propostas na resolução que define critérios e procedimentos para reuso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias, CONAMA 503 de 2021. Na qual cita no Art. 20, que para determinar a Taxa de Aplicação de Efluente (TAE) deverá ser realizada em função do balanço de massa, na condição de implantação, com definição da demanda de nutrientes para a cultura, mediante a produção esperada de Matéria Seca (MS) dentro do sistema de produção, observando os seguintes critérios:

- Total anual de Nitrogênio liberado pela fertirrigação deve ser menor ou igual ao Total de Nitrogênio Exportado (TNE) na produção anual da cultura.
- O cálculo deverá ser realizado utilizando-se as equações 1, 2 e 3:

$$\text{Eq 1. } TNMSR = TMSP * 0,1 * 0,150$$

$$\text{Eq 2. } TNE = NEt - (NEt * 0,135) + TNMSR$$

Onde:

- **TNE** = Total de Nitrogênio Exportado pela cultura (kg de N/ha/ano);
- **TNMSR** = Total de Nitrogênio na Matéria Seca Reciclada (kg de N/ha/ano);
- **NEt** = Nitrogênio Extraído durante o ciclo da cultura (kg de N/ha/ano);
- **TMSP** = Total de Matéria Seca Produzida pela cultura (t MS/ha/ano);
- **0,1** = Média da Massa Reciclada do Total de Matéria Seca Produzida por uma cultura;
- **0,135** = Índice de reciclagem do Nitrogênio com relação ao extraído pela cultura;
- **0,150** = Índice de eficiência do Nitrogênio retido na Massa Reciclada do Total de Matéria Seca Produzida.

$$\text{Eq 2. } TAE = \frac{TNE}{(TN_{\text{Análise}} \times IEAN)}$$

Onde:

TAE = Taxa de Aplicação do Efluente (m³/ha/ano).

TN^{Análise} = Teor de Nitrogênio na Análise do Efluente (kg de N/m³ do Efluente).

IEAN = Índice de Eficiência Agronômica do Nitrogênio (0,80 a 0,92).

Idealmente, a produção de matéria seca do Tifton utilizada no cálculo da TMSP deveria ser determinada a partir de dados locais, refletindo as condições edafoclimáticas e de manejo da propriedade. Contudo, como não havia registros disponíveis, adotou-se o valor de 23,1 t/ha/ano descrito por Alvim et al. (1999). Reconhece-se que essa estimativa pode introduzir imprecisão, razão pela qual a literatura recente também foi consultada para contextualizar a variabilidade produtiva do Tifton sob fertirrigação de efluentes, que pode variar entre 15 e 30 t/ha/ano dependendo das condições regionais (SARTO et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2019; SÉRVULO et al., 2024). Dessa forma, temos:

$$\begin{aligned}TNMSR &= 23,1 * 0,1 * 0,150 \\TNMSR &= 0,3465 \text{ kg de N/ha. ano}\end{aligned}$$

Soares et al (2013), sugere que a aplicação de nitrogênio mais eficaz para o capim Tifton é de no máximo 200 Kg/ha/no, e que este é capaz de extrair 40% de todo nitrogênio aplicado na cultura. Sendo assim para dose de aplicação de 200 Kg N/ha/ano a sua extração é de 80 kg de N/ha/ano, temos: NEt: 80 kg de N/ha/ano.

$$\begin{aligned}TNE &= NEt - (NEt * 0,135) + TNMSR \\TNE &= 80 - (80 * 0,135) + 0,3465 \\TNE &= 69,54 \text{ kg de N/ha/ano}\end{aligned}$$

Calculando a taxa de aplicação de Nitrogênio temos:

TN^{Análise}: 0,0674 Kg de N/m³ (*Informação extraída do laudo RGD 170 - Relatório de Ensaio N°: 9485.2024.A- V.001*).

IEAN: 0,80.

$$\begin{aligned}TAE &= \frac{TNE}{TN^{Análise} * IEAN} \\TAE &= \frac{69,54 \text{ Kg de } \frac{N}{Ha}. \text{ ano}}{0,0674 \text{ Kg de N/m}^3 * 0,80} \\TAE &= 1.289 \text{ m}^3/\text{ha/ano}\end{aligned}$$

A taxa de aplicação de efluente baseado no Nitrogênio como parâmetro limitante, corresponde a 1.289 m³/ha/ano.

Considerando o consumo diário máximo de água da fábrica de hambúrguer de aproximadamente 600 m³ e o coeficiente de retorno de 80% (estimando-se que 80% a água utilizada será devolvida na forma de efluente), temos a seguinte equação.

$$\text{Produção anual de efluente} = \text{Geração diária} * 0,80 * 365 \text{ d.}$$

$$PAE = 600 * 0,80 * 365$$

$$PAE = 175.200 \text{ m}^3/\text{Ano}$$

Para cálculo da área necessária para aplicação do efluente temos a razão entre a produção anual de efluente (PAE) e a taxa de aplicação do efluente.

$$A = \frac{PAE}{TAXA}$$
$$A = \frac{175.200 \text{ m}^3/\text{ano}}{1.289 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}/\text{ano}}$$
$$A = 135 \text{ ha}$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISES DE SOLO - ÁREA TESTEMUNHA

Os resultados das análises químicas do solo da área testemunha encontram-se nas Tabelas 3, 4 e 5. Foram avaliados os macronutrientes (Ca, Mg, K, P, S), micronutrientes (Na, Fe, Mn, Cu, Zn e B), além de atributos de acidez (Al³⁺, H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), fósforo remanescente (Pres), pH e matéria orgânica (MO).

Na área testemunha, observou-se teor de fósforo (P) de 52,3 mg/dm³ na camada de 0–30 cm, classificado como muito alto. O potássio (K) apresentou teores elevados em superfície, enquanto cálcio (Ca) e magnésio (Mg) mantiveram-se em níveis moderados. Os valores de sódio (Na) foram baixos, resultando em PST inferior a 5% em todas as profundidades avaliadas. O pH variou de levemente ácido a próximo da neutralidade, e a matéria orgânica apresentou valores médios.

Tabela 3: Macronutrientes e pH – Área testemunha (não fertirrigada). Valores médios obtidos nas camadas de 0–30, 30–60 e 60–90 cm. Os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , $\text{H}+\text{Al}$ e K^+ estão expressos em cmolc/dm^3 ; o potássio disponível (Kdis) e o enxofre (S) em mg/dm^3 ; o fósforo extraível por Mehlich-1 [P (mel)] em mg/dm^3 ; o fósforo remanescente [P (res.)] em mg/L ; e o pH determinado em solução de CaCl_2 0,01 mol/L (adimensional).

Profundidade	Cálcio (Ca)	Magnésio (Mg)	Ca+Mg	Alumínio (Al)	H+Al	Potássio	Potássio (Kdis)	Enxofre (S)	Fósforo (Pmel)	Fósforo (P res.)	pH
0-30 cm	1,93	0,26	2,20	0,25	4,46	0,49	190	190	52,3	ND	4,4
30-60 cm	0,47	0,07	0,55	0,65	3,96	0,24	92	48	18,5	ND	4,0
60-90 cm	0,40	0,07	0,47	0,6	3,47	0,16	64	64	10,0	ND	4,0

Tabela 4: Micronutrientes, CTC e Saturação - Área testemunha (não fertirrigada). Os micronutrientes Na, Fe, Mn, Cu, Zn e B estão expressos em mg/dm^3 ; a capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB) e acidez potencial (H+Al) em cmolc/dm^3 ; a saturação por bases (V%) em %; e o teor de matéria orgânica (MO) em g/dm^3 .

Níveis do solo	Sódio (Na)	Ferro (Fe)	Manganês (Mn)	Cobre (Cu)	Zinco (Zn)	Boro (B)	CTC	PST (%)	SB	V%	M.O. (g/dm^3)
0-30 cm	14,0	90,0	57,7	0,7	7,1	0,7	7,20	2,5	2,74	38,11	21,1
30-60 cm	13,0	117,4	28,4	0,6	2,1	0,2	4,8	1,8	0,84	43,67	7,6
60-90 cm	3,0	113,0	22,3	0,5	1,3	0,1	4,11	1,2	0,64	15,64	4,5

Tabela 5: Textura, Relação entre Bases e Percentagem de Bases na CTC - Área testemunha (não fertirrigada). O teor de argila, silte e areia está expresso em %; as relações Ca/Mg, Ca/K, Mg/K, Ca/CTC e K/CTC são adimensionais.

Níveis do solo	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	K/CTC
0-30 cm	11,2	6,7	82,0	7,34	3,98	0,54	26,85	6,75
30-60 cm	12,9	5,1	82,0	6,60	2,01	0,31	9,85	4,9
60-90 cm	12,9	3,5	83,6	6,40	2,44	0,4	9,74	3,99

Na área testemunha, o PST foi de 2,5% na camada de 0–30 cm, 1,8% na camada de 30–60 cm e 1,2% na camada de 60–90 cm. Na área fertirrigada, observaram-se valores mais elevados: 3,9% na camada de 0–30 cm, 3,1% na camada de 30–60 cm e 2,4% na camada de 60–90 cm.

Em ambas as áreas, os valores permaneceram abaixo do limite de 5%, considerado seguro, embora a área fertirrigada tenha apresentado valores consistentemente maiores em todas as profundidades.

4.2 ANÁLISES DE SOLO - ÁREA FERTIRRIGADA

As análises do solo da área fertirrigada encontram-se na Tabela 6, 7 e 8. Assim como na testemunha, foram avaliados macronutrientes, micronutrientes e atributos químicos de fertilidade e acidez, com amostras coletadas nas profundidades de 0–30, 30–60 e 60–90 cm.

Na área fertirrigada, os teores de fósforo (P) foram muito elevados em todas as profundidades, atingindo valores acima de 100 mg/dm³ na camada de 0–30 cm. O potássio (K) apresentou saturação elevada na CTC, com valores superiores a 10% na camada superficial. Os teores de sódio (Na) mostraram-se aumentados em relação à área testemunha, mas o PST permaneceu abaixo de 15%. O pH apresentou valores ligeiramente superiores aos da testemunha, e a matéria orgânica manteve-se em níveis próximos.

Tabela 6: Macronutrientes e pH – Área Fertirrigada. Valores médios obtidos nas camadas de 0–30, 30–60 e 60–90 cm. Os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al e K⁺ estão expressos em cmolc/dm³; o potássio disponível (Kdis) e o enxofre (S) em mg/dm³; o fósforo extraível por Mehlich-1 [P (mel)] em mg/dm³; o fósforo remanescente [P (res.)] em mg/L; e o pH determinado em solução de CaCl₂ 0,01 mol/L (adimensional).

Níveis do solo	Cálcio (Ca)	Magnésio (Mg)	Ca+Mg	Alumínio (Al)	H+Al	Potássio	Potássio (Kdis)	Enxofre (S)	Fósforo (Pmel)	Fósforo (P res.)	pH
0-30 cm	2,70	0,28	2,97	0,00	1,98	0,46	180	20	124,9	ND	5,3
30-60 cm	2,00	0,15	2,15	0,05	1,82	0,37	146	14	103,3	ND	4,8
60-90 cm	1,80	0,14	1,94	0,00	1,49	0,34	134	13	81,7	ND	5,0

Tabela 7: Micronutrientes, CTC e Saturação - Área Fertirrigada. Os micronutrientes Na, Fe, Mn, Cu, Zn e B estão expressos em mg/dm³; a capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB) e acidez potencial (H+Al) em cmolc/dm³; a saturação por bases (V%) em %; e o teor de matéria orgânica (MO) em g/dm³.

Níveis do solo	Sódio (Na)	Ferro (Fe)	Manganês (Mn)	Cobre (Cu)	Zinco (Zn)	Boro (B)	CTC	PST (%)	SB	V%	M.O. (g/dm ³)
0-30 cm	22,0	132,4	48,9	0,5	3,2	0,2	5,51	3,9	3,53	64,0	7,6
30-60 cm	27,0	160,1	27,3	0,5	1,2	0,1	4,46	3,1	2,65	59,31	2,6
60-90 cm	21,0	158,8	23,0	0,5	1,0	0,1	3,86	2,4	2,37	61,52	2,5

Tabela 8: Textura, Relação entre Bases e Percentagem de Bases na CTC - Área testemunha (não fertirrigada). O teor de argila, silte e areia está expresso em %; as relações Ca/Mg, Ca/K, Mg/K, Ca/CTC e K/CTC são adimensionais.

Níveis do solo	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	K/CTC
0-30 cm	11,2	5,1	83,6	9,63	5,85	0,61	48,90	8,35
30-60 cm	11,2	5,1	83,6	13,15	5,36	0,41	44,89	8,97
60-90 cm	11,2	3,6	85,2	12,87	5,25	0,41	46,64	8,88

Os resultados evidenciaram predomínio de areia em ambas as áreas, confirmando a classificação de solo arenoso, com baixa capacidade de retenção de nutrientes e de água. As relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K apresentaram variações compatíveis com o tipo de solo, mas o desequilíbrio relativo entre os cátions deverá ser melhor discutido à luz da saturação por K e do aumento de Na na área fertirrigada.

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS ATRIBUTOS DO SOLO

4.3.1 Efeito da Fertirrigação na Fertilidade e Acidez do Solo

Os resultados mostram que a área testemunha apresentou teor de fósforo (P, Mehlich-1) de 52,3 mg/dm³ na camada de 0–30 cm, valor classificado como muito alto (>40 mg/dm³ segundo CQFS-RS/SC, 2016). Esse resultado indica que a área já recebeu aplicações prévias de fertilizantes ou resíduos orgânicos, o que compromete seu uso como controle absoluto. Na área fertirrigada, os teores de P foram ainda mais elevados, ultrapassando 100 mg/dm³ em superfície e mantendo valores muito altos em todas as profundidades. Esses resultados evidenciam acúmulo acentuado de fósforo, situação que não pode ser interpretada como positiva, visto que excedentes aumentam o risco de perdas por erosão e lixiviação, além de poderem reduzir a disponibilidade de micronutrientes como Zn (SARTO et al., 2019; LICATA et al., 2022).

Em relação aos cátions básicos, os valores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) permaneceram em níveis adequados em ambas as áreas, enquanto o potássio (K) apresentou saturação elevada na área fertirrigada, superando 10% da CTC em superfície. A CETESB (2015) estabelece limite de 5% de saturação de K em normas de uso de vinhaça, de modo que a situação observada representa risco de lixiviação em solos arenosos. O pH do solo manteve-se levemente ácido a próximo da neutralidade, não havendo diferenças relevantes entre as áreas.

Apesar da consistência dos dados, algumas diferenças muito acentuadas entre camadas profundas (60–90 cm) podem estar associadas a variações analíticas de laboratório, o que reforça a necessidade de cautela na interpretação (EMBRAPA, 2014).

4.3.2 Impacto na Matéria Orgânica e Sódio: Riscos e Pontos de Atenção

A matéria orgânica apresentou valores médios e semelhantes entre a área testemunha e a fertirrigada, não havendo indícios de alteração significativa nesse atributo em função da aplicação de efluentes.

No caso do sódio, os teores foram baixos em ambas as áreas, mas sistematicamente mais altos na fertirrigada. O cálculo da Porcentagem de Sódio Trocável (PST) mostrou valores entre 2,5 e 1,2% na área testemunha e entre 3,9 e 2,4% na fertirrigada. Todos esses valores se encontram abaixo do limite de 5%, considerado seguro (CETESB, 2015; EMBRAPA, 2014). Assim, embora tenha ocorrido aumento de Na^+ na área fertirrigada, não há risco imediato de sodificação. Entretanto, a tendência observada deve ser monitorada, já que valores acima de 15% configuram alto risco de dispersão de argilas, perda da estrutura do solo e comprometimento da infiltração de água (AYERS; WESTCOT, 1999).

O solo da área é de textura arenosa, o que representa fator adicional de vulnerabilidade. Solos com baixa CTC, como os arenosos, têm menor capacidade de retenção de nutrientes e são mais suscetíveis à lixiviação de potássio e fósforo (LICATA et al., 2022). Portanto, o risco de perdas de nutrientes e de contaminação ambiental aumenta mesmo quando os valores de PST e de saturação de K ainda estão em faixas aceitáveis.

4.3.3 Conformidade com a Legislação e Dimensionamento do Sistema

Os resultados obtidos devem ser confrontados com a Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece restrições à presença de fósforo no solo quando há risco de lixiviação e transporte para corpos hídricos, e com a Resolução CONAMA nº 503/2021, que define critérios técnicos para aplicação de efluentes em fertirrigação. A presença de teores muito altos de fósforo em todas as camadas da área fertirrigada sugere descumprimento do princípio de sustentabilidade preconizado nessas normas.

No dimensionamento do sistema, a Taxa de Aplicação de Efluente (TAE) deve ser calculada a partir do balanço entre o nitrogênio disponível e a capacidade de absorção da cultura (CONAMA, 2021), garantindo que não haja excedentes. Além disso, parâmetros como PST, saturação de K e condutividade elétrica devem ser monitorados continuamente, servindo como indicadores de sustentabilidade da prática (EMBRAPA, 2014).

4.4 ANÁLISE DE RISCOS E BENEFÍCIOS DE FERTIRRIGAÇÃO DO PRESENTE ESTUDO

4.4.1 Benefícios (Curto Prazo)

A fertirrigação com efluentes proporcionou melhoria imediata na fertilidade do solo, com aumento de P, K, Ca e Mg em relação à área testemunha. Esses nutrientes disponíveis favorecem o crescimento do capim Tifton 85, que apresenta elevada capacidade de resposta à

adubação (OLIVEIRA et al., 2019; SÉRVULO et al., 2024). Também houve manutenção do pH próximo da neutralidade, além de aporte adicional de matéria orgânica. Do ponto de vista produtivo, esses fatores resultam em maior disponibilidade de forragem e redução da necessidade de fertilizantes minerais.

4.4.2 Riscos (Médio e Longo Prazo)

Apesar dos benefícios imediatos, os resultados evidenciam riscos importantes. O excesso de P em todas as camadas configura potencial de contaminação ambiental, contraria normas legais e pode interferir na absorção de micronutrientes. A saturação de K acima de limites críticos indica lixiviação em solos arenosos, o que compromete a sustentabilidade do sistema (CETESB, 2015). O aumento do Na^+ , embora ainda em valores de PST seguros ($<5\%$), sugere tendência de acúmulo que pode evoluir para risco de sodificação.

Essas observações estão de acordo com trabalhos de longo prazo em áreas fertirrigadas com dejetos animais, nos quais se verificou aumento de nutrientes em superfície e maior risco de perdas em profundidade, sobretudo em solos arenosos (SARTO et al., 2019; DE OLIVEIRA et al., 2021; TEIXEIRA et al., 2021). Assim, a prática de fertirrigação analisada apresenta ganhos agrônômicos de curto prazo, mas também riscos ambientais relevantes em médio e longo prazo, que reforçam a necessidade de ajustes no manejo (controle da taxa de aplicação, uso de culturas extratoras, práticas corretivas como gessagem) e de monitoramento contínuo dos atributos do solo.

5. CONCLUSÃO

A aplicação de efluentes industriais por meio da fertirrigação mostrou-se eficaz em melhorar a fertilidade do solo a curto prazo, promovendo aumento nos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio e favorecendo a disponibilidade de nutrientes para o capim Tifton 85. Esses resultados confirmam o potencial da prática como estratégia de reciclagem de nutrientes e de redução da dependência de fertilizantes minerais.

Entretanto, os dados evidenciaram também limitações importantes para a sustentabilidade do sistema. O fósforo apresentou-se em concentrações muito altas em todas as camadas do solo, em desacordo com o disposto no artigo 8 da Resolução CONAMA nº 430/2011 e acima de limites técnicos recomendados, configurando risco de contaminação ambiental e de desequilíbrio nutricional. A saturação de potássio na CTC superou o valor de 5% estabelecido pela CETESB como limite de segurança, especialmente em solo de textura arenosa, o que indica possibilidade de lixiviação. Embora a Porcentagem de Sódio Trocável (PST) tenha permanecido abaixo de 5%, considerada segura, os valores mais elevados na área fertirrigada em relação à testemunha revelam tendência de acúmulo, que deve ser monitorada continuamente para evitar sodificação em longo prazo.

Nesse contexto, conclui-se que a fertirrigação com efluentes pode ser considerada uma prática agronomicamente viável no curto prazo, mas apresenta riscos ambientais significativos em médio e longo prazo. A sustentabilidade do sistema depende de um manejo criterioso, que inclua o ajuste da taxa de aplicação de efluentes conforme a Resolução CONAMA nº 503/2021, o monitoramento periódico de parâmetros como fósforo, saturação de K e PST, e a adoção de práticas corretivas, como uso de culturas extratoras e aplicação de gesso agrícola.

Portanto, a prática deve ser compreendida como de duplo potencial: instrumento de economia circular e aumento de produtividade quando bem manejada, mas também fonte de riscos ambientais se conduzida sem critérios técnicos e legais.

REFERÊNCIAS

ABDEL-FATAH, Mona A. Integrated management of industrial wastewater in the food sector. **Sustainability**, v. 15, n. 23, p. 16193, 2023.

ABSOLUTA FERTILIZANTES. Conheça as vantagens da fertirrigação para a agricultura. *Absoluta Fertilizantes*, 4 ago. 2025. Disponível em: <https://absolutafertil.com.br/conheca-as-vantagens-da-fertirrigacao-para-a-agricultura/> . Acesso em: 19 ago. 2025

ADETUNJI, Adegoke Isiaka; OLANIRAN, Ademola Olufolahan. Tratamento de águas residuais industriais oleosas por tecnologias avançadas: uma revisão. **Ciência Aplicada da Água**, v. 6, pág. 98, 2021.

ALVIM, Maurilio José et al. Resposta do tifton 85 a doses de nitrogênio e intervalos de cortes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 2345-2352, 1999.

ASGHARNEJAD, Hashem et al. Comprehensive review of water management and wastewater treatment in food processing industries in the framework of water-food-environment nexus. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 5, p. 4779-4815, 2021.

BERNARDI, Alberto Carlos de Campos; OLIVEIRA, Patrícia Perondi Anchão; SOUZA, Júlio Cesar de. **Amostragem de solo**. [Brasília, DF]: Embrapa, 2004. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/criacoes/gado_de_leite/producao/sistemas-de-producao/alimentacao/formacao-e-manejo-de-pastagens/manejo-do-solo/amostragem-de-solo. Acesso em: 17 ago. 2025.

BRANCALIONE, Leandro. A Economia Circular na Produção de Água de Reuso para Fins Agrícolas. **Epitaya E-books**, v. 1, n. 11, p. 24-42, 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 92, p. 89, 16 maio 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 503, de 14 de dezembro de 2021. Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação

de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias.

Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 236, p. 203, 16 dez. 2021.

CERQUEIRA, PRS et al. Estratégias metodológicas para o monitoramento e espacialização da salinidade e da sodicidade dos solos em projetos de irrigação. 2021.

COLLARES, Maria Fernanda Antunes et al. Desempenho de Alagados Construídos Cultivado com Tifton 85 (*Cynodon Dactylon* Pers.). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e59910515518-e59910515518, 2021.

DE OLIVEIRA, R. A.; TEIXEIRA, C. A.; SOUSA, J. T.; MEDEIROS, J. M. E.; CAVALCANTI, D. C. Wastewater treatment in horizontal subsurface flow constructed wetlands with *Cynodon* spp. (Tifton 85): agronomic performance and nutrient uptake. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 39453–39467, 2021.

DE SOUZA, Carlindomar José; SIQUEIRA, Gilmar Wanzeller. Os impactos ambientais de efluentes industriais: O caso do Frigorífico São Francisco em Redenção-PA. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 1, p. e14512139375-e14512139375, 2023.

EMBRAPA. *Fertirrigação*. Portal Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/pimenta/producao/manejo-do-solo/fertirrigacao>. Acesso em: 16 ago. 2025

EMBRAPA. *Fertirrigação: teoria e prática*. Sete Lagoas, MG: Embrapa Meio Ambiente, 2014. 45 p. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/144914/1/Fertirrigacao.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2025.

EQUIPE AGRONÔMICA (Yara Brasil). *Descubra os benefícios da fertirrigação para sua lavoura*. Blog YaraNutre. Yara Brasil, 26 ago. 2024. Disponível em:
<https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/fertirrigacao-uma-tecnica-que-possibilita-diversas-vantagens/>. Acesso em: 19 ago. 2025.

FERTISYSTEM. Quais os problemas gerados pelo excesso na fertilização e como resolvê-los. *FertiSystem*, 4 ago. 2025. Disponível em:
<https://www.fertisystem.com.br/m/blog/60d4b0525639c367d906d5d4/quais-os-problemas-gerados-pelo-excesso-na-fertilizacao-e-como-resolve-los> . Acesso em: 19 ago. 2025

GADELHA, José Eduardo Ferreira Da Silva et al. Consequências da eutrofização em corpos hídricos. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 3, n. 1, 2022.

GIORDANNI, Patricia Raphaela et al. Reúso agrícola e florestal de efluentes tratados: uma revisão. In: **Conference Paper**. 2018.

JAHAN, Sarwat; SINGH, Ajay. Causes and impact of industrial effluents on receiving water bodies: a review. **Malaysian Journal of Science and Advanced Technology**, p. 111-121, 2023.

JAIN, Rishabh et al. Impact of industrial effluents on groundwater. **Groundwater geochemistry: pollution and remediation methods**

LICATA, M.; TRIPODO, F.; LO BUE, P.; MARTORANA, A.; GIAMBALVO, D.; LA BELLA, S. Long-term use of treated municipal wastewater for *Cynodon dactylon* turfgrass irrigation: effects on soil and biomass. *PLOS ONE*, v. 17, n. 2, e0263945, 2022.

MALLIGA, P.; GEETHA, N.; JENIFER, G. Bio-fertigation of different industrial waste. In: **Biorefinery for water and wastewater treatment**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 337-357.

MATO GROSSO DO SUL (Estado). **Analisar Solos**. [S. l.: s. n., s. d.]. Disponível em: <https://www.ms.gov.br/agropecuaria-e-vida-rural/analisar-solos125>. Acesso em: 17 ago. 2025.

OLIVEIRA, J. T. C.; LIMA, V. A.; BARBOSA, L. S.; MEDEIROS, J. M. E.; PEREIRA, J. R. Water reuse in agriculture: effects of dairy wastewater on the growth of Tifton 85 grass and soil microbial activity. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 1, p. 1-10, 2019.

PARDE, Divyesh et al. A review of constructed wetland on type, treatment and technology of wastewater. **Environmental Technology & Innovation**, v. 21, p. 101261, 2021.

PEREIRA, Odilon Gomes et al. Características morfogênicas e estruturais do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 1870-1878, 2011.

QUDDOOS, Abdul et al. Geospatial insights into groundwater contamination from urban and industrial effluents in Faisalabad. **Discover Water**, v. 4, n. 1, p. 50, 2024.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 285p. 2001

RASHID, Mohd Afzanizam Abdul. Improving Food Production through Digitalizing the Fertigation System. In: **Digitalization and Development**. Routledge, 2023. p. 17-35.

REVISTA CULTIVAR. Fertirrigação: uma técnica com boas vantagens para a lavoura e o produtor. *Revista Cultivar*, 19 nov. 2020. Disponível em:

<https://revistacultivar.com.br/artigos/fertirrigacao-uma-tecnica-com-boas-vantagens-para-a-lavoura-e-o-produtor> . Acesso em: 16 ago. 2025.

SARTO, M. V. M.; BARBOSA, R. A.; BORGES, A. M.; PIRES, A. J. V.; FERNANDES, A. L. Tifton 85 fertilized with swine wastewater for eight years: forage yield and chemical composition and soil chemical properties. *Revista Caatinga*, v. 32, n. 3, p. 800-809, 2019.

SÉRVULO, L. L.; GOMES, V. R.; ROCHA, A. S.; SILVA, A. B. F.; ALMEIDA, J. F. Reúso de águas residuárias da bovinocultura na irrigação do capim Tifton-85. *Revista Ambiente & Água*, v. 19, n. 2, e3430, 2024.

SHARMA, Pooja; KUMAR, Sunil. Bioremediation of heavy metals from industrial effluents by endophytes and their metabolic activity: Recent advances. **Bioresource Technology**, v. 339, p. 125589, 2021.

SILVA, Roselir Ribeiro da; SIQUEIRA, Eduardo Queija de; NOGUEIRA, Ina de Souza. Impactos ambientais de efluentes de laticínios em curso d'água na Bacia do Rio Pomba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 217-228, 2018.

SILVA, Vanessa F. da et al. Tratamento anaeróbio de esgoto doméstico para fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. suppl 1, p. 186-190, 2005.

TEIXEIRA, C. A.; DE OLIVEIRA, R. A.; SOUSA, J. T.; CAVALCANTI, D. C.; MEDEIROS, J. M. E. Modeling nutrient uptake and productivity of *Cynodon* spp. (Tifton 85) in constructed wetlands under different loading rates. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, v. 56, n. 12, p. 1391–1400, 2021.

TERA AMBIENTAL. *Efluentes industriais: o impacto do descarte sem tratamento correto?* Tera Ambiental, [2025]. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/efluentes-industriais-o-impacto-do-descarte-sem-tratamento-correto>. Acesso em: 19 ago. 2025.

VELOSO, Marcos Emanuel da Costa. **Potencialidade de impacto ambiental por nitrato, doses de N e flutuações do lençol freático para a cultura do milho sob sistema de drenagem**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VEOLIA. *Sustentabilidade na indústria de alimentos e seu impacto no tratamento de água*. Veolia Water Technologies, 4 mar. 2024. Disponível em: <https://golatam.veoliawatertechnologies.com/pt/blog/sustentabilidade-na-industria-de-alimentos-e-seu-impacto-no-tratamento-de-agua>. Acesso em: 19 ago. 2025.