



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS**

NAIARA CRISTINA TAROCCO

**ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS DO SOLO FERTIRRIGADO COM ÁGUA
TRATADA DE GRAXARIA**

ILHA SOLTEIRA

2021

NAIARA CRISTINA TAROCCO

**ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS DO SOLO FERTIRRIGADO COM ÁGUA
TRATADA DE GRAXARIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade Estadual Paulista – UNESP, campus de Ilha Solteira como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Liliane Lazzari Albertin

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez

ILHA SOLTEIRA

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

T191a Tarocco, Naiara Cristina.
Alterações nos atributos do solo fertirrigado com água tratada de graxaria /
Naiara Cristina Tarocco. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2021
89 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Instrumentos da Política de
Recursos Hídricos, 2021

Orientador: Liliane Lazzari Albertin
Coorientador: Fernando Braz Tangerino Hernandez
Inclui bibliografia

1. Agricultura fertirrigada. 2. Água residuária. 3. Preservação ambiental.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS DO SOLO FERTIRRIGADO COM ÁGUA TRATADA DE GRAXARIA.

AUTOR: NAIARA CRISTINA TAROCCO

ORIENTADORA: LILIANE LAZZARI ALBERTIN

COORIENTADOR: FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, área: Instrumentos de Política de Recursos Hídricos pela Comissão Examinadora:



Prof.^a Dr.^a LILIANE LAZZARI ALBERTIN (Participação Virtual)

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP

Prof. Dr. CARLOS ANTONIO DA SILVA JUNIOR (Participação Virtual)

Departamento de Geografia / Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT)

Campus Sinop

Prof. Dr. GILMAR OLIVEIRA SANTOS (Participação Virtual)

Departamento de Agronomia / Universidade de Rio Verde-UniRV

Ilha Solteira, 17 de dezembro de 2021

DEDICATÓRIA

Ao meu pai Antonio Tarocco e minha mãe Leonir de Lourdes Cobachi Tarocco, que me educaram, servem de alicerce para minhas realizações e me possibilitaram mais essa conquista, exemplos de vida fundamentais para a minha vida pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me concedeu saúde para chegar até aqui e sabedoria para conquistar mais essa vitória em minha vida, sendo Ele o maior mestre que alguém possa ter.

Ao meu namorado Hamilton de Paula Bernardo Filho, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao meu querido irmão Emerson Junio Tarocco, pelo carinho, compreensão e por me fortalecer nos momentos difíceis.

Aos meus avós, tios e primos, por sempre estarem presentes em minha vida; pela contribuição valorosa.

Aos meus amigos e colegas de curso, pela cumplicidade, ajuda, amizade e inúmeros desafios que enfrentamos, sempre com o espírito colaborativo.

Ao empreendimento BJ RECICLAGEM ANIMAL LTDA, agradeço pela disponibilidade das águas residuais tratadas.

A minha orientadora Profa. Dra. Liliane Lazzari Albertin e coorientador Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez, pelo compromisso, disposição e valiosas contribuições oferecidas durante o auxílio nesta pesquisa.

Também quero agradecer a Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e o seu corpo docente que demonstrou estar comprometido com qualidade e excelência no ensino.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015 pelo apoio técnico científico.

“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem.
Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo.”

Walter S. Landor

RESUMO

As indústrias da produção animal geram uma grande quantidade de resíduos líquidos compostos principalmente por águas e nutrientes, instituindo uma água residuária. Esses resíduos podem ser um importante aliado para agricultura irrigada, mitigando impactos na poluição hídrica da indústria, originada pelo lançamento desses efluentes nos corpos d'água. O objetivo desta pesquisa foi avaliar as alterações nos atributos do solo após aplicação com água residuária tratada de graxaria para irrigação em área rural. Utilizou-se um sistema de irrigação localizada (microaspersão convencional), com quatro linhas paralelas e lâmina uniforme de irrigação na cultura da *Uroclhoa brizantha* cv. Marandu, durante um período de sete meses, com três tratamentos, sendo: tratamento 1 – aplicação com água de poço, tratamento 2 – aplicação com águas residuais, tratamento 3 – aplicação com águas residuais para réplica. Esses manejos foram feitos em três glebas subdivididas em dimensões iguais. Para averiguar os efeitos sobre as características físico-químicas do solo (macronutrientes e substâncias químicas). Foram efetuadas duas amostragens do solo, sendo a primeira antes da fertirrigação e a outra ao fim do experimento. Não foi observado aumento nas substâncias químicas do solo, porém obteve-se ampliação nos níveis de Na e NaCl na solução dos solos, especialmente nas camadas superficiais (0-0,2 m), ainda que foi lixiviado para perfis mais profundos (0,4-0,6 m), indicando um moderado potencial de salinização. Houve acréscimos de nutrientes como MO, K e P, e aumento na concentração de V%, SB, CTC, pH, indicando que a utilização de águas residuais de graxarias é viável para irrigação em área rural, podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo, e tornam o descarte sustentável e ricos em nutrientes. Contudo as concentrações de P e K, decresceu nos perfis de (0,2-0,4 m) e (0,4-0,6 m), devido a absorção da cultura para seu desenvolvimento. Assim, a fertirrigação com efluentes da agroindústria deve ser efetuada com acompanhamento constante, para que os procedimentos agronômicos sejam adotados antes de algum comprometimento da estrutura do solo, sem acarretar excesso de sais e nutrientes no mesmo, assegurando a preservação do solo e águas subterrâneas.

Palavras-chave: agricultura fertirrigada; água residuária; preservação ambiental; resíduos.

ABSTRACT

Animal production industries generate a large amount of liquid waste composed of water and nutrients, establishing a wastewater. These residues can be an important ally for irrigated agriculture, mitigating impacts on water pollution in the industry, caused by the release of these effluents into water bodies. The objective of this research was to evaluate the feasibility of reusing treated effluent from the rendering plant for irrigation in rural areas. A conventional microsprinkler system was used, with four parallel lines and uniform irrigation depths in the soil and in the crop of *Uroclhoa brizantha* cv. Marandu, over a period of seven months, with three treatments: treatment 1 – application with well water, treatment 2 – application with wastewater, treatment 3 – application with wastewater for replication. These managements were divided into three plots subdivided into equal dimensions, to investigate the effects of conduction on the physical-chemical characteristics of the soil (fertility pattern and chemical substances), two samplings were carried out, the first before fertigation and the other in the end of the experiment. There was no increase in soil chemical substances, but there was an increase in the levels of Na and NaCl in the soil solution, especially in the surface layers, although it was leached to deeper profiles, indicating a moderate potential for salinization. There were additions of nutrients such as MO, K and P, and increases in the concentration of V%, SB, CTC, pH, indicating that the use of wastewater from rendering plants is viable for irrigation in rural areas, can be used as indicators of soil quality, and making it a sustainable and nutrient-rich disposal. However, the concentrations of P and K, decreased due to the absorption of the culture for its development. Thus, fertigation with agro-industry effluents must be carried out with constant monitoring, so that agronomic procedures are adopted before any damage to the soil structure, without causing excess salts and nutrients in it, ensuring soil and groundwater preservation.

Keywords: fertigated agriculture; wastewater; environmental preservation; waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma de produção tradicional de uma graxaria (produção de sebo e de farinhas de carne e/ou de ossos.....	24
Figura 2. Área irrigada com efluentes tratadas e não tratadas na agricultura por país (mil ha)	27
Figura 3. Demanda hídrica na irrigação.....	28
Figura 4. Balanço hídrico no solo.....	30
Figura 5. Visualização da área e distribuição dos aspersores em um dos locais do experimento.....	42
Figura 6. Apresentação das áreas de tratamento (T1, T2 e T3) com água e efluentes.....	42
Figura 7. Vista da lagoa facultativa (A) e o caminho do efluente para fertirrigação (B).....	43
Figura 8. Armazenamento de água utilizada para irrigação.....	48
Figura 9. Disposição do sistema de aspersão por área.....	49
Figura 10. Teste de vazão dos microaspersores.....	50
Figuras 11. Teste de Pressão nas linhas área 2 (efluente) (A), e área 3 (água) (B), respectivamente.....	51
Figura 12. Caracterização climática em precipitação e evapotranspiração da cultura no período experimental (Janeiro – Julho, 2021)	55
Figura 13. Comportamento do Armazenamento de água no solo durante aplicação de água (T1) ao longo do experimento.....	57
Figura 14. Comportamento do Armazenamento de água no solo durante aplicação de efluente, e efluente réplica, respectivamente (T2 e T3) ao longo do experimento.....	57
Figura 15. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T1 na profundidade de 0-0,2m.....	61
Figura 16. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T1 na profundidade de 0,2-0,4m.....	61
Figura 17. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T1 na profundidade 0,4-0,6m.....	62

Figura 18. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T2 na profundidade 0-0,2 m.....	62
Figura 19. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T2 na profundidade 0,2-0,4 m.....	63
Figura 20. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T2 na profundidade 0,4-0,6 m.....	63
Figura 21. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T3 na profundidade 0-0,2 m.....	64
Figura 22. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T2 na profundidade de 0,2-0,4 m.....	64
Figura 23. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T2 na profundidade de 0,4-0,6 m.....	65
Figura 24. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T1 na profundidade de 0-0,2 m.....	70
Figura 25. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T1 na profundidade de 0,2-0,4 m.....	70
Figura 26. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T1 na profundidade de 0,4-0,6 m.....	71
Figura 27. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T2 na profundidade de 0-0,2 m.....	71
Figura 28. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T2 na profundidade de 0,2-0,4 m.....	72
Figura 29. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T2 na profundidade de 0,4-0,6 m.....	72
Figura 30. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T3 na profundidade de 0-0,2 m.....	73
Figura 31. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T3 na profundidade de 0,2-0,4m.....	73
Figura 32. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T3 na profundidade de 0,4-0,6m.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Diretrizes da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura para reutilização agrícola de água tratada.....	33
Tabela 2. Tratamentos dos efluentes de graxarias.....	38
Tabela 3. Valores obtidos na análise de água residuária da graxaria utilizada no experimento.....	45
Tabela 4. Precipitação e temperatura média mensal durante a avaliação do experimento.....	52
Tabela 5. Dados iniciais utilizados para elaboração da gestão da irrigação.....	53
Tabela 6. Método para a produção da planilha de manejo da irrigação.....	54
Tabela 7. Caracterização do manejo da irrigação.....	58
Tabela 8. Valores dos atributos dos macronutrientes do solo nas condições iniciais e após aplicações com T1, T2 e T3.....	60
Tabela 9. Valores dos atributos das substâncias químicas nas condições iniciais e após aplicações com T1, T2 e T3.....	69
Tabela 10. Algumas culturas aptas a obtenção de águas residuais e tolerância relacionada à salinidade.....	77
Tabela 11. Custo total da água residuária de cada cenário de acordo com as definições (SABESP, outorga e zero)	78
Tabela 12. Preços médios de Fertilizantes inorgânicos comercializados no município de Jales (50 kg)	79

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
Al – alumínio
As – Arsênio
a+s – Argila e silte
B – Boro
Ba – Bário
CAD – Capacidade de água disponível
Ca – Cálcio
Cd – Cádmiio
CAD – Capacidade de Água Disponível
CETESB – Companhia Ambiental no Estado de São Paulo
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV – Composto orgânicos voláteis
CORG – Carbono orgânico
COT – Carbono Orgânico Total
CTC – Capacidade de Troca Catiônica
Cu – Cobre
Cr – Crômio
DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica
DBO – Demanda bioquímica de oxigênio
DQO – Demanda química de oxigênio
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETc – Evapotranspiração da cultura
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário
ETo – Evapotranspiração de referência
F – Fator de disponibilidade de água no solo
F – Fluoreto
Fe – Ferro
FAO – Fundação das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
GIRH – Gestão Integrada de Recursos Hídricos

Hg – Mercúrio
H+Al – Acidez potencial
K – Potássio
Kc – Coeficiente de cultivo
Kgf/cm² - quilograma – força por centímetro quadrado
L – Litros
LB – Lâmina Bruta
LI – Lâmina Líquida
L/h⁻¹ – Litros por Hora
M – Metros
m.c.a – metros coluna d'água
m³ – metros cúbicos
mg – Miligramas
Mg – Magnésio
mg/l⁻¹ – Miligrama por Litro
mm/h – Milímetros por Hora
Mn – Manganês
MO – Matéria Orgânica
µg cm⁻¹ – Micrograma por Centímetro
N – Nitrogênio
N – Nitrogênio
N Kjeldahl – Nitrogênio Kjeldahl
N-NH₃– Nitrogênio Amoniacal
NO₃ – Nitrato
NO₂ – Nitrito
Na – Sódio
Ni – Níquel
NaCl – Cloreto de Sódio
OD – Oxigênio Dissolvido
OMS – Organização Mundial da Saúde
P – Fósforo
Pb – Chumbo
pH – Potencial Hidrogeniônico

POA – Processo de oxidação avançados

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SB – Soma de Bases

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

Se – Selênio

SO₄⁻² – Sulfato

STAR – Sistema de Tratamento de Águas Residuais

TI – Tempo de irrigação

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

V% – Umidade do solo

Z – Espessura de camada considerada

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo geral	20
2.2 Objetivos específicos	20
3 REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1 Histórico do uso de efluentes	21
3.2 Efluentes Industriais	23
3.3 Graxarias.....	23
3.4 Água na agricultura	25
3.5 A importância do manejo da irrigação	28
3.6 Potencial de área irrigada.....	31
3.7 Utilização de águas residuais na agricultura	32
3.8 Legislação em âmbito global	33
3.8.1 Legislação em âmbito nacional	34
3.8.2 Legislação em âmbito estadual – Estado de São Paulo.....	35
3.9 Impacto ambiental e efeitos dos efluentes	36
3.10 Tratamentos para os efluentes.....	37
3.11 <i>Urochloa brizantha cv. Marandu</i>	39
4 MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1 Delineamento Experimental: Apresentação da Área	41
4.2 Caracterização da água residuária a ser reutilizado em solo	43
4.3 Fonte de água utilizada no experimento	47
4.4 Atributos do solo analisados.....	48
4.5 Sistema de Aspersão	49
4.6 Testes Aspersiones	50
4.7 Testes de Pressão	50
4.8 Determinação do manejo utilizado na fertirrigação	51
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1 Monitoramento Climatológico	55
5.2 Armazenamento de Água no solo	56
5.3 Macronutrientes.....	59
5.4 Elementos traços e substâncias químicas no solo	68
5.5 Potencial de áreas irrigadas e culturas aptas para obtenção de águas residuais	76

5.6 Análise econômica de despesas industriais	77
5.7 Análise econômica de fertilizantes químicos	78
5.8 Geração de emprego com uso da irrigação	79
5.9 Limitações e recomendações	80
6 CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICE	
PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÕES – POP	90

1 INTRODUÇÃO

A água é um bem público de extrema importância para a humanidade, um recurso que mantém todo o ecossistema terrestre, e dentre sua importância inclui-se a manutenção de atividades antrópicas, tais como: a agricultura, pecuária, produções de bens de consumo e a sobrevivência humana. Sua ausência gera diversos transtornos ambientais, sociais e econômicos, tal que nos últimos anos, as questões relativas à água e o seu uso têm sido o foco de crescente preocupação e debate internacional (FERNANDES; HERNANDEZ, 2018).

No Brasil, a maior demanda pela água é para fins de produção de alimentos e para agricultura irrigada. De acordo com a Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA, 2021), o consumo de água total no país é de aproximadamente 65 trilhões de litros ao ano. Os principais responsáveis por este consumo é a agricultura (50%), seguida pelo abastecimento urbano (24%) e as indústrias de transformação correspondendo (9,7%). Estes índices estão de acordo com a média global (ANA, 2021).

Tendo em vista, as limitações dos recursos hídricos originados por alguns fatores como: a escassez hídrica, o rápido crescimento populacional, os longos períodos de secas, as mudanças climáticas, a poluição de água doce, torna-se necessário o emprego de métodos que contribuam para uma melhor gestão do uso das águas e minimizem os impactos negativos relacionados a geração de águas residuais oriundas das atividades industriais.

Nesse contexto, a reutilização de efluentes tratados na agricultura é uma alternativa sustentável de disposição final, na qual tem se tornado crescente nas últimas décadas devido ao seu potencial de fertilização, pois são ricos em nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, elementos importantes para o crescimento da cultura, reduzindo assim o uso de agrotóxicos (BERNARDI, 2003).

O reaproveitamento da água é um elemento-chave na Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), pois conduz benefícios simultâneos para agricultores, cidades e meio ambiente, além de fazer parte da solução para os problemas globais urgentes de segurança alimentar, água potável, descarga segura de águas residuais e proteção do ecossistema aquático vital (ANA, 2021).

Pesquisas evidenciam benefícios na produtividade das culturas irrigadas com águas residuais (FONSECA *et al.*, 2007; LEAL, 2007, AZEVEDO; OLIVEIRA, 2005)

e redução de até 50% na dose de fertilizante nitrogenado com reposição de 100% da evapotranspiração da cultura (GOMES, *et al.*, 2009). Entretanto, é necessário que esta prática seja controlada, principalmente devido à persistência de determinados constituintes no pós-tratamento do efluente, como por exemplo, o sódio, além de organismos patogênicos. Pode ainda conter sólidos suspensos, prejudiciais ao solo e às plantas, ao ser humano e aos sistemas de irrigação (FONSECA *et al.*, 2007).

Para a utilização dos efluentes da produção animal, torna-se fundamental que, primeiramente, se conheça suas características físicas, químicas e microbiológicas, de forma que se possa estabelecer medidas adequadas de proteção ambiental e a escolha de tecnologias apropriadas para sua disposição no ambiente. Conforme Kruzic (1997), existem quatro tipos de distribuição do efluente no solo: escoamento superficial, infiltração lenta ou fertirrigação, infiltração rápida e infiltração subsuperficial (ANA, 2021).

Além disso, a fim de colaborar com as disponibilidades hídricas, propondo o uso de recursos naturais de maneira equilibrada e sem prejuízos é necessário levar em consideração algumas variáveis da qualidade de água: salinidade, sodicidade, toxicidade, entre outros (ANDRADE; BRITO, 2009), estes são importantes fatores na determinação da qualidade de água de reuso que será destinada a irrigação.

A forrageira foi selecionada para a aplicação de efluentes por ser uma cultura não alimentícia, evitando assim, possíveis contaminações por microrganismos de águas residuais. O Objetivo desta pesquisa foi de avaliar as alterações nos atributos do solo fertirrigado com água residual tratada de graxaria via microaspersão convencional, com o cultivo de *Urochloa brizantha* cv. *Marandu*, em Jales – SP, propondo uma medida sustentável de reutilização.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar as alterações nos atributos do solo fertirrigado com água residual tratada de graxaria para irrigação em área rural, possibilitando uma reutilização de efluentes de modo sustentável e, conseqüentemente, reduzindo a poluição ambiental.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as condições do solo fertirrigado com água tratada de graxaria;
- Verificar se haverá aumento de nutrientes ao solo (por exemplo, cálcio, potássio, matéria orgânica) após aplicação com águas residuais;
- Verificar se a irrigação implicará na alteração de substâncias químicas do solo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Histórico do uso de efluentes

A utilização de águas residuais na agricultura é considerada uma gestão de recursos hídricos, decorrente da necessidade de um abastecimento regulado que compense a escassez de água causada por sazonalidade ou a disponibilidade irregular de outras fontes de água para irrigação de culturas em todo ano hidrológico. Embora o uso de águas residuais seja uma prática antiga, nem sempre foi gerenciado adequadamente ou atendeu aos padrões de qualidade de acordo com o uso. Assim, o conhecimento relativo ao uso de águas residuais evoluiu com a história da humanidade (FONSECA *et al.*, 2017).

A aplicação com efluentes passou por diferentes estágios de desenvolvimento. As primeiras evidências foram com uso de efluentes sanitários nos perímetros das cidades de Atenas e Roma, a partir disto passaram a ser transportados para os campos agrícolas a fim de serem utilizados como fertilizantes para culturas e pomares (HIRZEL *et al.*, 2017).

Entre os anos 1550 e 1700, o uso direto de efluentes em campos agrícolas foi estendido para fazendas na Alemanha, Escócia e Inglaterra. A partir de 1800, irrigação do solo com efluentes foi adotado em muitas cidades de rápido crescimento na Europa e nos Estados Unidos. Por exemplo, a prática foi considerada legal em cidades como Londres, Paris e Boston e foi considerada uma solução para o tratamento e disposição de grandes volumes de efluentes. Paris foi a primeira grande cidade a irrigar campos periurbanos com efluentes. Em 1872, a prática em Paris atingiu seu ponto máximo, na qual quatro áreas periurbanas diferentes foram irrigadas com efluentes. Foi nesse mesmo período que a alienação de órgãos municipais de efluentes também foram implementadas na Austrália. Em 1897, o primeiro campo a ser irrigado com efluentes foi estabelecido em Melbourne (HIRZEL *et al.*, 2017).

No século XIX, o transporte e disposição final de efluentes não tratadas a céu aberto em campos periurbanos desencadearam epidemias catastróficas de doenças transmitidas pela água, como cólera e febre tifóide. Essas epidemias levaram a vários marcos no saneamento, como o Público da Grã-Bretanha Lei de Saúde, que estabelece o “lançamento da água da chuva no rio e dos efluentes no solo” como o princípio primário (MINHAS *et al.*, 2015).

As potências europeias levaram a uma série de conferências sanitárias sobre higiene e demografia. Além disso, foi criada a Oficina Internacional de Higiene Pública, com a finalidade de realizar atividades sanitárias de controles ao longo das fronteiras. O desenvolvimento de sistemas de esgoto subterrâneos que surgiram nos meados do século XIX, acredita-se ser outra resposta às condições anti-higiênicas resultantes da industrialização pesada e urbanização, ocorrido naquela época (PETOUSI *et al.*, 2015).

No entanto, a utilização de efluentes em campos agrícolas continuaram a ser amplamente adotados pelas principais cidades europeias e Estados até o início do século XX. Durante a década de 1990, o interesse no uso de efluentes para fins agrícolas (irrigação indireta com efluentes brutos) aumentou em muitas partes do mundo devido à alta demanda de água deste setor (MINHAS *et al.*, 2015).

Durante este tempo, a reutilização de efluentes foi uma preocupação global devido aos riscos associados ao público, saúde e meio ambiente. Assim, em 1973, a Organização Mundial da Saúde (OMS) elaborou o documento “Reutilização de efluentes: métodos de tratamento de efluentes e salvaguardas da saúde”, com o objetivo de proteger a saúde pública e facilitar o uso racional de efluentes e excrementos na agricultura e aquicultura. Esta diretriz inicial foi elaborada na ausência de estudos epidemiológicos e de uma abordagem de risco mínimo (SILVA *et al.*, 2015).

Em 1986, uma análise completa de todos os estudos epidemiológicos disponíveis foi realizada, compilando uma série de evidências que refletiram a necessidade de revisão das diretrizes estabelecidas em 1973. Com base nessas considerações, estas foram posteriormente atualizadas em 1989 e novas evidências de saúde foi incorporado, tais como avaliações de risco, juntamente com informações adicionais sobre a definição de riscos toleráveis para a sociedade com base na situação atual de uma determinada doença em um país. Nestas diretrizes, foram estabelecidos parâmetros sobre a qualidade microbiológica dos efluentes para irrigação (SILVA *et al.*, 2016).

No entanto, as normas da OMS não incluem diretrizes de vigilância; portanto, sua formulação foi proposta com base em objetivos e medidas de proteção da saúde. Tais considerações foram incorporadas como parte dos regulamentos de efluentes produzidas pela OMS (FONSECA *et al.*, 2017).

3.2 Efluentes Industriais

Em graxarias, assim como outras indústrias da produção animal, há geração de efluentes líquidos na maior parte do processamento industrial. Desde o cozimento da matéria prima - geração de vapor, até a expedição final do produto. São compostos por efluentes gerados no processo produtivo, durante a operação de lavagem de veículos, pisos e equipamentos, descarga de digestores, lançamento das águas dos condensadores, da decantação do sebo, da drenagem de soluções aquosas e de lavadores de gases (PACHECO, 2008).

Os efluentes industriais são bastantes variáveis, mesmo que estes sejam da mesma categoria industrial, pois dependem das matérias primas utilizadas, das tecnologias empregadas nos processos, da idade da indústria, entre outros fatores (CETESB, 2018). Estes resíduos se evidenciam principalmente por: alta carga orgânica, flutuações de temperatura (água quente/fria), alto conteúdo de gordura, altos teores de nitrogênio e fósforo (BETINELI, 2011).

Em face do exposto, os despejos das atividades de subprodutos do abate, possui elevadas cargas de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), assim como altas concentrações de óleos, graxas e sólidos em suspensão. Geralmente, é possível encontrar fragmentos de carne, gorduras e vísceras, essa composição altamente orgânica, tornam o efluente putrescível, na qual entram em degeneração horas depois da sua geração (PACHECO, 2008).

O lançamento de efluentes industriais em redes de esgoto ou corpo receptor, devem obedecer aos padrões de descarte estipulados por normas e regulamentos, nos quais estão cada vez mais rígidos. Assim, para atender os critérios de disposição é necessário métodos de tratamentos e controle efetivo para os efluentes industriais.

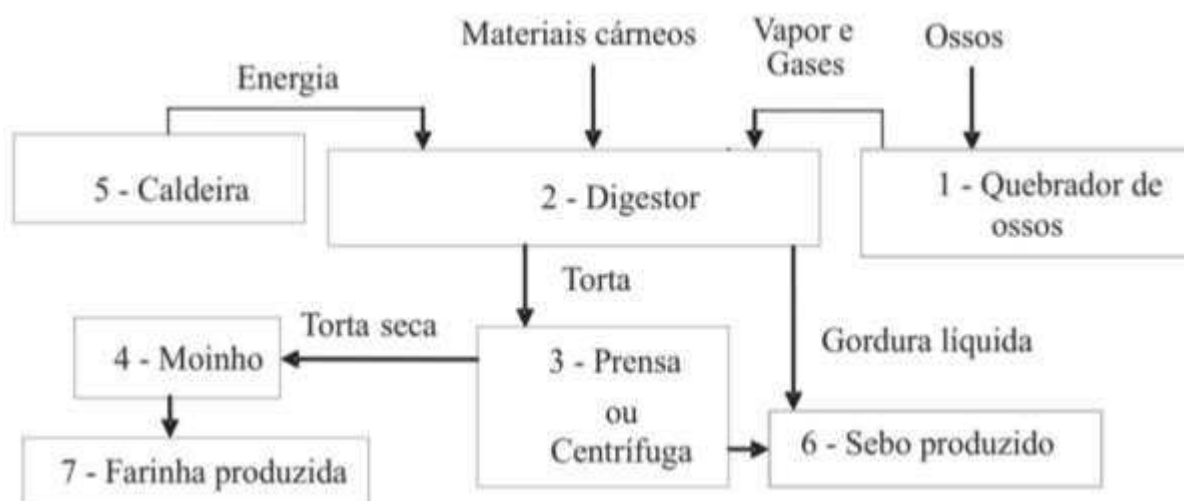
3.3 Graxarias

A indústria de processamento de carne é um dos maiores consumidores da água doce total usada na indústria agrícola e pecuária em todo o mundo. As fábricas de processamento de carne produzem grandes quantidades de efluentes de matadouro devido ao processo de abate e limpeza das instalações (BARROS; LICCO, 2020).

De acordo com Pacheco (2006, p. 25), as graxarias podem ser definidas como

empresas que processam subprodutos e/ou resíduos dos abatedouros ou frigoríficos e de casas de comercialização de carnes (açougues), como sangue, ossos, cascos, chifres, gorduras, aparas de carne, animais ou suas partes condenadas pela inspeção sanitária e vísceras não-comestíveis. Seus produtos principais são o sebo ou gordura animal (para a indústria de sabões/sabonetes, de rações animais e para a indústria química) e farinhas de carne e ossos (para rações animais). Há graxarias que também produzem sebo ou gordura e/ou o chamado adubo organo-mineral somente a partir de ossos. Podem ser anexas aos abatedouros e frigoríficos ou unidades de negócio independentes. Veja, por exemplo, o fluxo de produção tradicional de uma graxaria (Figura 1).

Figura 1. Fluxograma de produção tradicional de uma graxaria (produção de sebo e de farinhas de carne e/ou de ossos).



Fonte: Rebouças *et al.* (2010).

Na história do desenvolvimento dos municípios pode-se observar o contínuo desvio dos matadouros do centro para a periferia, por conta da contaminação que geram ao descartar seus subprodutos como resíduos. Modernamente, têm-se ganho relacionamento pacífico entre município e matadouro, graças a técnicas de tratamento de efluentes e de processamento dos subprodutos em graxarias. O meio ambiente é o principal beneficiário desta operação ao não necessitar degradar subprodutos putrescíveis e poluentes das águas, do solo e do ar, ao tempo em que a graxaria evita a propagação de insetos e roedores, promovendo também a esterilização de itens contaminados, que similarmente são veículos de zoonoses e epizootias. Atualmente,

a localização mais promissora dos matadouros/frigoríficos é entorno às regiões de criação dos animais, não mais nos centros de consumo, graças à utilização da frigorificação no transporte, uma vez que é mais acessível transladar a carne resfriada ou congelada que os animais vivos. Esta propensão apresenta similarmente progresso às zonas rurais e a redução da concentração das zonas urbanas (REBOUÇAS *et al.*, 2010).

A indústria de produção de alimentos é a principal produtora de efluentes com alto teor de gordura, composto orgânico volátil (COV), óleo e graxa, por isso a sua reutilização demanda tratamento físico, químico e biológico para que possa ser usado. Salienta-se que cada processo de tratamento tem diferentes vantagens e desvantagens dependendo das características dos resíduos, da tecnologia empregada, das jurisdições e dos regulamentos a serem seguidos. Os efluentes são normalmente avaliados usando parâmetros de massa por causa das várias cargas de poluentes derivadas do tipo e da quantidade de animais abatidos que transitam na indústria de carne. Assim, um tratamento no próprio local (*in loco*) por meio de processos combinados seria a melhor opção para tratar e desinfetar os efluentes de matadouros e graxarias, lançando-os de forma segura no meio ambiente (GIORDANO *et al.*, 2020).

Assim como em várias indústrias do setor alimentício, os principais aspectos e impactos ambientais do segmento produtor e beneficiador de carnes e derivados, conforme discutido anteriormente, estão ligados ao alto consumo de água, à geração de efluentes líquidos com alta carga poluidora, principalmente orgânica e geração de resíduos sólidos (PACHECO, 2008).

Dado o exposto, a prática da irrigação de efluentes, é bastante relevante, pois amenizam os impactos ambientais e a pressão pelo uso da água, além de reduzir o consumo de água potável. As águas residuais possuem altas concentrações de matéria orgânica no solo, fornecendo nutrientes ao mesmo, proporcionando o aumento da troca catiônica e redução da toxicidade, ocasionada pelo uso de defensivos agrícolas, representando benefícios ambientais e socioeconômicos (EMBRAPA, 2015).

3.4 Água na agricultura

A água é primordial para a produção agrícola e desempenha um papel

importante na segurança alimentar. Devido ao crescimento populacional, urbanização e mudanças climáticas, espera-se que a competição por recursos hídricos aumente, com impacto particular na agricultura. Prevê-se que a população aumente para mais de 10 bilhões até 2050, seja urbana ou rural, e que essa população precisará de alimentos e fibras para atender às suas necessidades básicas (BATISTA *et al.*, 2017).

Combinado com o aumento do consumo de calorias e alimentos mais complexos, que acompanha o crescimento da renda no mundo em desenvolvimento, estima-se que a produção agrícola precisará se expandir em aproximadamente 70% até 2050, de acordo com o Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). No Brasil, este número sobe para 72% e cresce à medida que o país é menos desenvolvido (CABRAL *et al.*, 2011).

O fato é que os recursos de água doce do mundo estão diminuindo devido à má gestão, uso indiscriminado e mudanças climáticas. Em muitas partes do mundo, a escassez e a má qualidade da água são um problema sério para a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental no futuro. Lidar com esses problemas requer uma melhor gestão da terra e da água (BATISTA *et al.*, 2017).

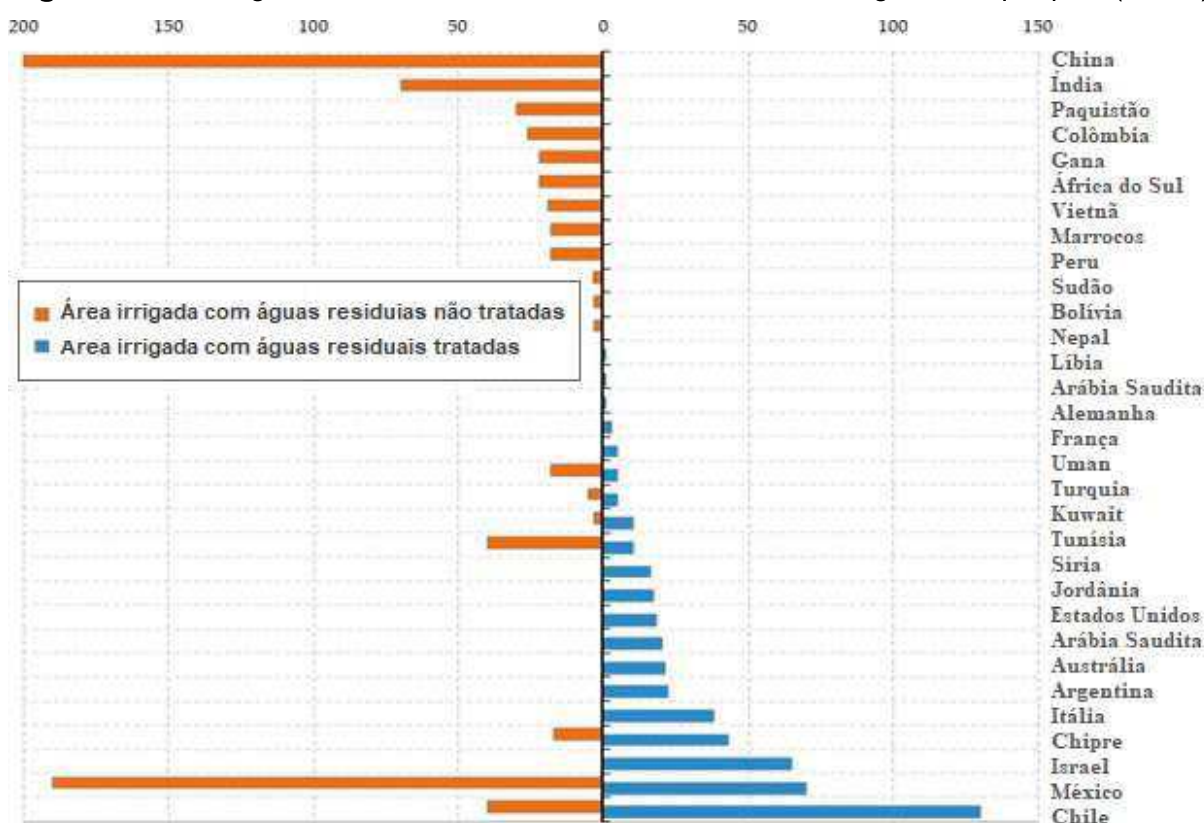
As melhorias na gestão dos recursos hídricos devem ser baseadas em uma abordagem integrada que englobe a gestão do solo, da água, das plantas e dos nutrientes. Isso deve incluir a otimização do cronograma de irrigação, bem como sistemas de irrigação mais eficientes, como a irrigação localizada e o manejo da irrigação. A fertilidade do solo precisa ser melhorada para garantir que o crescimento da cultura não seja limitado pela falta de nutrientes ou restrições físicas, e que cada gota de água possa ser totalmente utilizada para o crescimento da planta. A absorção eficiente de água para as lavouras é possível por meio de um manejo de irrigação com base na demanda que leva em consideração as diferentes necessidades de água das diferentes lavouras, estágios de crescimento e condições ambientais prevalentes (FERRO *et al.*, 2015).

Espera-se que a competição por recursos hídricos aumente no futuro, colocando uma pressão especial sobre a agricultura. Para apoiar o crescimento econômico estável, grandes mudanças serão necessárias nas alocações de água em vários setores. É necessário que uma melhoria na eficiência do uso da água seja acompanhada por uma realocação da água em regiões com estresse hídrico que oscila entre 25% e 40% do volume total. Na maioria dos casos, espera-se que essa realocação dos recursos hídricos venha da agricultura devido a sua alta participação

no consumo de água (JARAMILLO; RESTREPO, 2017).

A figura 2, apresenta um exemplo de áreas irrigadas com efluentes tratados e os principais países que se utilizam da técnica de irrigação, bem como demonstra o giro econômico em torno da produção agrícola.

Figura 2. Área irrigada com efluentes tratados e não tratados na agricultura por país (mil ha).



Fonte: Jaramillo e Restrepo (2017).

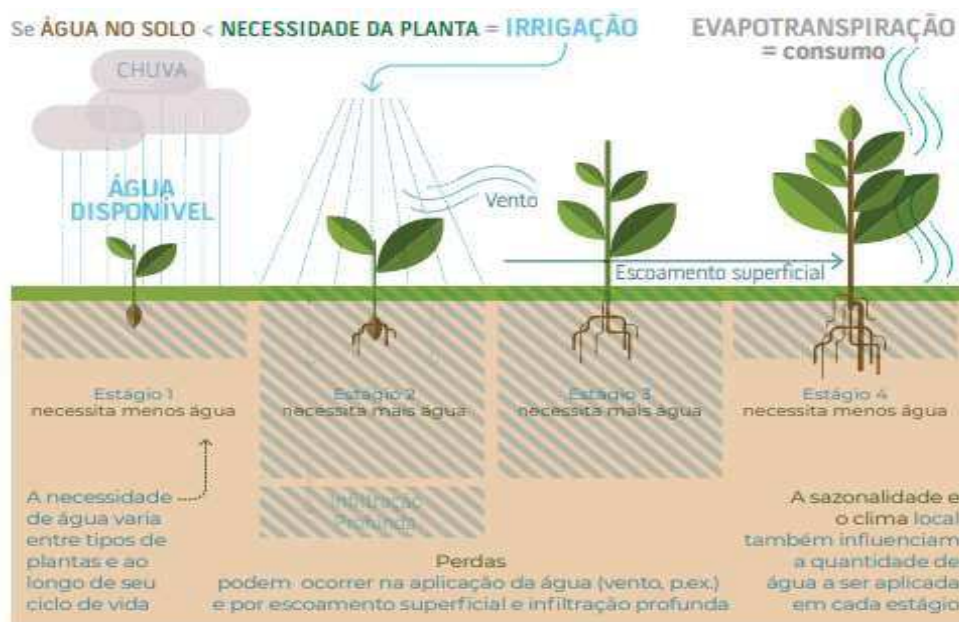
Pode-se observar que China e México possuem as maiores áreas irrigadas com efluentes. Nestes países é bastante comum o emprego desta prática, pois sofrem com escassez e má distribuição dos recursos hídricos, utilizam a aplicação de águas residuais a um longo período e possuem regulamentos com normas bem definidas para estabelecimento da atividade. Segundo Batista (2019), em países de alta renda como França por exemplo, não é muito habitual a reutilização de efluentes, pois o fundamento para o tratamento avançado das águas residuais está abrangido na manutenção da qualidade ambiental e/ou procurando fontes alternativas de água para enfrentar a escassez desse recurso natural. Contudo, a utilização das descargas de águas residuais não tratadas ainda é comum, especialmente em países em

desenvolvimento, devido a falta de infraestrutura, capacidade técnica, institucional e financeira (UNESCO, 2017). O uso de efluentes (tratados e não tratados) na agricultura irrigada foi documentado em mais de sessenta países, embora a verdadeira magnitude da prática seja provavelmente subestimada.

3.5 A importância do manejo da irrigação

O manejo da irrigação consiste em fornecer água para planta sem ocasionar estresse hídrico, contribuindo para melhorar a produtividade, a qualidade da produção, minimizar o desperdício de água, a lixiviação de nutrientes e a degradação ambiental. Trata-se da determinação da quantidade de água que pode ser armazenada no solo, na camada correspondente a zona radicular, e ser irrigada em intervalos suficientes para atender às necessidades de água para as culturas (BASTOS *et al.*, 2015). A figura 3 retrata a representação esquemática da demanda hídrica na irrigação.

Figura 3. Demanda hídrica na irrigação.



Fonte: Adaptado de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2017).

Conforme Camargo (2016), as práticas tradicionais do manejo da irrigação se baseiam na demanda hídrica da planta, definidos pelos requisitos de evapotranspiração e na eficiência da água. O gerenciamento da irrigação emana do

tempo, da quantidade e do método da irrigação; são dependentes dos seguintes fatores:

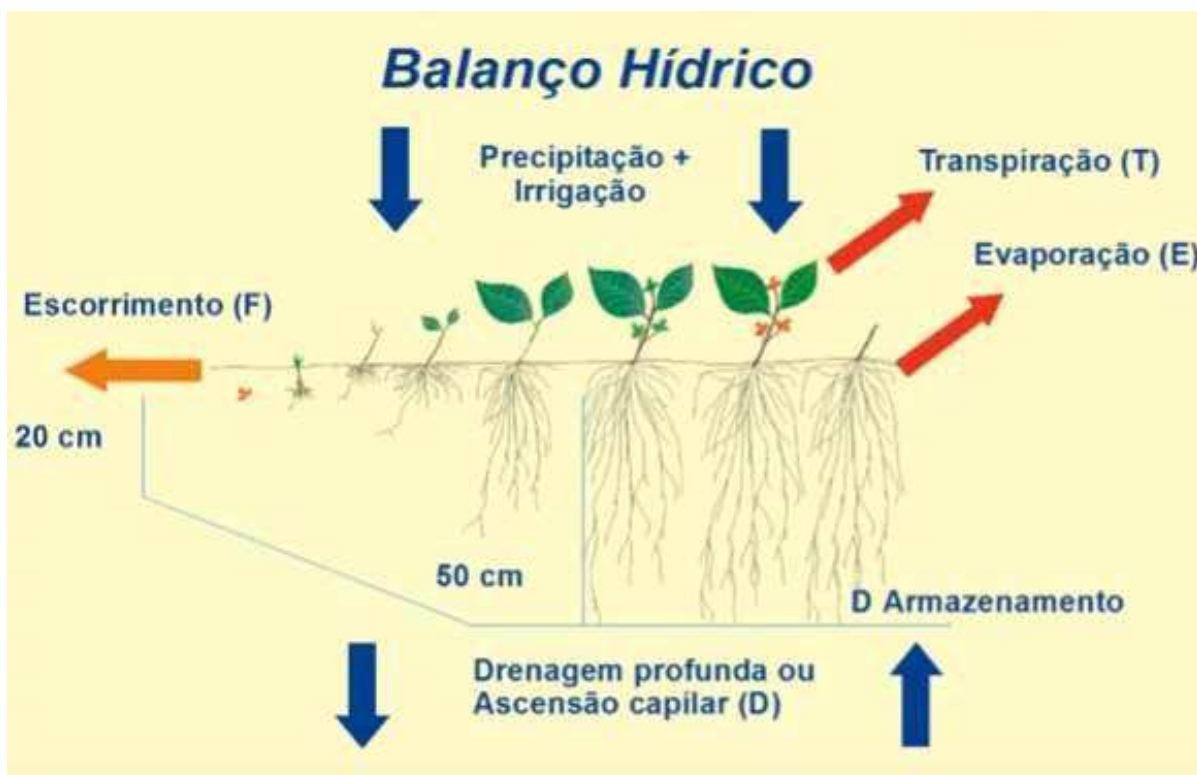
1. Clima – influenciando na evapotranspiração;
2. Cultura, desenvolvimento e grau de cobertura do solo – afetando a formação das plantas, transpiração, coeficiente de cultivo, evaporação do solo e a água disposta no dossel da espécie;
3. Características do solo – acarreta o acúmulo de água nas perdas por infiltração e escoamento;
4. Métodos de irrigação – induz a uniformidade de distribuição de água, bem como as perdas por evaporação, infiltração e escoamento superficial;
5. Irrigante na aplicação da água – influi na eficiência do sistema.

No que diz respeito aos métodos de irrigação, destaca-se: superfície, aspersão, localizado e subirrigação. O fato pelo qual existem vários tipos de irrigação são as condições de solo, clima, culturas, bem como equipamentos e recursos financeiros, nas quais o sistema de irrigação deve ser adaptado (CONCEIÇÃO, 2016).

A aplicação da irrigação em uma área lavrada é representada pelo balanço hídrico, consistindo nas entradas e saídas existentes no sistema solo-planta-atmosfera, durante um determinado intervalo de tempo. Assim, os fluxos de entradas são: irrigação, precipitação e ascensão capilar, e os de saídas: evapotranspiração, percolação profunda e escoamento superficial (CAMARGO, 2016).

A Figura 4 representa de forma resumida o balanço hídrico da água no solo, conforme descrito anteriormente.

Figura 4. Balanço hídrico no solo.



Fonte: Embrapa (2015)

O balanço hídrico é de fundamental importância, podendo ser utilizado para diversos fins tais como: classificação do clima de uma determinada área, definição dos períodos úmidos e de seca, acarretando em deficiência ou excesso de água de um determinado local para agricultura. Além disso, aponta melhor época para colheita, irrigação, manejo do solo e outras práticas ao longo do tempo.

Deste modo, o manejo da irrigação é essencial para agricultura, definindo o momento e a quantidade ideal de acordo com a necessidade hídrica da planta, na qual varia em função do seu estágio de desenvolvimento. Contudo, esta prática deve ser flexível e equilibrada de maneira que não ocorra excesso ou déficit, bem como o momento mais viável para proceder a irrigação, alcançando ao máximo o uso eficiente da água (CRUZ, 2019).

Em face ao exposto, o manejo adequado da irrigação proporciona um: maior aproveitamento do solo e fertilizantes, segurança em períodos de estiagem, maior produtividade da cultura, melhor qualidade do produto, plantio e colheita a longo prazo, minimizando o custo de produção. Além destes fatores, pode ser vista como vantagem socioeconômica, gerando empregos, aumentando a renda dos pequenos produtores e melhorando o desenvolvimento rural da região (LOPES SOBRINHO *et al.*, 2019).

3.6 Potencial de área irrigada

Independentemente do tipo de sistema de irrigação utilizado, o objetivo será maximizar a cultura e o retorno econômico que esta pode gerar. Para atender a esse requisito é importante que a água de irrigação seja aplicada de maneira uniforme, mesmo quando se irriga com água de boa qualidade, mas na aplicação de um efluente, uma boa uniformidade é ainda mais importante. Assim, boas práticas de planejamento, projeto e gestão são adequadas para um sistema que aplica efluentes. Uma das primeiras considerações no local é a disponibilidade, no tempo e no espaço, de águas residuais e de água doce. Idealmente, a origem do efluente será próxima à “área irrigada”.

O solo deve ser suficientemente permeável para permitir a movimentação adequada da água e sua drenagem, mas também deve ter capacidade de retenção e troca adequada para reter temporariamente os componentes do efluente. O perfil do solo deve ser espesso o suficiente para fornecer uma zona radicular adequada e de volume suficiente para armazenar e trocar os componentes do efluente. Por outro lado, o clima deve ser propício ao desenvolvimento e degradação da matéria orgânica fornecida pelo manancial. A área de terra necessária para um sistema de irrigação de águas residuais ocorre em função da disponibilidade de efluente, da demanda hídrica da cultura a ser irrigada, do clima e das características das águas residuais.

A irrigação com efluentes biológicos apresenta várias vantagens e uma delas é que permite reservar fontes de água potável ou doce para outros usos, uma vez que as lavouras não necessitam dessa água de alta qualidade. Outra vantagem é que os nutrientes do efluente podem ser úteis para a cultura. Em particular, as águas residuais possuem altas concentrações principalmente de N, P e K, além de abranger altos índices de outros macro e micro nutrientes. Em alguns casos, os dejetos industriais podem conter presença de metais pesados, quando de origem de indústrias que possuem esses elementos em seu processo de produção.

Assim, o custo-benefício da irrigação por efluente é favorável. Cada sistema de irrigação específico (localizada ou aspersão) também pode fornecer benefícios específicos, que serão detalhados posteriormente.

3.7 Utilização de águas residuais na agricultura

A disponibilidade de água em termos quantitativos e qualitativos é um fator chave para a economia de todas as regiões do mundo. A competição por recursos hídricos aumenta, especialmente entre agricultura, indústria, abastecimento público de água e na produção de energia pelas hidrelétricas (FONSECA *et al.*, 2017).

Por outro lado, nos países industrializados, as indústrias consomem mais da metade da água disponível para uso humano. As diretrizes da OMS de 2006 para o uso seguro de efluentes, excrementos e águas servidas constituem uma ferramenta para a gestão preventiva de efluentes na agricultura e fornecer orientações claras para tomadores de decisão sobre a aplicação de efluentes em diferentes contextos locais. As diretrizes primárias possuem o objetivo de apoiar a formulação de normas e regulamentos governamentais relativos ao uso e gestão de efluentes, considerando as especificidades de cada país (CABRAL *et al.*, 2011).

As instruções consistiram em uma análise microbiológica essencial para avaliação de risco que inclui dados da coleta de patógenos presentes em águas servidas, campos e plantações irrigadas. Além disso, as diretrizes incluem estimativas sobre a gestão de riscos à saúde e prevenção do uso de efluentes (FERREIRA *et al.*, 2019).

Essas diretrizes relacionam o grau de restrição do uso de água aos parâmetros de salinidade, infiltração e toxicidade de íons específicos. Em 1999, a FAO publicou diretrizes sugeridas para a “reutilização agrícola de águas tratadas e requisitos de tratamento”. Nessas diretrizes, o tipo de reaproveitamento agrícola foi classificado com base no tipo de cultura irrigada (Tabela 1).

A FAO apresenta que aproximadamente 10% do total da área irrigada global não recebe tratamento ou efluentes parcialmente tratadas, abrangendo 20 milhões de hectares em 50 países. Contudo, Jaramillo e Restrepo (2017) relataram que a estimativa da área irrigada com água residual é discriminada por país e por condições tratadas e não tratadas. Em relação ao volume de esgoto usado em agricultura, salienta-se que o continente europeu reutiliza $963 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ de efluentes não tratadas. Na América Latina, aproximadamente $400 \text{ mm}^3 \text{ s}^{-1}$ de efluentes brutas são descartados e posteriormente usado para irrigar culturas diferentes.

Tabela 1. Diretrizes da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura para a reutilização agrícola de água tratada.

Tipo de reutilização agrícola	Tipo de tratamento	Critério de qualidade
Reaproveitamento agrícola em lavouras que são consumidas e não processadas comercialmente	Filtração Secundária: Desinfecção	pH = 6,5 – 8,4 DBO < 10 mg L ⁻¹ < 2 UNT < 14 NMP E. coli/100 mL ⁻¹ < 1 Egg/L ⁻¹
Reutilização agrícola em lavouras que são consumidas e não processadas comercialmente	Secundário – Desinfecção	pH = 6,5 – 8,4 DBO < 30 mg/L ⁻¹ SS < 30 mg/L ⁻¹ < 200 NMP E. coli / 100 mL
Reaproveitamento agrícola em lavouras que não são consumidas	Secundário – Desinfecção	pH = 6,5 – 8,4 DBO < 30mg/L ⁻¹ SS < 30 mg/L ⁻¹ < 200 NMP E. coli / 100 mL

OBS: NMP (número mais provável)

Fonte: Cabral *et al.* (2011).

Para Cabral *et al.* (2011), o uso de efluentes de esgoto tratado (EET) para irrigação agrícola é uma prática antiga e popular na agricultura. No entanto, no Brasil esse método ainda é recente. A irrigação tem sido usada para três finalidades como: método complementar de tratamento de efluentes; uso da água marginal como fonte de água disponível para a agricultura, um setor que demanda aproximadamente 70% do uso consuntivo de água no Brasil e para uso de EET como fonte de nutrientes associado à economia de fertilizantes minerais e alta produtividade das colheitas.

Durante séculos, os efluentes foram utilizados de forma inadequada na agricultura, apresentando riscos potenciais à saúde pública e ao meio ambiente. No contexto do desenvolvimento científico, e confrontado por uma crise crescente de água, o reuso de efluentes merece consideração porque a prática ajuda a diminuir a pressão do uso da água e moderar a poluição da água (AZEVEDO; OLIVEIRA, 2015).

3.8 Legislação em âmbito global

Instituições importantes como Organização Mundial de Saúde (OMS), Organização das Nações para Alimentação e Agricultura (FAO) e Agência de Proteção

Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) publicaram várias diretrizes, incluindo o uso de águas residuais para fins agrícolas e florestais. A título de exemplo, pode-se mencionar a publicação da Organização Mundial da Saúde (OMS) de 2006 – “Diretrizes para uso seguro de efluentes e água cinza” e Volume II sobre “Uso de Efluentes na Agricultura”. Já a FAO, publicou um documento importante intitulado “Tratamento e Uso de Águas Residuais na agricultura – FAO irrigação e drenagem – 47” com normas para reutilização de água (INTERÁGUAS, 2017). Além destes órgãos internacionais, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) também emitiu regulamentos especificando séries de reuso sendo estes: urbano; agrícola; ambiental; recreacional; recarga de aquíferos e aumento do suprimento de água potável (INTERÁGUAS, 2017).

Em alguns países a reutilização de águas residuais na agricultura é praticada desde tempos antigos, como: China, Índia, México, EUA, Israel entre outros. Há poucos dados sistemáticos e disponíveis sobre os cenários mundiais de reutilização de água. Em termos de volume total, pode-se citar China, México e Estados Unidos. Neste último, o enfoque deve ser na Califórnia, Texas, Arizona e Flórida. Considerando o uso per capita, países como Kuwait, Israel e Cingapura são relevantes (MEJIA *et al.*, 2020).

3.8.1 Legislação em âmbito nacional

No Brasil, ainda não há instrumento legal em âmbito nacional, que defina parâmetros de qualidade de água para reuso de efluentes, há somente aspectos normativos e norteadores para este fim. Não é fornecida, maiores orientações sobre o assunto, nem indica claramente qual legislação pertinente deve ser acessada a fim de verificar métodos de análise de água e solo, bem como os limites máximos permitidos das variáveis físicas, químicas e biológicas de substâncias de águas residuais a serem aplicadas no solo (MEJIA *et al.*, 2020).

Em uma ordem cronológica, o primeiro documento normativo que abordou o tema foi a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 13.969/1997, na qual foi definida parâmetros de reuso individual em um documento que aborda critérios de projeto de unidades complementares de fossas sépticas (MEJIA *et al.*, 2020). Deste modo, esta norma fornece instruções alternativas simultâneas ao sistema de saneamento tradicional e possui como intuito, o desenvolvimento do saneamento

básico e proteção ambiental, além de mencionar a reutilização do esgoto para fins que não requeiram água potável, desde que seja de forma segura sanitariamente, como lavagem de pisos e veículos, descargas de vasos sanitários e irrigação de jardins (ABNT, 1997).

Posteriormente, o avanço foi do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), com a resolução nº 54/2005 que delimitou os tipos de reuso possíveis, entretanto, não especificou parâmetros de qualidade da água, associados aos tipos de reuso. Já o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) por meio da Resolução CONAMA nº 430/2011, na qual complementa e altera a Resolução nº 357/2005, definindo parâmetros, critérios e diretrizes para o lançamento de efluentes em corpos d'água abordou (Artigo 27º) que, as fontes potencial ou efetivamente poluidoras dos recursos hídricos devem, sempre que possível e adequado, proceder a reutilização de efluentes, não abordando novamente sobre os parâmetros de qualidade de água (MEJIA *et al.*, 2020).

Assim, para que a prática de reuso na agricultura seja desenvolvida de forma adequada, torna-se necessário a elaboração de uma legislação a nível federal específica com diretrizes, definindo conceitos, parâmetros e restrições a aplicação de águas residuais no solo, atendendo as nossas condições técnicas, cultural e socioeconômicas (ARAÚJO *et al.*, 2017).

3.8.2 Legislação em âmbito estadual – Estado de São Paulo

Na esfera estadual existem algumas normas técnicas que orientam a prática de reuso, como a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que publicou a norma CETESB P4.231, em dezembro de 2006, com intuito de estabelecer normas e procedimentos para armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, resíduo proveniente do setor sucroalcooleira, em solos paulistas. Este regimento foi elaborado, devido a necessidade de disciplinar o uso de disposição final deste material e evitar a ocorrência de poluição (CETESB, 2006).

Destaca-se também a norma CETESB P04.002, de maio de 2010, que visa estabelecer padrões e procedimentos para armazenamento, transporte e aplicação em solos agrícolas, de efluentes líquidos e lodos gerados pela atividade de processamento de frutas cítricas no estado de São Paulo, a fim de minimizar o risco de poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas (CETESB, 2010).

Ainda no estado de São Paulo, encontra-se mais algumas normativas que trabalham abordando essa temática, como: a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 1/2017, na qual disciplina o reúso para fins urbanos, proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário e dá providências correlatas (INTERÁGUAS, 2018). Além do do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, documento com recomendações de critérios de qualidade para reúso na agricultura e urbano (PROSAB, 2006).

3.9 Impacto ambiental e efeitos dos efluentes

O processo de industrialização, desde a comercialização até o produto final de produtos de origem animal para consumo leva à produção de um grande volume de efluentes. Embora o meio ambiente possa lidar com uma certa quantidade de poluentes por meio de processos de degradação natural, conforme a concentração aumenta, esses mecanismos vêm a ser sobrecarregado, onde os problemas de contaminação começam. A descarga de efluente bruto para corpos d'água afeta a qualidade da água, principalmente por causar uma redução do oxigênio dissolvido (OD), que pode levar à morte da vida aquática ou contaminação do meio ambiente (PAZ *et al.*, 2000).

Além disso, macronutrientes, como nitrogênio e fósforo, podem causar eutrofização. A descarga desses nutrientes desencadeia um crescimento excessivo de algas. Assim, a mineralização das algas pode levar à deterioração da vida aquática devido ao esgotamento dos níveis de OD. Pode conter compostos, como cromo e amônia ionizada, que é diretamente tóxica para a vida aquática (SILVA *et al.*, 2015).

Outra fonte de contaminação da indústria de processamento de carnes é a adição de surfactantes como resultado do processo de limpeza. Os surfactantes, principais componentes dos detergentes, podem entrar no ambiente aquático devido a um tratamento inadequado, causando curto e longo prazo mudanças no ecossistema que afetam humanos, peixes e vegetação. O impacto ambiental não é apenas caracterizado pela poluição via surfactantes, nitrato e ânions clóricos, mas também patógenos, que persistem no solo e se reproduzem continuamente. Patógenos também podem ser transmitidos a humanos expostos ao corpo d'água, tornando essas áreas impróprias para beber, nadar ou utilizar para irrigação (PAZ *et al.*, 2000).

Os efeitos gerais da indústria de processamento de carnes na saúde pública estão relacionados à interação das comunidades humanas com as atividades do matadouro e interações indiretas com o meio ambiente, que pode ser anteriormente afetado pela gestão inadequada dos efluentes líquidos, resíduos sólidos e odores desagradáveis. Processos de tratamento tradicional não têm grande impacto na redução de resistência a antibióticos. Cepas de *Escherichia coli* presentes nos efluentes, destacando os riscos à saúde pública, tratados inadequadamente no que diz respeito à propagação de antibióticos, bactérias resistentes e patogênicas no meio ambiente (BARROS; LICCO, 2020).

As condições nada higiênicas em alguns matadouros permitem a proliferação de patógenos para o produto cárneo final a ser consumido. Pessoas de países em desenvolvimento na África, Ásia e América do Sul obtiveram doenças gastrointestinais graves, diarreia com sangue, problemas no e, em alguns casos, morte associada à presença de vírus, protozoários, ovos helmínticos e bactérias. Portanto, os efluentes devem ser tratados de forma eficiente antes da descarga em corpos d'água para evitar poluição ambiental e efeitos na saúde humana.

3.10 Tratamentos para os efluentes

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) o número de frigoríficos e graxarias estão aumentando, o que resulta em um esperado volume maior de água residual a ser tratada, estes por sua vez são classificados como efluentes industriais prejudiciais ao meio ambiente, porque há a possibilidade de descarte inadequado. Os efluentes exigem tratamento para uma liberação segura e sustentável para o meio ambiente, portanto o tratamento e descarte de efluentes de matadouros e graxarias são uma necessidade econômica e de saúde pública (PAZ *et al.*, 2000).

De acordo com Pacheco (2006), para minimizar os impactos ambientais de seus efluentes líquidos industriais e atenderem às legislações ambientais locais, as graxarias devem fazer o tratamento destes efluentes. Este tratamento pode variar de indústria para indústria, mas um sistema de tratamento típico do setor possui as seguintes etapas:

Tabela 2. Tratamentos dos efluentes de graxarias.

Tratamento primário	Para remoção de sólidos grosseiros, suspensos sedimentáveis e flotáveis, principalmente por ação físico-mecânica. Geralmente, empregam-se os seguintes equipamentos: grades e peneiras, para remoção de sólidos grosseiros; na sequência, caixas de gordura (com ou sem aeração) e/ou flotoadores, para remoção de gordura e outros sólidos flotáveis; em seguida, sedimentadores, peneiras (estáticas, rotativas ou vibratórias) e flotoadores (ar dissolvido ou eletroflotação), para remoção de sólidos sedimentáveis, em suspensão e emulsão – sólidos mais finos ou menores.
Equalização	Realizada em um tanque de volume e configuração adequadamente definidos, com vazão de saída constante e com precauções para minimizar a sedimentação de eventuais sólidos em suspensão, por meio de dispositivos de mistura, permite absorver variações significativas de vazões e de cargas poluentes dos efluentes líquidos a serem tratados, atenuando picos de carga para a estação de tratamento. Isto facilita e permite otimizar a operação da estação como um todo, contribuindo para que se atinja os parâmetros finais desejados nos efluentes líquidos tratados.
Tratamento secundário	Para remoção de sólidos coloidais, dissolvidos e emulsão, principalmente por ação biológica, devido à característica biodegradável do conteúdo remanescente dos efluentes do tratamento primário, após equalização. Nesta etapa, há ênfase nas lagoas de estabilização, especialmente as anaeróbias. Assim, como possibilidades de processos biológicos anaeróbios, pode-se citar: as lagoas anaeróbias (bastante utilizadas), processos anaeróbios de contato, filtros anaeróbios e digestores anaeróbios de fluxo ascendente. Com relação a processos biológicos aeróbios, pode-se ter processos aeróbios de filme (filtros biológicos e biodiscos) e processos aeróbios de biomassa dispersa (lodos ativados – convencionais e de aeração prolongada, que inclui os valos de oxidação). Também é bastante comum observar o uso de lagoas fotossintéticas na sequência do tratamento com lagoas anaeróbias.
Tratamento terciário	(Se necessário, em função de exigências técnicas e legais locais): realizado como polimento final dos efluentes líquidos provenientes do tratamento secundário, promovendo remoção suplementar de sólidos, de nutrientes (nitrogênio, fósforo) e de organismos patogênicos. Podem ser utilizados sistemas associados de nitrificação-desnitrificação, filtros e sistemas biológicos ou físico-químicos (ex.: uso de coagulantes para remoção de fósforo).

Fonte: Adaptado de Pacheco (2006).

Em geral, recomenda-se sistemas que possuam, no mínimo, gradeamento e flotação, equalização-homogeneização e tratamento biológico apropriado (nesta sequência). Quando a graxaria é anexa aos abatedouros ou frigorífico, pode-se ter variações como tratamento primário individualizado dos efluentes da graxaria e posterior mistura. A concentração de matéria orgânica em efluentes de graxarias é geralmente alta, e os resíduos são moderadamente solubilizados, levando a um efeito poluente devido aos altos níveis de orgânicos e patógenos presentes, associado aos detergentes usados para fins de limpeza (BARROS; LICCO, 2020).

O tratamento anaeróbio é o tratamento biológico preferido devido à sua eficácia no tratamento efluentes de alta resistência, com requisitos de equipamentos menos complexos. Embora o tratamento anaeróbio seja eficiente, os efluentes tratados anaerobicamente requerem pós-tratamento para cumprir os limites de descarga exigidos onde a estabilização completa da matéria orgânica não é possível apenas pelo tratamento anaeróbio. Efluentes tratados anaerobicamente contêm solubilização de matérias orgânicas, que são mais adequadas para o tratamento por processos aeróbicos. Portanto, sistemas de tratamento aeróbio são mais frequentemente usados em sistemas de tratamento de efluentes, uma vez que eles operam em taxas mais altas do que os métodos convencionais de tratamento anaeróbio. Deve-se levar em conta que as necessidades de oxigênio e o tempo de tratamento são diretamente proporcionais a um aumento na força dos efluentes, o tratamento aeróbio é frequentemente aplicado como pós-tratamento de anaeróbios efluentes, bem como para a remoção de nutrientes (BARROS; LICCO, 2020).

No entanto, os processos biológicos por si só não produzem efluentes que atendam aos limites de descarga de efluentes no tratamento de efluentes de alta resistência orgânica. O uso de processos anaeróbicos e aeróbicos combinados são benéficos para a recuperação potencial de recursos e alta eficiência de tratamento. Por outro lado, alguns efluentes de matadouros e graxarias contêm tóxicos, bioresistentes, recalcitrantes e substâncias não biodegradáveis. Assim, processos de oxidação avançados (POA) podem ser usados para melhorar a biodegradabilidade e inativar microrganismos patogênicos e vírus, deixados após o tratamento biológico dos efluentes. Conseqüentemente, os POAs são uma alternativa atraente e um método de tratamento complementar aos processos biológicos para o tratamento de efluentes de matadouro, especialmente como método de pós-tratamento (SILVA *et al.*, 2016).

Adoção de tratamento biológico e POA para o tratamento de efluentes de matadouro é considerado operacionalmente e economicamente vantajoso. Processos combinados incorporam vantagens de diversas tecnologias para alcançar efluentes de alta qualidade de produtos industriais e de alta resistência de efluentes para reutilização de água e recuperação de recursos. O uso de efluentes tratados ou não na agricultura não está isento de efeitos adversos no meio ambiente, especialmente no solo. A literatura científica inclui evidências de alterações nos parâmetros físico-químicos do solo. Além disso, variações foram observadas na estrutura e magnitude da biomassa microbiana no solo, bem como um aumento na atividade microbiana causada pelo reuso de efluentes agrícolas (AZEVEDO; OLIVEIRA, 2015).

A alteração dos parâmetros físico-químicos e da microbiota do solo pode afetar a fertilidade e a produtividade, perturbando a sustentabilidade do solo devido à irrigação inadequada com efluentes. Segue-se uma revisão sobre os efeitos da reutilização de efluentes na agricultura e o impacto nos parâmetros físico-químicos, como pH, matéria orgânica, nutrientes, salinidade e contaminantes, bem como na diversidade microbiana (FERREIRA *et al.*, 2019).

Para Ferro *et al.* (2015), diversos estudos de pesquisa relataram variações no pH do solo resultantes da irrigação com efluentes de sistemas de tratamento de efluentes em diferentes níveis de tratamento (preliminar, primário e secundário). Além disso, as mudanças no pH do solo estão correlacionadas a três fatores:

- Tipo de cobertura do solo;
- Textura do solo; e
- Período de irrigação.

As mudanças no pH do solo influenciam a disponibilidade de nutrientes e metais, a capacidade de troca catiônica (CTC) e a mineralização da matéria orgânica. Além disso, diferentes pesquisadores consideram a incidência do pH um fator decisivo na determinação do número de espécies e variedade de microrganismos do solo, uma vez que o aumento dos metais livres não está relacionado às mudanças no pH do solo, e a concentração e disponibilidade dos metais têm potencial para afetar o substrato das comunidades microbianas (BARROS; LICCO, 2020).

Além disso, a matéria orgânica é crítica para o armazenamento de nutrientes e a estrutura do solo. Através da formação e estabilização de agregados (areia, cal e

argila), o teor de matéria orgânica contribui para a capacidade do solo de reter água, afetando as propriedades de drenagem e resistência à compactação. A matéria orgânica também constitui um depósito de macro e micronutrientes importantes (N, P e S) para o crescimento da planta, contribuindo para a capacidade de troca catiônica (CTC) e, conseqüentemente, para a fertilidade do solo (FERRO *et al.*, 2015).

Dependendo da quantidade de matéria orgânica contribuída, diferentes estudos relataram um aumento no carbono orgânico total (COT) e nitrogênio (N) nos solos irrigados com efluentes domésticos. Este fenômeno também faz com que a disponibilidade de matéria orgânica aumente. Como consequência, a presença de populações específicas de bactérias pode ser favorecida no solo. Entre 40% e 70% das bactérias do solo estão associadas a agregados estáveis (partículas de argila) (BARROS; LICCO, 2020).

3.11 *Urochloa brizantha* cv. *Marandu*

A *Urochloa brizantha* cv. *Marandu* foi lançada pela EMBRAPA em 1984 e por apresentar boa produtividade e qualidade da forragem, rápido estabelecimento, boa cobertura de solos e capacidade de competição com invasoras, passou a ser uma das principais espécies forrageiras utilizadas na Região Centro-Oeste e no Brasil, onde ocupa uma área de cerca de 70 milhões de hectares (EMBRAPA, 2007). De acordo com Nunes *et al.* (1985), a *Urochloa brizantha* é uma espécie cespitosa e robusta, que pode atingir cerca de 1,5 a 2,5 m de altura, quando em crescimento livre, apresenta colmos iniciais prostrados, mas produz perfilhos predominantemente eretos, rizomas muito curtos e encurvados, bainhas pilosas com cílios nas margens, geralmente mais longas que os entrenós, escondendo os nós, o que confere a impressão de haver densa pilosidade nos colmos vegetativos.

O sistema basilar é formado por rizomas curtos, com menos de 5 cm, e encurvados, cobertos por escamas (catáfilos). As folhas linear-lanceoladas, com ápice agudo, arredondadas e carenadas na base, podem atingir até 2 cm de largura e 50 cm de comprimento, com numerosas nervuras finas bem definidas e nervura central muito evidente, com bainhas quase fechadas, em geral, densamente pilosas, com pelos longos e esbranquiçados. As inflorescências atingem até 40 cm de comprimento, com 4 a 6 racemos (FONSECA; MARTUSCELLO, 2010).

O valor nutritivo de suas folhas é considerado entre moderado e bom, a

digestibilidade da massa seca está entre 65 e 72%; teores de proteína bruta entre 7 e 15%; teores de fósforo variam de 1,5 a 1,7 g kg⁻¹ e de cálcio entre 1,4 e 2,2 g kg⁻¹. Recomenda-se que o corte seja efetuado entre 20 e 30 cm, para facilitar o rebrote da planta (COSTA *et al.*, 2001). Para Vilela (2005), o valor nutritivo varia de acordo com sua idade, assim, com 60 dias de crescimento, ela possui 29,5% de matéria seca (MS) e 10,5% de proteína bruta (PB). A produtividade média, de acordo com este autor, gira em torno de 10 a 17 toneladas MS/ha⁻¹/ano, sendo também resistente à cigarrinha.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Delineamento Experimental: Apresentação da Área

O experimento foi conduzido em área rural próxima à empresa BJ Reciclagem Animal LTDA, inserida na Microrregião de Jales, cidade localizada na região noroeste do estado de São Paulo, compreendida na sub-bacia do Ribeirão Marimbondo, pertencente a UGRHI 18 – São José dos Dourados.

Acerca das características climáticas, a região, quase que em sua totalidade, pertence ao tipo de clima Aw tropical chuvoso, na classificação proposta por *Koepen*; caracterizando inverno seco, sendo que o mês mais frio possui temperatura média superior a 18°C e o mês mais seco apresenta índice de precipitação inferior a 60mm (MODESTO, 2016). O experimento desenvolvido nessa pesquisa foi aplicado em pastagem da espécie *Urochloa brizantha* cv. Marandu, nas coordenadas geográficas de 20°18'38.76" Latitude Sul e 50°33'26.47" de Longitude Oeste com altitude do ponto de visão de 606 metros.

Para execução do mesmo não houve preparo do solo, já que a espécie é nativa do local. A forrageira apenas foi cortada na altura de 5 cm; tendo como referência o nível do terreno, no dezembro de 2020, uma semana antes do princípio do procedimento, a frequência do corte ocorreu de acordo com a velocidade do seu crescimento, ou seja, quando a forrageira atingiu a altura da estaca do microaspersor (0,30 m) acima do nível do solo. É preciso salientar que o presente estudo teve uma duração de sete meses, com início em 04 de janeiro de 2021 e término em 30 de julho de 2021.

A Figura 5 apresenta a demarcação do local e a disposição dos microaspersores. O experimento foi gerido em uma área útil de 330,75 m², subdivididos em 3 parcelas iguais de 110,25 m², com 10,5 de largura e 10,5 de comprimento. Foi realizado três tratamentos, sendo estes:

T1 – Irrigação com água de poço via aspersão;

T2 – Aplicação com água residuária de bovinocultura via aspersão;

T3 – Aplicação com água residuária de bovinocultura para réplica via aspersão.

Figura 5. Visualização da área e distribuição dos aspersores em um dos locais do experimento.



Fonte: Autora (2021).

Figura 6. Apresentação das áreas de tratamento (T1, T2 e T3) com água e efluentes.



Fonte: Autora (2021).

4.2 Caracterização da água residuária a ser reutilizado em solo

Os efluentes gerados na indústria são destinados ao Sistema de Tratamento de Águas Residuais (STAR), composto por tratamento preliminar: caixa de gordura e flotor com separação de óleos e gorduras, em seguida são conduzidos para as lagoas de estabilização, sendo estas combinadas por uma lagoa anaeróbia e uma facultativa. A geração de efluentes é variável, pois depende da quantidade da produção, durante o período da pesquisa esteve em $2.200 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$.

A STAR está estabelecida dentro da área da BJ RECICLAGEM ANIMAL LTDA, limitada a 486 metros do experimento, com diferença de nível de 13 m da área de estudo, e altitude do ponto de visão de 1.400 m, a linha principal de irrigação possui 40 m de comprimento. Foi determinado este local para não suceder qualquer interferência de animais e circulação de veículos durante o período do teste.

O efluente tratado utilizado para irrigação da pastagem foi captado da lagoa facultativa e seguiu por gravidade diretamente ao local da pesquisa, através de uma tubulação de polietileno de 75 mm, foi instalado um registro para domínio da aplicação. Concomitantemente a irrigação com água residual, praticou-se a aplicação com água de poço a fim de complementar o teste.

Figura 7. Vista da lagoa facultativa (A) e o caminho do efluente para fertirrigação (B).



Fonte: Google Earth (2021).

O efluente foi caracterizado de acordo com a Norma Técnica CETESB P04-002/2010 (Efluentes e lodos fluidos de indústrias cítrica – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola), nos quais são especificados os seguintes

parâmetros: sólidos dissolvidos totais, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, óleos, graxas, oxigênio dissolvido, série nitrogenada completa (N-Kjeldahl, N-Amônia, N-Nitrato, N-Nitrito), alumínio, sódio, cálcio, potássio, magnésio, bário, boro, fluoreto, carbono orgânico total – COT, sulfeto, sulfato, cloreto, fósforo total, ferro, zinco, níquel, manganês, cobre, cádmio, chumbo, cromo e mercúrio. Os resultados de metais são expressos em teores totais; os indicadores de qualidade avaliados foram: sólidos dissolvidos totais, demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, óleos, graxas e oxigênio dissolvidos.

Os teores das variáveis analisadas após o tratamento do efluente são apresentados na Tabela 3. Pode-se observar que o efluente de subprodutos do abate de bovino não contém elementos químicos potencialmente tóxicos, e são ricos em materiais orgânicos, apresentando bons atributos para disposição final no solo. O ponto de coleta foi na lagoa facultativa, as análises foram realizadas em outubro de 2020 e são realizadas anualmente.

Tabela 3. Valores obtidos na análise de água residuária da graxaria utilizada no experimento.

Parâmetros	Valor	Unidade	Metodologia
Alumínio Total	< 10,00	µg/L ⁻¹	Prep: EPA 30 ^a 0A, 1992/Det:SMWW, 23 ^a Edição,2017, Método 3120
Amônia NH ₃	0,66	mg/L ⁻¹	SMWW 23 ^a Edição, 2017, Método 4500 NH3 D
Bário Total	< 25,00	µg/L ⁻¹	Prep: EPA 30 ^a 0A, 1992/Det:SMWW, 23 ^a Edição,2017, Método 3120
Boro Total	< 25,00	µg/L ⁻¹	Prep: EPA 30 ^a 0A, 1992/Det:SMWW, 23 ^a Edição,2017, Método 3120
Cádmio Total	< 1,00	µg/L ⁻¹	Prep: EPA 30 ^a 0A, 1992/Det:SMWW, 23 ^a Edição,2017, Método 3120
Cálcio	17,15	mg/L ⁻¹	ASTM D 6919-09:2009
Carbono Orgânico Total	101,00	mg/L ⁻¹	5310 B e C
Chumbo Total	< 5,00	µg/L ⁻¹	Prep: EPA 30 ^a 0A, 1992/Det:SMWW, 23 ^a Edição,2017, Método 3120
Cloreto	7,21	mg/L ⁻¹	EPA 300:1:1999
Cobre Total	< 25,00	µg/L ⁻¹	Prep: EPA 30 ^a 0A, 1992/Det:SMWW, 23 ^a Edição,2017, Método 3120
Condutividade Eletrolítica	238,70	µg/cm ⁻¹	SMWW 23 ^a Edição, 2017 Método 2510B
Cromo Total	< 25,00	µg/L ⁻¹	Prep: EPA 30 ^a 0A, 1992/Det:SMWW, 23 ^a Edição,2017, Método 3120
Ferro Total	< 25,00	µg/L ⁻¹	Prep: EPA 30 ^a 0A, 1992/Det:SMWW, 23 ^a Edição,2017, Método 3120
Fluoreto	< 0,14	mg/L ⁻¹	ME96, revisão 1
Fósforo Total	56,74	µg/L ⁻¹	Prep: EPA 30 ^a 0A, 1992/Det:SMWW, 23 ^a Edição,2017, Método 3120
Magnésio	11,020	mg/L ⁻¹	ASTM D699-09:2009
Manganês Total	< 25,00	µg/L ⁻¹	Prep: EPA 30 ^a 0A, 1992/Det:SMWW, 23 ^a Edição,2017, Método 3120
Mercúrio Total	< 0,0001	mg/L ⁻¹	SMWW 23 ^a Edição, 2017, Método 3112B
Níquel Total	< 1,000	µg/L ⁻¹	Prep: EPA 30 ^a 0A, 1992/Det:SMWW, 23 ^a Edição,2017, Método 3120

Nitrato como N	<0,10	mg/L ⁻¹	EPA: 300.1:1999
Nitrito como N	0,17	mg/L ⁻¹	EPA: 300.1:1999
Nitrogênio Amoniacal (N–NH ₃)	0,54	mg/l ⁻¹	SMWW 23 ^a Edição, 2017, Método 4500 NH ₃ D
Nitrogênio Kjeldahl	44,80	mg/L ⁻¹	SMWW 23 ^a Edição, 2017, Método 4500Norg C
pH	8,66	mg/l ⁻¹	SMWW, 23 ^a Edição, 2017, Método 2580B
Potássio	47,21	mg/L ⁻¹	ASTM D6919-09:2009
Sódio	146,99	mg/L ⁻¹	ASTM D6919-09:2009
Sólidos Dissolvidos Totais	804,00	mg/L ⁻¹	SMWW 23 ^a Edição, 2017, Método 2540B, C, D, E e G
Sólidos Sedimentáveis	< 1,0	mg/L ⁻¹	SMWW 23 ^a Edição, 2017, Método 2540F
Sulfato	2,36	mg/L ⁻¹	EPA 300.1:1999
Sulfeto	<0,10	mg/l ⁻¹	SMWW 23 ^a Edição, 2017, Método 4500S2-D
Zinco	< 25,00	ug/L ⁻¹	Prep: EPA 30 ^a 0A, 1992/Det:SMWW, 23 ^a Edição,2017, Método 3120
Demanda bioquímica de oxigênio	185,40	mg/L ⁻¹	SMWW 22 ^a Edição, 2012, Método 5210B
Demanda química de oxigênio	213,30	mg/L ⁻¹	ME-13, revisão 16
Óleos e graxas	<10,00	mg/L ⁻¹	SMWW 22 ^a Edição, 2012, Método 5520D e E
Oxigênio Dissolvido	<1,00	mg/L ⁻¹	SMWW 22 ^a Edição, 2012, Método 45 ^o 00 G

As duas lagoas existentes na indústria, revelaram valores ideais com bons índices de nitrogênio, potássio e fósforo, de acordo com os parâmetros especificados na Tabela 3. Os teores desses elementos indicam a potencialidade de utilização dessa água para fins agrícolas.

A análise do efluente realizada em 2020, também exibem baixíssimas concentrações de elementos traços, reforçando o uso para agricultura. O resíduo foi avaliado conforme estabelecidos pela Norma Técnica CETESB P04.002 de Maio de 2010, o único parâmetro que está em desacordo com a norma é o sódio, seu valor máximo permitindo de acordo com o referido regulamento é de $69,00 \text{ mg L}^{-1}$, e o resultado obtido é de 147 mg L^{-1} , indicando potencial moderado para salinizar o solo, se manejado de forma inadequada.

Conforme Bernardo *et al.* (2008), a condutividade elétrica também é um componente para identificar o risco de salinização, é dividida em quatro níveis: C1 (CE $< 0,25 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$), baixo nível; C2 (CE de 250 a $750 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$), médio nível; C3 (CE de 750 a $2250 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$) alto nível e C4 (CE maior que $2250 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$) muito alto nível. Assim, a água residuária se limita na condição C2, nível médio de salinidade. Além do mais, o alumínio encontra-se em baixos níveis, não causando impactos ao solo através deste mineral.

Os resultados não mostram ultrapassagens para os demais parâmetros. Há uma alta concentração obtida pelo Nitrogênio Kjeldahl, indicando a possibilidade de ocorrer lixiviação, assim como o potássio, considerado nutriente para as plantas, se aplicado em excesso, tende a se acumular no solo, e em função do teor acumulado pode causar desequilíbrio no solo e distúrbios para plantas.

4.3 Fonte de água utilizada no experimento

A água utilizada no sistema de microaspersão é proveniente de um poço artesiano situada a 150 m da área experimental. A água é armazenada em uma caixa d'água com volume de 20 m^3 (Figura 8), seguindo também por gravidade até o local do experimento.

Figura 8. Armazenamento de água utilizada para irrigação.



Fonte: Autora (2021).

4.4 Atributos do solo analisados

O solo da área experimental é classificado como PODZÓLICO VERMELHO – AMARELO (EMBRAPA, 2015) e relevo suave ondulado. Antes do início da fertirrigação foi realizada a amostragem e análise do solo nas três áreas apresentadas na Figura 6, onde foram aplicados a água e o efluente. As amostras de solo foram retiradas em um perfil vertical, nas seguintes profundidades: 0-0,2 m; 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m.

Ao final do experimento, após sete meses do início das aplicações do efluente, foi realizada uma nova amostragem de solo, para verificar os índices alcançados após a aplicação do efluente. As amostras, após homogêneas em um balde, foram encaminhadas para, análise de fertilidade de solo e metais pesados.

Os parâmetros analisados foram: padrão de fertilidade do solo, pH, matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial (H+ AL), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e porcentagem de saturação em bases (V%); além das substâncias químicas: arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni), selênio (Se), zinco

(Zn) e sódio (Na) para avaliação do potencial de salinização.

As análises foram baseadas de acordo com as seguintes referências metodológicas: Hg Total: EPA 7471B revisão 02:2007; Ba, Cu, Zn – ME: 38; Cd, Pb, Cr, Ni, Se: ME – 69; Ar Total: ME – 83; pH, (H+Al), Al, Ca, (CTC), Mg, MO, V%, K, Na, SB, P – Método IAC.

4.5 Sistema de Aspersão

A aplicação do efluente e da água foi via microaspersão e por gravidade até área teste, conforme já descrito anteriormente, onde foi aspergido por meio de microaspersores operados a uma pressão de 10 m.c.a (1,0 kgf cm⁻²). O delineamento do sistema de aspersão foi padrão para as três áreas. Empregou-se um sistema convencional composto por uma linha principal, onde a partir desta foram dispostas quatro linhas paralelas, totalizando 16 (dezesesseis) microaspersores em cada área, possuindo lâminas de aplicação uniformes. Os aspersores estão posicionados a uma distância de 2,60 metros um do outro, em uma área de 10,5m x 10,5 m de (largura e comprimento, respectivamente).

O modelo de microaspersor utilizado foi o HADAR 7110, com vazão média por microaspersor de 31,91 Lh⁻¹ no tratamento com água e 33,64 Lh⁻¹ no tratamento com efluente e réplica. A taxa de aplicação na forrageira foi de 5 mm h⁻¹ para o tratamento 1, já para os tratamentos 2 e 3 foi de 4,7 mm h⁻¹. Todos os microaspersores molhavam de forma uniforme os tratamentos.

Figura 9. Disposição do sistema de microaspersão por área.



Fonte: Autora, (2021).

4.6 Testes Aspersores

Os microaspersores foram submetidos ao teste de vazão antes da sua instalação para determinar o seu uso no experimento. O objetivo foi determinar a pressão de trabalho, de forma a se verificar o alcance do jato e a distribuição da precipitação necessárias ao experimento, que serve de base para a determinação do espaçamento entre os microaspersores.

Para os testes, utilizou-se um cronômetro e uma proveta volumétrica com capacidade de 1000 ml. Cada microaspersor foi introduzido dentro da proveta e o fluxo de água ligado. Após decorrido 1(um) minuto, o equipamento foi desligado. Este procedimento foi feito individualmente para cada microaspersor e em todas as linhas.

Figura 10. Teste de vazão dos microaspersores.



Fonte: Autora (2021).

4.7 Testes de Pressão

Para a verificação da pressão de serviço da irrigação, durante todo o período do experimento, foi utilizado um manômetro de pressão, sendo este alocado no final da mangueira principal e individualmente em cada linha das três áreas determinadas, comprovando deste modo a força exercida pelos fluidos (efluente e água) (Figura 11).

Figuras 11. Teste de pressão nas linhas área 2 (efluente) (A), e área 3 (água) (B), respectivamente.



Fonte: Autora (2021).

4.8 Determinação do manejo utilizado na fertirrigação

Para o manejo da Fertirrigação levou-se em consideração o atendimento às demandas hídricas, para tal existem algumas variáveis envolvidas, como: dados atmosféricos (evapotranspiração e precipitação; Tabela 5), dados da planta (Coeficiente de cultivo, fator de disponibilidade de água no solo, profundidade do sistema radicular), solo (capacidade de água disponível) e sistema de irrigação (vazão e espaçamento dos emissores). Deste modo, o tempo da irrigação (TI) é obtido integrando elementos relativos à cultura, solo e sistema de irrigação.

Para os cálculos, foram utilizados base de dados meteorológicos diários da Estação Agroclimatológica operada pelo Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (DEFERS), da Universidade Estadual Paulista (UNESP) Campus de Ilha Solteira, do município de Paranapuã, ($20^{\circ}01'28,7''S$ e $50^{\circ}33'57,2''W$), localizado próximo ao experimento, a aproximadamente 23 km da cidade de Jales, SP. Empregou-se também dados da estação de Marinópolis ($20^{\circ}26'47,5''S$ e $50^{\circ}48'26,1''W$) e Populina ($19^{\circ}52'46,4''S$ e $50^{\circ}28'13,3''W$), pois houve alguns períodos que não houve registro de dados meteorológicos na cidade de Paranapuã. A distância em linha reta das estações ao experimento é de 30,5 km.

Tabela 4. Precipitação e temperatura média mensal durante a avaliação do experimento.

Meses	Temperatura do ar			Umidade do ar	Radiação Global	ETo	Precipitação (mm mês ⁻¹)
	Méd	Máx	Mín.	(%)	(MJ m ⁻² dia ⁻¹)	(mm dia ⁻¹)	
Janeiro	26,0	32,9	21,7	84,6	20,4	4,5	159,5
Fevereiro	25,8	32,9	20,3	79,8	14,0	2,9	105,7
Março	25,8	33,0	20,7	81,9	10,4	2,7	78,5
Abril	25,5	33,4	18,9	69,9	11,1	2,9	25,9
Mai	26,1	33,1	17,9	59,7	14,0	3,1	14,0
Junho	22,0	30,0	15,8	68,5	6,5	2,1	8,4
Julho	19,8	29,0	10,8	49,1	7,9	2,6	5,3

Fonte: Dados obtidos no Canal Clima (UNESP, 2021).

A Estação de Paranapuã foi empregada nos seguintes períodos: (04/01/2021 – 19/04/2021); (27/05/2021 – 28/06/2021); (01/07/2021 – 02/07/2021); (05/07/2021 – 31/07/2021). Já Marinópolis foi utilizada em: (20/04/2021 - 26/05/2021), enquanto Populina foi aplicada em: (29/06/2021 - 30/06/2021) e (03/07/2021 - 04/07/2021).

Na Tabela 5, está apresentada o manejo da irrigação aplicado na área experimental, exibindo dados iniciais, cálculos e métodos utilizados para a elaboração da planilha de gerenciamento da irrigação. A Tabela 6 informa o procedimento realizado para o manejo da irrigação.

Tabela 5. Dados iniciais utilizados para elaboração da gestão da irrigação.

Variáveis	Equação/Justificativa	Método
Capacidade de água disponível no solo (CAD)	$CAD = \left[0,064 + 0,19 * \left[\frac{a+s}{10^3} \right]^2 - 2,7.10^2. \left[\frac{CO_{org}}{10^3} \right]^2 \right]. Z$ <p>Em que: CAD = Capacidade de água disponível no horizonte do solo (mm); a+s = teor de argila e silte (g dm⁻³); Corg 2 = teor de carbono orgânico (g dm⁻³); Z = Espessura da camada considerada (mm) OBS: CORG = MO x 0,0585</p>	Conforme modelo matemático alterado de Van de Berg (1997).
Capacidade de água disponível no solo saturada (CAD_SAT)	$CAD_SAT = CAD \times 1,15$ <p>Em que: CAD = Capacidade de água disponível no horizonte do solo (mm)</p>	Regra prática, foi utilizada 15% da CAD quando o armazenamento tendeu a saturação.
Evapotranspiração da Cultura (ETc)	$ETo = ETc$ $ETc = kc. ETo$ <p>Em que: ETo = Evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹); ETc = Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); Kc = Coeficiente de Cultivo</p>	Foi considerado KC = 1,0 ao longo do ensaio por se tratar de pastagem (EMBRAPA, 2015).
Fator de disponibilidade de água no solo (f)	É determinado pela função do grupo de culturas e evapotranspiração de referência, pertence ao grupo 4, existe uma variação entre 0,35 a 0,7; foi indicado 0,5 por ser mais conservador ao solo.	Bernardo <i>et al.</i> (2006).
Eficiência do sistema de Irrigação	Considerou-se 0,85 baseados em literaturas	Coeficiente Técnico De agricultura irrigada (ANA, 2019).
Armazenamento Inicial	O armazenamento de água inicial do solo foi definido em 20 mm, a partir de análises de chuva compreendidas entre o período de outubro a dezembro antes de iniciar a pesquisa, através de dados coletados de estação meteorológicas.	Regra Prática.

Tabela 6. Método para a produção da planilha de manejo da irrigação.

Coluna	Significado	Cálculo/Regra
A	Data	Formato simples
B	Evapotranspiração de referência (ET _o)	Obtidos por meio da estação Agroclimatológica
C	Precipitação (mm)	Obtidos por meio da estação Agroclimatológica
D	Armazenamento (mm)	Balanço Hídrico – Entradas e Saídas no solo: Armazenamento Inicial – Evapotranspiração + Chuva+ (Tempo de Irrigação * Precipitação)
E	Armazenamento (%)	Obtido pelo produto entre o armazenamento e a capacidade de água disponível no solo (CAD).
F	Lâmina líquida (LL)	- Regra de decisão: a) Se Arm \geq CAD; então “-”; b) CAD – Arm
G	Lâmina bruta (LB)	- Regra de decisão: a) Se LL = “-”; então “-”; b) LL/Eficiência
H	Tempo irrigação sugerido (h)	- Regra de decisão: a) “-”; então “-”; b) LB/ Precipitação
I	Tempo de Irrigação (h)	De acordo com armazenamento (%) e tempo de Irrigação sugerido.
J	Irrigação (mm)	Tempo de irrigação * precipitação.
K	Crítico (%)	Armazenamento de água atingir 50% da CAD.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Monitoramento Climatológico

Durante a execução do experimento, constatou-se as informações de precipitação e evapotranspiração no local da irrigação, conforme representada na Figura 12. Nota-se que a maior centralização de precipitação foi entre os meses de janeiro a março, já os menores índices de déficits hídrico ocorreram entre junho e julho. A precipitação total da região foi de 537 mm, enquanto a ETo foi de 693 mm, peculiarizando a insuficiência no volume de chuvas para suprir a demanda hídrica da evapotranspiração da região.

Figura 12. Caracterização climática em precipitação e evapotranspiração da cultura no período experimental (Janeiro – Julho, 2021).



Fonte: Autora (2021).

Esta conduta de altas taxas de evapotranspiração no Noroeste do Estado de São Paulo, está de acordo com Silva Junior (2018), no qual observou-se que a região de Marinópolis possui um clima desvantajoso para agricultura irrigada, sendo comum nessa área menor quantidades de chuvas e maior deficiência de água.

Análise semelhante foi observada por Bispo (2020), na qual menciona que na localidade, o balanço hídrico encontra-se negativo em até oito meses do ano, onde o

mês de agosto, conforme histórico regional é considerado o mês mais crítico. No entanto, as espécies do gênero *Urochloa* apresentam boa adaptabilidade a diversas situações como: várzeas inundáveis, margens de florestas ralas, assim como regiões semidesérticas (VALLE *et al.*, 2004). Além disso, são adaptáveis em solos de média e baixa fertilidade, é resistente a cigarrinha das pastagens e possui elevada produtividade (ANDRADE, 2003).

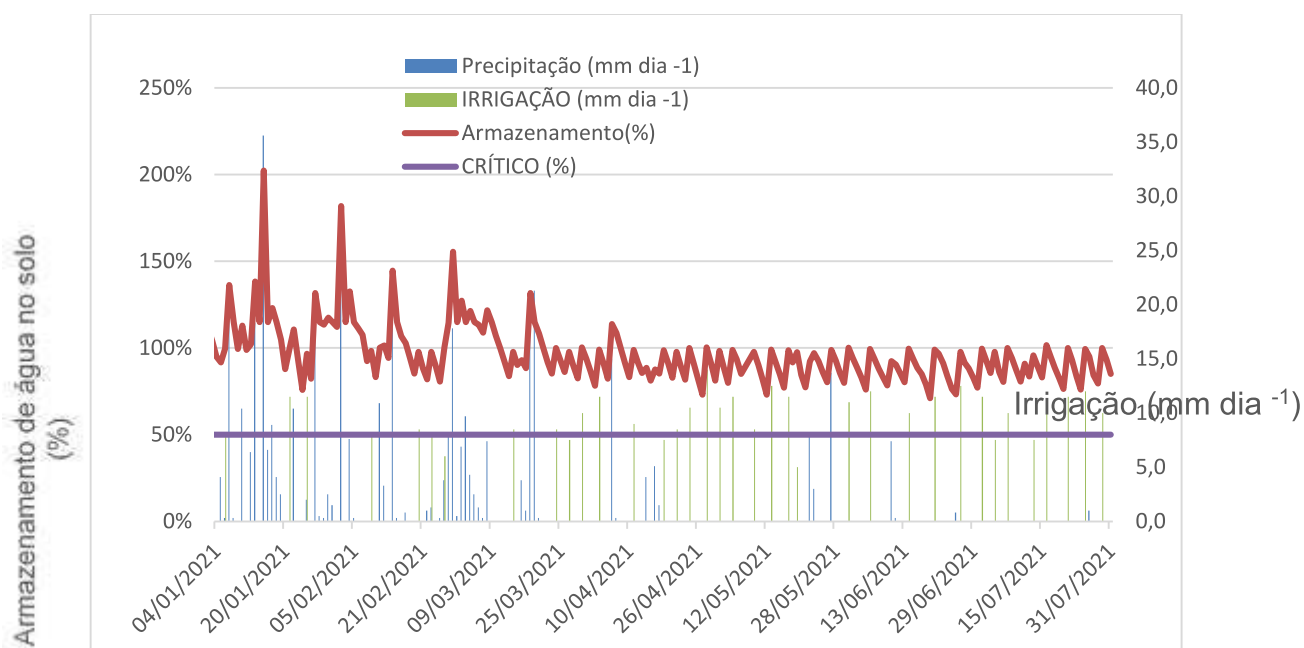
O déficit hídrico ocorrido na área não interferiu no desenvolvimento da ferrageira, pois houve a complementação da irrigação, sendo aplicada de acordo com a demanda hídrica da cultura e balanço hídrico do local. Comprovando esta circunstância Duarte *et. al.* (2019), estimou a morfogênese de distintas qualidades e cultivos de *Urochloa* sob estresse hídrico por escassez (50% a 80% de capacidade de retenção do solo) e alagamento (irrigação com 0,1 e 5 cm de lâmina d'água); foi observado que não houve implicação da deficiência de água sobre as características da cultura, devido a facilidade de acomodação desta espécie, na qual estagnou seu crescimento como estratégia para sua sobrevivência.

Portanto, os dados de evapotranspiração e precipitação são imprescindíveis para a prática de atividades extrativistas, determinando melhor período para o plantio e manejo adequado da irrigação. Contudo, a análise de fatores climáticos e ambientais do local do estudo, providencia subsídios para adaptação às condições adversas do clima, proporcionando uma maior produtividade, desenvolvimento e qualidade de das culturas.

5.2 Armazenamento de Água no solo

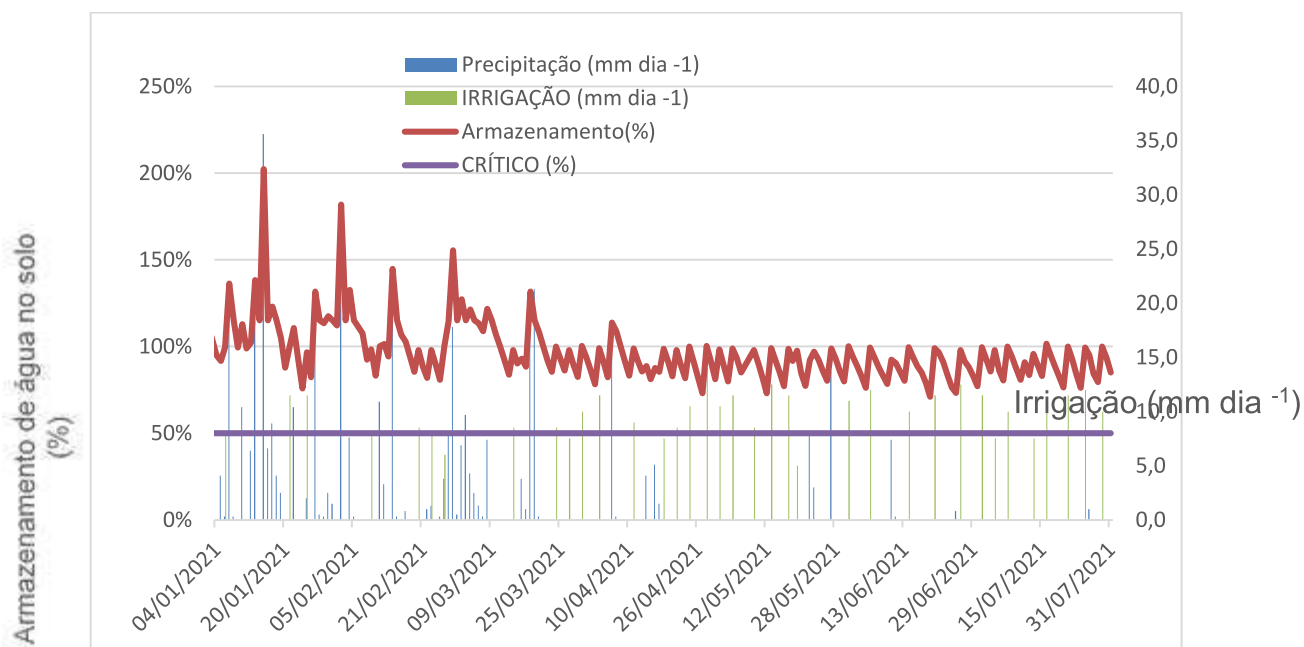
O armazenamento de água no solo, durante o estudo é representado pela evapotranspiração, precipitação, irrigação e armazenamento crítico, admitindo um coeficiente de cultura médio 1, em uma profundidade do sistema radicular de 50 cm, condição ideal para região do estudo, o qual exhibe condições de déficit entre os meses de abril a julho e excedentes hídricos entre janeiro e março, conforme ilustra as Figuras 13 e 14.

Figura 13. Comportamento do Armazenamento de água no solo durante aplicação de água (T1) ao longo do experimento.



Fonte: Autora (2021).

Figura 14. Comportamento do Armazenamento de água no solo durante aplicação de efluente, e efluente réplica, respectivamente (T2 e T3) ao longo do experimento.



Fonte: Autora (2021).

Pode se observar que o armazenamento de água no solo permaneceu acima da acumulação considerada crítica (50%) para os três tratamentos. Foi superada sua capacidade máxima nos períodos das águas (janeiro a março) através da precipitação, ocorrendo escoamento superficial. A irrigação foi aplicada, para os diferentes tratamentos acompanhando as mesmas condições, ou seja, complementando o armazenamento, no momento em que foi analisado a deficiência de água no solo, mantendo assim o consumo diário da pastagem sem ocasionar a saturação de água no mesmo.

As temperaturas mais intensas foram compreendidas entre abril e maio com 33,4 e 33,1°C, respectivamente, sendo o mês de janeiro o princípio da época de maior índice de precipitação, fase esta que é mantida até março. Este fato é notório nas Figuras, refletindo o decréscimo do déficit hídrico na região. A carência de água, foi predominante nos meses de maio e julho, sugerindo a necessidade da irrigação.

Os meses com temperaturas mais baixas foi junho e julho, com média de 19,0 e 22,0° C, concomitantemente. Neste período foram observados os menores índices pluviométricos, destacando o aumento da deficiência hídrica. É possível perceber elevadas taxas de evapotranspiração da cultura com média de 2,9 mm dia⁻¹, em janeiro houve determinados dias em que estas chegaram a atingir 7,2 mm dia⁻¹.

A quantidade de água precipitada na região do experimento totalizou 537,1 mm, enquanto a evapotranspiração foi de 693 mm, como apresentado na Tabela 7. Logo, a aplicação foi realizada com distribuição uniforme ao longo do experimento, constatando que a irrigação foi introduzida como complementação suprimindo a demanda hídrica exigida pelas culturas em todos os tratamentos.

Tabela 7. Caracterização do manejo da irrigação.

Trat.	ET _o (mm)	Precipitação (mm)	Arm. Médio (%)	LL (mm)	LB (mm)	TI Médio (h)	Irrigação (mm)	Crítico (%)
T1	693	537,1	99%	649,5	764,0	1,9	355,5	50%
T2	693	537,1	98%	687,0	808,2	2,1	342,6	50%
T3	693	537,1	98%	685,0	806,0	2,1	340,1	50%

Obs: T1 (Aplicação com água de poço via aspersão); T2 (Aplicação com águas residuais de bovinocultura via aspersão); T3 (Aplicação com águas residuais de bovinocultura para réplica via aspersão); ET_o (Evapotranspiração de referência); Arm. Médio (Armazenamento médio); LL (Lâmina líquida); LB (Lâmina bruta); TI Médio – Tempo de irrigação médio; mm (milímetros); h (horas).

De modo geral, nas três áreas o armazenamento se mostrou semelhantes, indicando que no momento em que houve aplicação da irrigação, este se manteve constante, apresentando eficiência do uso da água no manejo, contribuindo de maneira positiva, pelo fato de possuir uma diminuição da perda de água por evaporação e mantendo assim a matéria orgânica do mesmo, conforme afirma (ANJOS *et al.*, 2017).

Deste modo, o solo se manteve com teor de água adequado para forrageira, proporcionando um bom desenvolvimento da cultura e uma boa umidade, evitando que a planta não gaste energia para realizar sua absorção. Todavia, analisar as variáveis climatológicas (evapotranspiração, precipitação e suas interatividades) é uma maneira eficaz para o planejamento agrícola, ajustando o gerenciamento da irrigação, levando em consideração a necessidade de água da cultura, os tipos de solo, os custos de operação e os recursos financeiros.

5.3 Macronutrientes

As fontes de água (efluentes industriais de graxarias e água de poço), apresentaram efeitos positivos para as características analisadas, se comportam de maneiras semelhantes em relação ao ganho de nutrientes e profundidades avaliadas. As camadas que sofreram alterações notáveis em ambos os tratamentos foram as superficiais 0-0,2 m.

Contudo, percebe-se que os T2 e T3 se manteve superior em relação ao T1 na maioria dos elementos. Pode-se atribuir esta superioridade obtida à qualidade das águas residuais tratadas, pois possuem alto potencial fertilizante, absorvidas pelas culturas para seu crescimento e desenvolvimento. A Tabela 8 e as Figuras 15 a 23 ilustram o incremento adquiridos após aplicação da irrigação nos diferentes tratamentos.

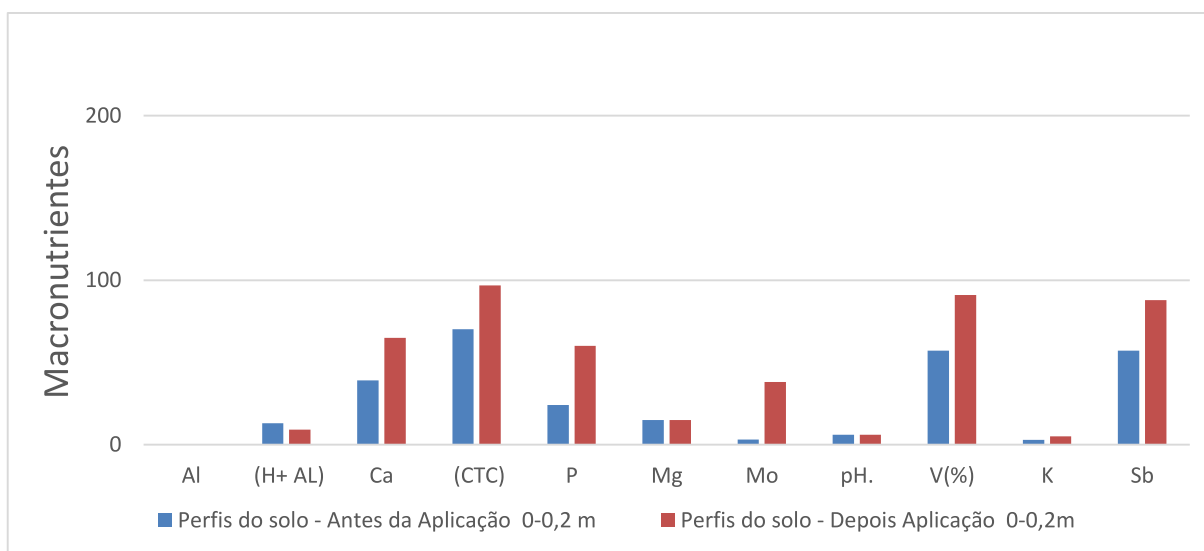
Tabela 8. Valores dos atributos de macronutrientes do solo nas condições iniciais e após aplicações com T1, T2 e T3.

Tratamento	Profundidades (m)	H+Al	Al	CTC	K	SB	Ca	Mg	P	pH	V%	MO
		-----Mmolc/dm ⁻³ -----					-----Mg/kg ⁻¹ -----		CaCl ₂	%	g/dm ⁻³	
Inicial (janeiro/2021)												
T1	0-0,2	13,00	Aus.	70,20	2,90	57,20	39,00	15,00	24,00	5,90	57,20	3,00
	0,2-0,4	14,00	Aus.	56,20	6,80	42,20	22,00	13,00	9,00	6,10	42,20	3,00
	0,4-0,6	14,00	Aus	70,70	6,40	56,70	30,00	20,00	14,00	6,00	56,70	3,00
T2	0-0,2	11,00	Aus.	85,30	6,00	74,30	43,00	25,00	19,00	6,10	74,30	3,00
	0,2-0,4	11,00	Aus.	81,80	4,30	70,80	43,00	23,00	17,00	5,50	70,80	4,00
	0,4-0,6	13,00	Aus	57,50	2,30	44,50	31,00	11,00	27,00	6,20	44,50	3,00
T3	0-0,2	11,00	Aus.	85,30	6,00	74,30	43,00	25,00	19,00	6,10	74,30	3,00
	0,2-0,4	11,00	Aus.	81,80	4,30	70,80	43,00	23,00	17,00	5,50	70,80	4,00
	0,4-0,6	13,00	Aus	57,50	2,30	44,50	31,00	11,00	27,00	6,20	44,50	3,00
Pós Irrigação com Água (julho/2021)												
T1	0-0,2	9,00	<0,10	96,80	5,10	87,80	65,00	15,00	60,00	6,00	91,00	38,00
	0,2-0,4	10,00	<0,10	60,70	5,60	50,70	29,00	15,00	15,00	6,20	84,00	9,00
	0,4-0,6	11,00	<0,10	69,30	9,30	58,30	29,00	19,00	9,00	6,00	84,00	7,00
Pós Irrigação com Efluente (julho/2021)												
T2	0-0,2	10,00	<0,10	146,40	7,70	136,4	94,00	21,00	119,00	7,00	93,00	106,00
	0,2-0,4	9,00	<0,10	80,50	5,90	71,50	45,00	11,00	64,00	6,80	89,00	19,00
	0,4-0,6	9,00	<0,10	67,50	4,90	58,50	35,00	11,00	21,00	6,70	87,00	6,00
Pós Irrigação com Efluente Réplica (julho/2021)												
T3	0-0,2	10,00	<0,10	145	7,50	135,00	92,00	19,00	118,00	7,00	91,00	104,00
	0,2-0,4	9,00	<0,10	80,00	5,50	71,00	44,00	10,00	62,00	6,70	87,00	17,00
	0,4-0,6	10,00	<0,10	66,00	4,70	57,50	33,00	10,00	20,00	6,70	85,00	7,00

Obs: T1 (Aplicação com água de poço via aspersão); T2 (Aplicação com águas residuais de bovinocultura via aspersão); T3 (Aplicação com águas residuais de bovinocultura para réplica via aspersão); H+AL (acidez potencial); Al (alumínio), CTC (capacidade de troca catiônica); K (potássio); Na (sódio); SB (soma de bases); Ca (cálcio); Mg (magnésio); P (fósforo); pH (potencial de hidrogênio); V% (porcentagem de saturação em bases); MO (matéria orgânica).

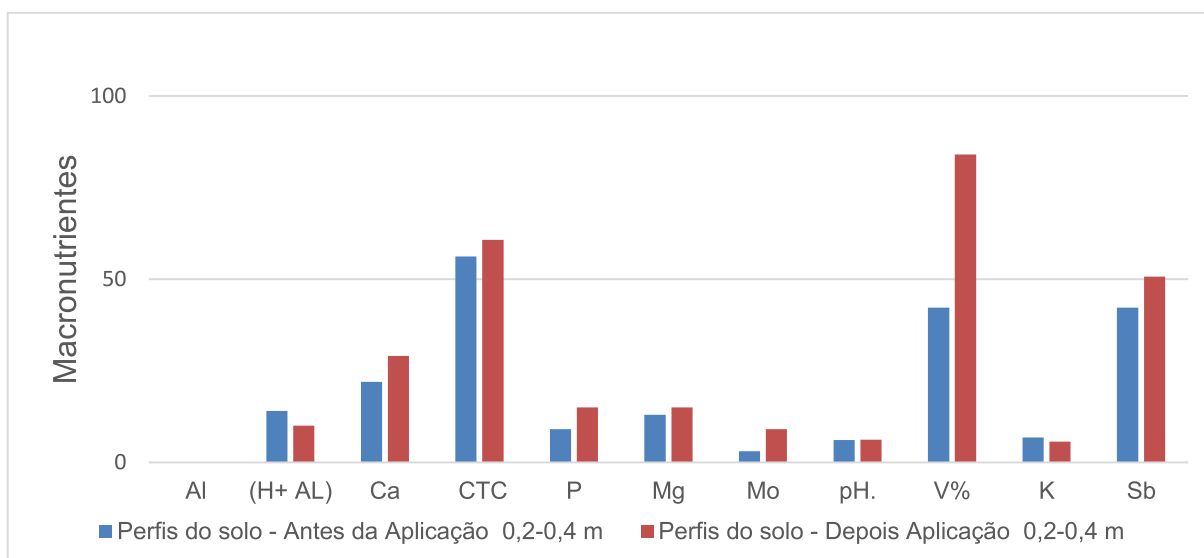
No T1, observa-se acréscimo na maioria das variáveis analisadas em relação as condições iniciais do solo. Os elementos que mais sofreram alterações foram: Ca, CTC, P, MO, V% e SB, onde os maiores índices foram encontrados na camada superior do solo. Nos perfis de 0,2-0,4 m e 0,4-0,6 m não houveram grandes modificações, apenas o parâmetro V% dispôs um moderado aumento, indicando aumento de nutrientes no solo (Figuras 15 a 17).

Figura 15. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T1 na profundidade de 0-0,2m.



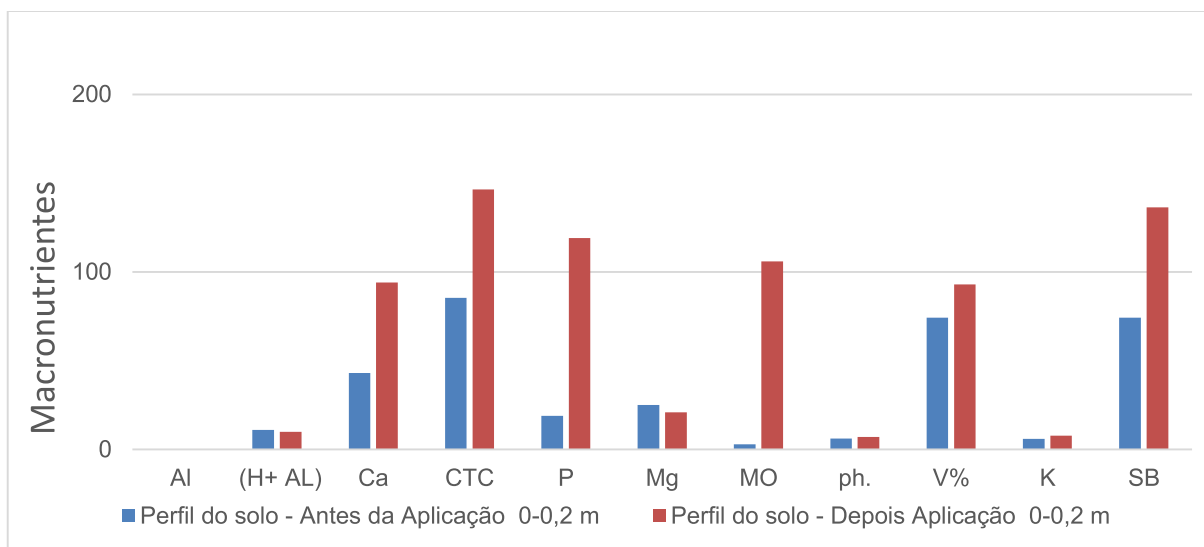
Fonte: Autora (2021).

Figura 16. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T1 na profundidade de 0,2-0,4m.



Fonte: Autora (2021).

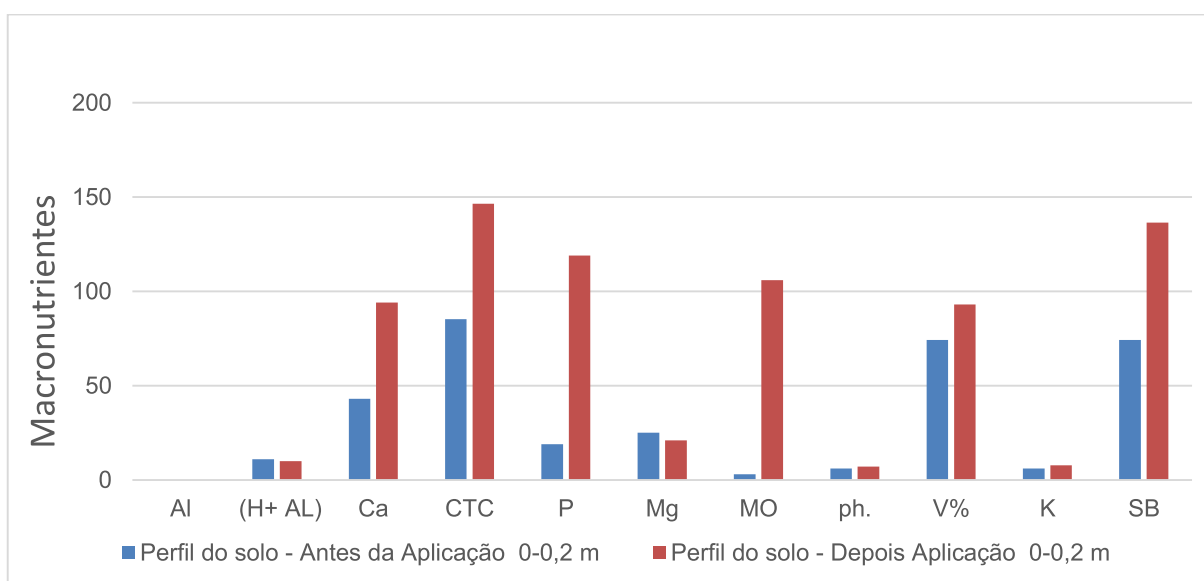
Figura 17. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T1 na profundidade 0,4-0,6m.



Fonte: Autora (2021).

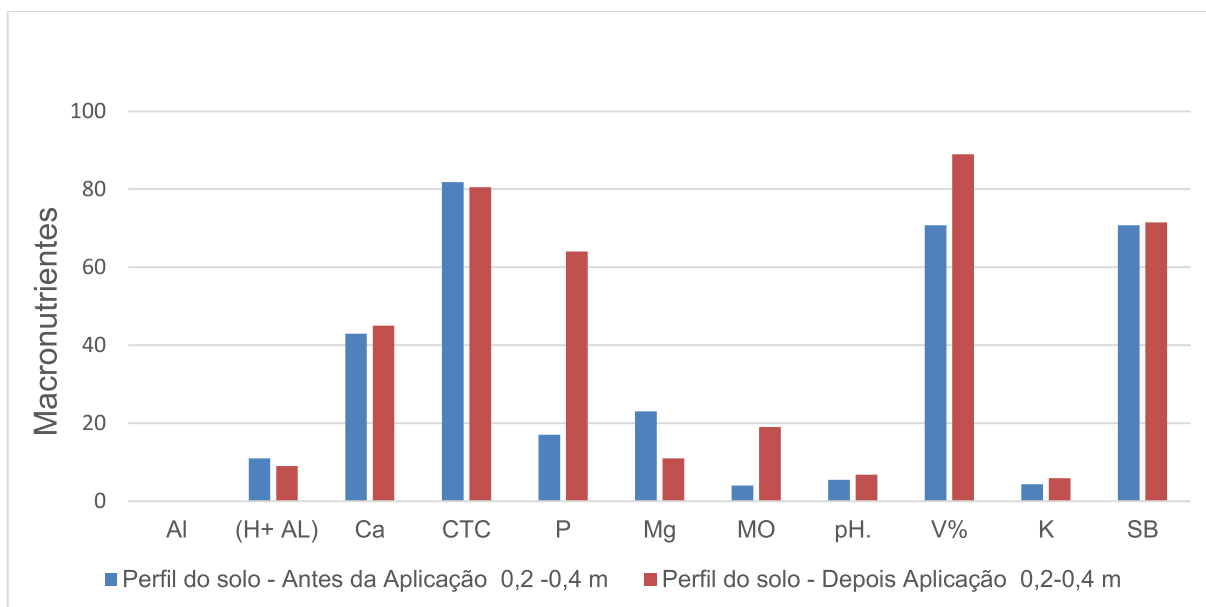
Em contrapartida, os T2 e T3 evidenciam elevados aumentos nos nutrientes em relação ao T1, como já descrito anteriormente. Já o T3 comprova as condições apontadas no T2, encontram-se estreitas diferenças entre alguns elementos, mas nada relevante (Figuras 18 – 23).

Figura 18. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T2 na profundidade 0-0,2 m.



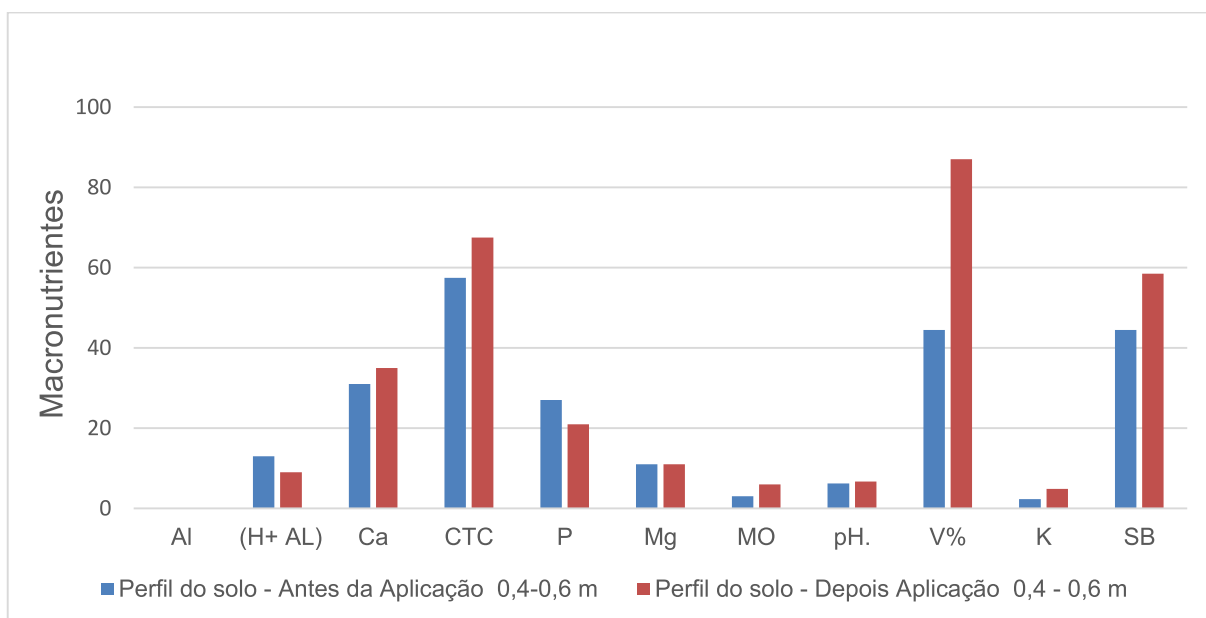
Fonte: Autora (2021).

Figura 19. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T2 na profundidade de 0,2-0,4 m.



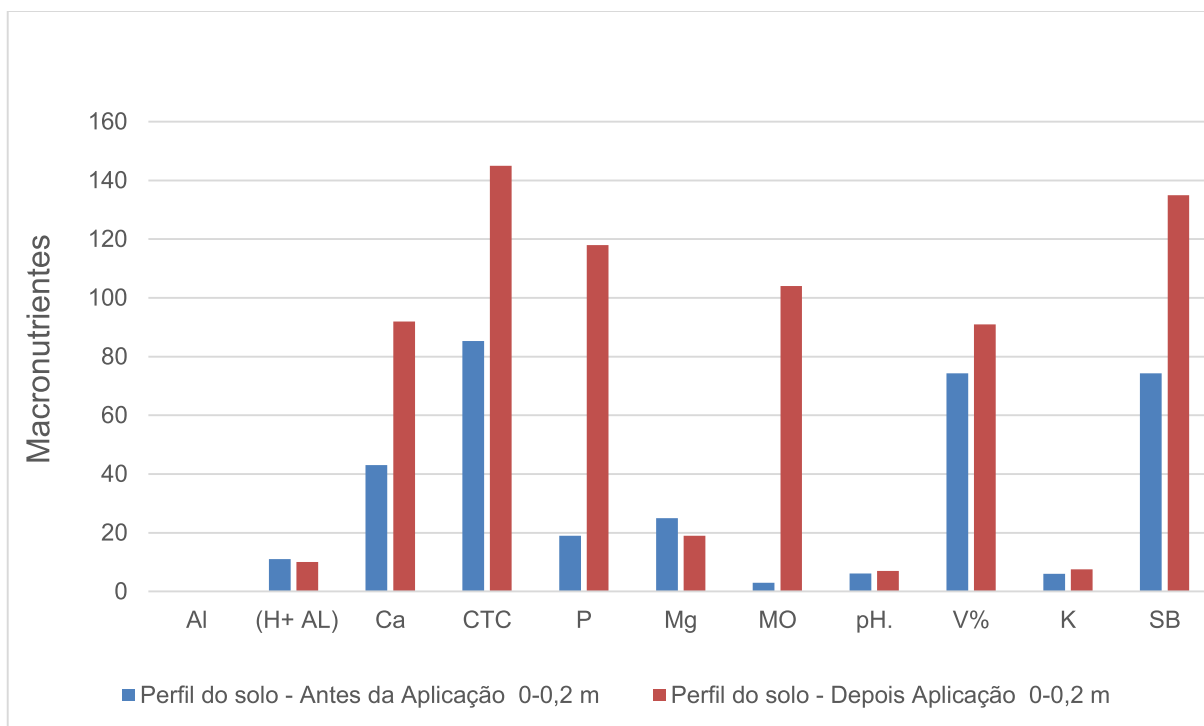
Fonte: Autora (2021).

Figura 20. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T2 na profundidade de 0,4-0,6 m.



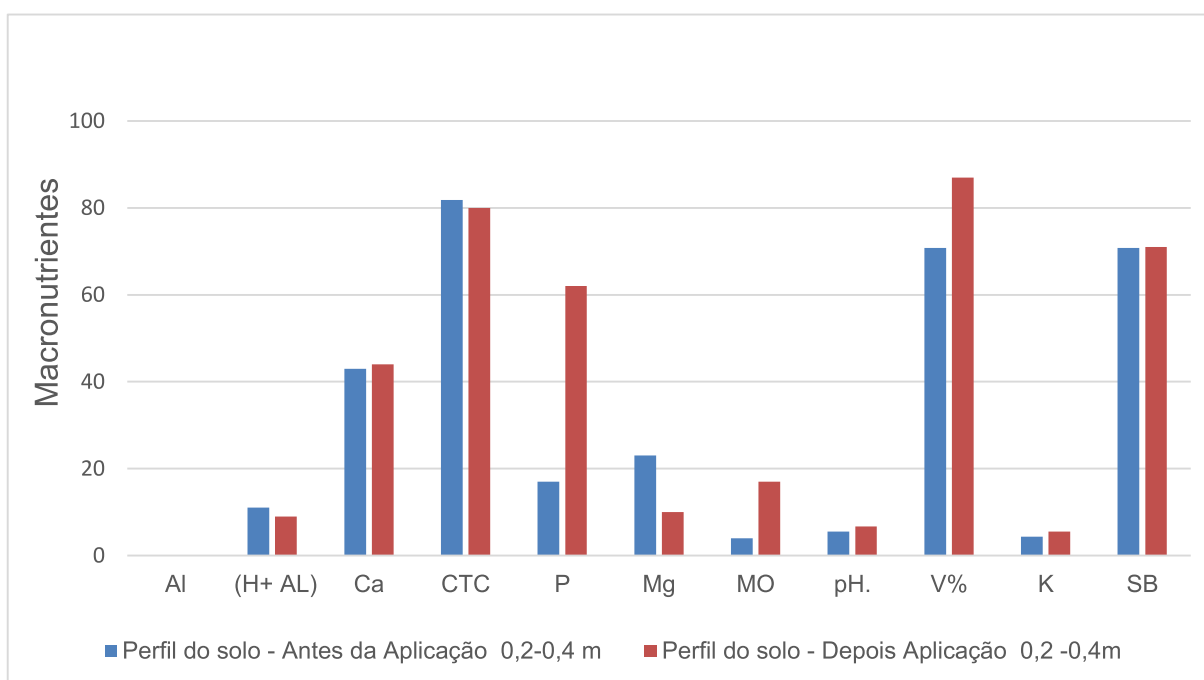
Fonte: Autora (2021).

Figura 21. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T3 na profundidade de 0-0,2 m.



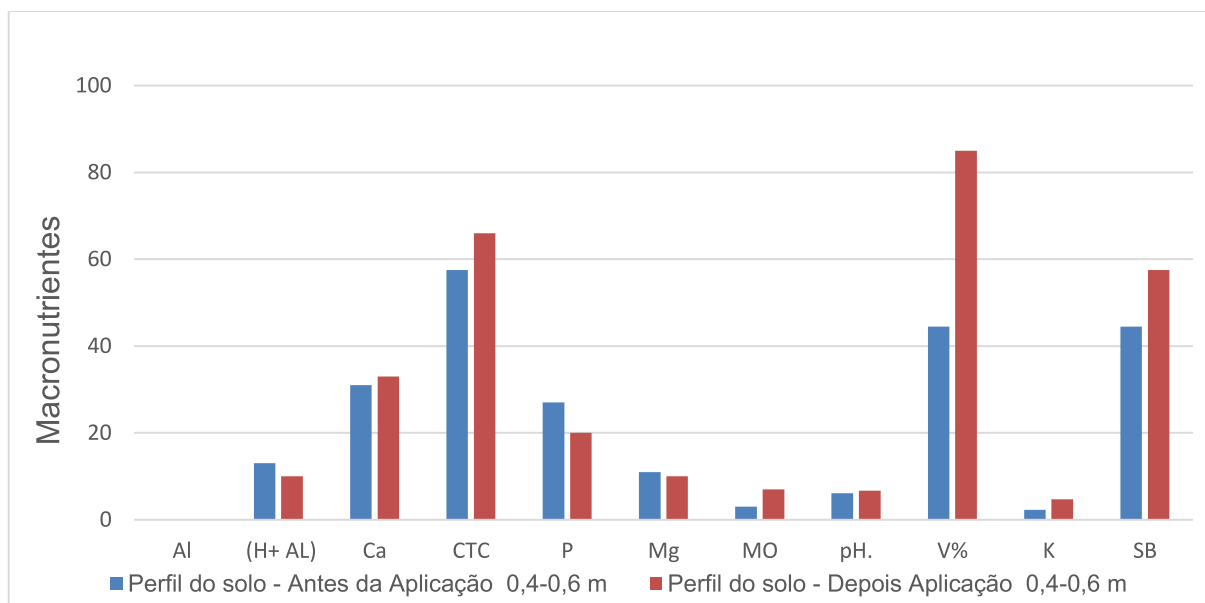
Fonte: Autora (2021).

Figura 22. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T2 na profundidade de 0,2-0,4m.



Fonte: Autora (2021).

Figura 23. Parâmetros de macronutrientes do solo antes e após T2 na profundidade de 0,4-0,6 m.



Fonte: Autora (2021).

Destaca-se maiores concentrações nas aplicações com águas residuais T1 e T2 em: Ca, SB, CTC, P, MO e K. Estas informações vão de encontro ao estudo de Serafim (2010) e Assmann *et al.* (2007), que em suas pesquisas observaram aumentos destes teores em forrageiras cultivadas com águas residuais, justificando o aumento destes índices, devido às elevadas centralizações desses nutrientes no dejetos.

O P apresentou maior teor na camada de 0-0,2 m, conforme comprovados também por (Queiroz *et al.*, 2004; Medeiros *et al.*, 2005; Fonseca *et al.*, 2007), nos quais observaram que este elemento é mais comum nos perfis superficiais e subsuperficiais, devido a sua baixa mobilidade, sendo mais nítido em experimentações com mais de cinco anos de permanência.

Para Gotardo e Mantovani (2021), o aumento de P na camada de 0-0,2 m se deve a presença deste elemento no biofertilizante, da matéria orgânica no solo e da dissolução das suas formas insolúveis. Conforme Cruz (2015), devido a condução via difusão, grande parte de P permanece infiltrado nos óxidos de ferro e alumínio. Fato também comprovado por Oliveira *et al.*, (2014), que em solos cultivado com gramíneas obteve alteração de P no perfil superficial com aplicação de efluentes.

Além da redução deste parâmetro, também se constatou diminuição nos teores

de Mg, K, MO e Ca no decorrer do aumento da profundidade do solo, resultados imaginados, pois a aplicação com águas residuais ocorreu na camada superficial, local onde acontece maior atividade microbiana, maiores deposições de restos de animais, plantas e raízes, gerando nutrientes ambientais mais favoráveis para maior extração da cultura.

Referente ao teor de K o declínio ocasionado pela ampliação da profundidade, pode ser pertinente há capacidade das gramíneas na absorção desse nutriente, pois este juntamente com nitrogênio são os elementos mais extraídos pela *Urochloa* (PRIMAVESI *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2008). Essa conduta relativa ao componente K, corrobora com Ceretta *et al.* (2005) e Silva *et al.* (2015), no qual analisando seus teores em três alturas, averiguou que estas variáveis diminuíram à medida que a profundidade aumentou. Utilizando aplicação de efluente líquido de suínos em 200 m³ h⁻¹. Matos *et al.* (1998) atribuíram esse procedimento a alta taxa de extração da vegetação, fixando parte desse nutriente na matéria seca.

Houve aumentos consideráveis também nos indicadores de CTC, V%, e SB. O acréscimo destas variáveis provavelmente foi influenciado pelo grande teor de material orgânico contido no efluente de graxaria, conforme observados por Erthal *et al.* (2010) e Queiroz *et al.* (2004), que em seus estudos utilizaram água residuais provenientes da produção animal, sendo estes bovinos leiteiros em confinamento (free-stal) e suínos em confinamentos total, respectivamente. Para estes autores, o aumento das variáveis CTC, V% e SB são dispostos a elevada concentração de íons e coloides orgânicos contemplados nos resíduos.

O teor de Mg não sofreu grandes alterações, o acúmulo deste ocorreu também na camada superficial. Silva *et al.* (2015), em suas pesquisas com *Urochloa decumbens*, também não localizaram modificações estatísticas entre aplicações testemunhas e os tratamentos com dejetos líquidos, provavelmente essa situação ocorreu pelo fato das reações que aconteceram no solo após aplicação com efluentes terem interferindo na sua flexibilidade.

Segundo Silva e Trevizam (2015), os altos níveis de P podem impedir a concentração de Ca e Mg, restringindo sua acumulação no solo, ocorrendo incompatibilidade entre eles, podendo ter influenciado na concentração do elemento Mg nos diferentes perfis do solo. Já para Gotardo e Mantovani (2021), estas implicações sucedem pelo poder do tamponamento do solo, pois existem baixos teores de Ca e Mg nas águas residuais, e também por ocorrer restrição na codificação

do solo, sucedendo maior absorção na MO.

Em relação a MO, também verificou-se o aumento na camada superficial do solo, resultado semelhantes foram obtidos por Minhas *et al.* (2015) que constataram acréscimo de MO apenas superficialmente em estudos com eucaliptos (*Eucalyptus tereticornis Sm*) irrigados com efluentes. Segundo Cavalcante *et al.* (2016), esse fator está correlacionado devido à presença de nitrogênio no solo presente nos resíduos.

Nota-se que a integração dos resíduos orgânicos no solo aumentou o pH. Posteriormente ao enriquecimento dos dejetos líquidos, a liberação de ácidos orgânicos solúveis é capaz de acarretar na acidificação do solo, todavia, a mineralização destas substâncias biológicas, metais alcalinos; elementos alcalinos-terrosos como (K, Na, Ca e Mg) e outros íons surgem no ambiente. Estes elementos diminuem a atividade (força iônica) do hidrogênio e do alumínio no meio, pois sua reação com água proporciona a liberação de H^+ , resultando ao aumento do seu pH (MATOS, 2014). Para o mesmo autor a MO é rica em metais alcalinos e terrosos (Ca, Mg, Na, K) como já mencionados, nos quais incidem sua decomposição, fator que se torna tendencioso ao aumento do pH do solo, conforme ocorrido neste estudo.

Não foi obtido diferença relevante no teor de alumínio. Esta situação assemelha-se a Cassol *et al.* (2011), que avaliaram a aplicação de diferentes doses de efluentes provenientes da suinocultura, no qual não observaram também nenhuma modificação relacionado ao Al. A redução desta variável é constituída pelas reações lentas e restritas do elemento calcário principalmente nas camadas superficiais. Logo que ocorre sua aplicação, acontece a disponibilização de SO_4^{2-} , em função da substituição do OH, intervindo de forma direta na ampliação do pH e, conseqüentemente, reduzindo a acidez potencial do solo, motivado pelo alumínio (NORA *et al.*, 2014).

Ressalta-se, que a única variável que não afetou expressivamente as camadas do solo, e sofreu decréscimo em todas as profundidades foi $H+Al$, tal situação pode ser atribuída devido a aplicação de águas residuas não ter alterado o índice do Al, e contribuído para elevação do pH.

Corroborando este estudo, um experimento Steiner *et al.* (2011), analisaram que a curto prazo com a irrigação de dejetos líquidos de suínos, colaborou com a redução da acidez potencial, já que os efluentes são abundantes em carboidratos, no qual são capazes de liberar OH^- no solo.

Bernardes (2017) em um estudo que realizou a composição dos atributos

químicos do solo sob dois arranjos de plantio em linhas simples e dupla de *Corymbia citriodora*, sob diferentes doses de águas residuárias de suínos, também observou o decréscimo da H+Al.

Houve alterações consideráveis entre os tratamentos, principalmente entre os elementos Ca, K, P e MO. Nota-se um ganho médio na ordem de 64,63% para o elemento Ca, 48,50 % para K, já para as variáveis P e MO, ocorreu um acréscimo acima de 100% do tratamento 2 para o 1. O tratamento 3 em comparativo com 2 sofreu uma pequena redução de 6,50% para os mesmos componentes. Estas estreitas discrepâncias entre os tratamentos 2 e 3, possivelmente pode ser devido a obstruções nos aspersores ou pequeno desnível natural da superfície do solo.

Assim, neste estudo, e com apoio na literatura, fica evidenciado que as águas residuais colaboram com maior desenvolvimento das forrageiras, por proporcionar alta disponibilidade de nutrientes presentes no efluente, demonstrando que os despejos industriais propicia altos rendimentos além de ser economicamente viável, por reduzir custos com fertilizantes químicos.

5.4 Elementos traços e substâncias químicas no solo

Não foram observadas alterações expressivas nos elementos traços durante a execução do experimento, para os diferentes tipos de tratamentos. Evento considerado natural, já que não é utilizado qualquer tipo de produto químico durante o sistema de tratamento de águas residuais e nem ao menos durante o processamento industrial da graxaria.

Identificou-se presença de alguns elementos químicos presentes no solo em todos os tratamentos, antes do princípio da irrigação, sendo estes: Cr, Ni, Se, Pb e Na. Os níveis destas substâncias revelaram-se abaixo dos limites críticos ao solo. Esses elementos podem ser de origem natural ocorridos pelo processo de intemperismo e pedogênese do solo, ou por ação antrópica: aplicação de fertilizantes químicos e manejo inadequado do solo; esses comportamentos ocasionam entradas de materiais tóxicos, tornando um importante receptor, gerando degradação ambiental (RODRIGUES, 2020).

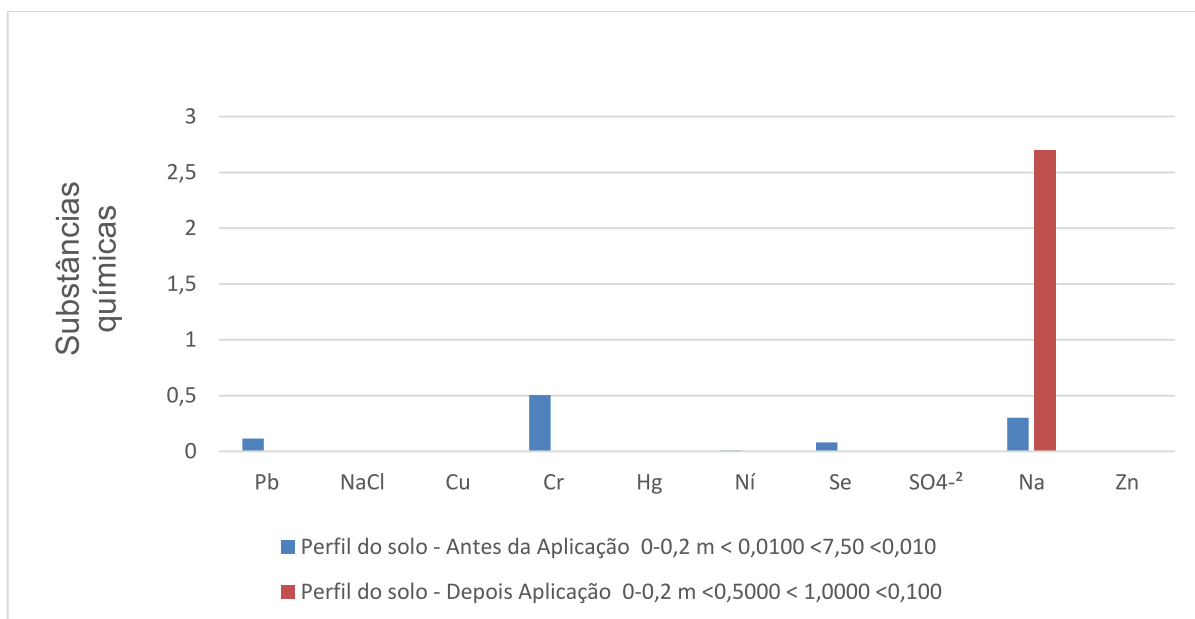
A Tabela 9, e as Figuras 24 – 32 apresentam os atributos químicos do solo nas condições iniciais e após os tratamentos executados durante o período experimental.

Tabela 9. Valores dos atributos das substâncias químicas nas condições iniciais e após aplicações com T1, T2 e T3.

Tratamento	Profundidades (m)	As	Ba	Cd	Pb	Zn	Cu	Cr	Hg	Ni	Se	SO ₄ ⁻	Na	NaCl
		-----Mg/kg ⁻¹ -----						-----Mmolc/dm ⁻³ mg/l ⁻¹ -----						
Inicial (Janeiro/2021)														
T1	0-0,2	<0,01	<7,50	<0,01	0,11	<50,0	<20,0	0,50	<0,001	0,08	0,08	<12,1	0,30	<6,30
	0,2-0,4	<0,01	<7,50	<0,01	0,12	<50,0	<20,0	0,52	<0,001	0,09	0,09	<12,1	0,40	<6,30
	0,4-0,6	<0,01	<7,50	<0,01	0,14	<50,0	<20,0	0,53	<0,001	0,09	0,08	<12,1	0,30	<6,30
T2	0-0,2	<0,01	<7,50	<0,01	0,13	<50,0	<20,0	0,61	<0,001	0,11	0,10	<25,0	0,30	<25,0
	0,2-0,4	<0,01	<7,50	<0,01	0,13	<50,0	<20,0	0,60	<0,001	0,10	0,11	<25,0	0,50	50,2
	0,4-0,6	<0,01	<7,50	<0,01	0,10	<50,0	<20,0	0,49	<0,001	0,07	0,07	<25,0	0,20	<25,0
T3	0-0,2	<0,01	<7,50	<0,01	0,13	<50,0	<20,0	0,61	<0,001	0,11	0,10	<25,0	0,30	<25,0
	0,2-0,4	<0,01	<7,50	<0,01	0,13	<50,0	<20,0	0,60	<0,001	0,10	0,11	<25,0	0,50	50,2
	0,4-0,6	<0,01	<7,50	<0,01	0,10	<50,0	<20,0	0,49	<0,001	0,07	0,07	<25,0	0,20	<25,0
Pós Irrigação com Água (Julho/2021)														
T1	0-0,2	<0,50	<1,00	<0,10	<0,50	<1,00	<0,50	<0,50	<0,001	<0,50	<0,50	<2,5	2,70	<6,30
	0,2-0,4	<0,50	<1,00	<0,10	<0,50	<1,00	<0,50	<0,50	<0,001	<0,50	<0,50	<2,5	1,10	<6,30
	0,4-0,6	<0,50	<1,00	<0,10	<0,50	<1,00	<0,50	0,63	<0,001	<0,50	<0,50	<2,5	1,00	<6,30
Pós Irrigação com Efluente (Julho/2021)														
T2	0-0,2	<0,50	<1,00	<0,10	<0,50	<1,00	1,19	0,52	<0,001	<0,50	<0,50	<2,5	8,30	8,81
	0,2-0,4	<0,50	<1,00	<0,10	<0,50	<1,00	<0,50	<0,50	<0,001	<0,50	<0,50	<2,5	5,80	12,96
	0,4-0,6	<0,50	<1,00	<0,10	<0,50	<1,00	<0,50	<0,50	<0,001	<0,50	<0,50	<2,5	5,00	<6,30
Pós Irrigação com Efluente Réplica (Julho/2021)														
T3	0-0,2	<0,50	<1,00	<0,10	<0,50	<1,00	<0,50	<0,50	<0,001	<0,50	<0,50	<2,5	7,9	<6,30
	0,2-0,4	<0,50	<1,00	<0,10	<0,50	<1,00	<0,50	<0,50	<0,001	<0,50	<0,50	<2,5	5,2	<6,30
	0,4-0,6	<0,50	<1,00	<0,10	<0,50	<1,00	<0,50	<0,50	<0,001	<0,50	<0,50	<2,5	4,9	<6,30

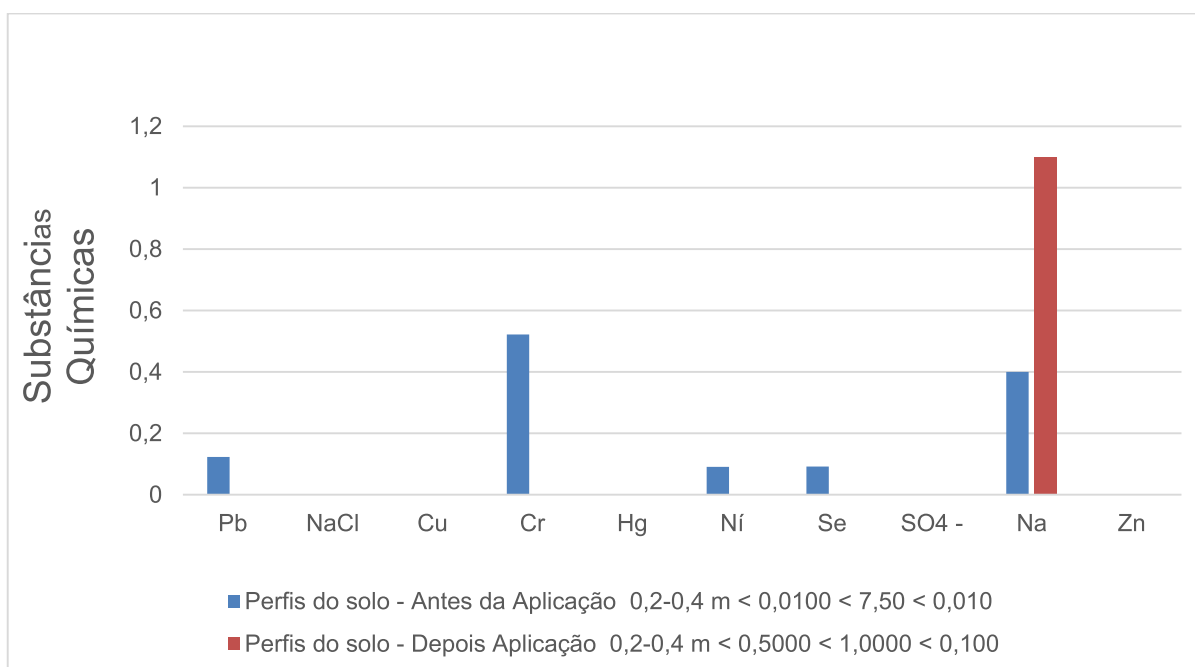
Obs: T1 (Aplicação com água de poço via aspersão); T2 (Aplicação com água residuais de bovinocultura via aspersão); T3 (Aplicação com água residuais de bovinocultura para réplica via aspersão); As (arsênio); Ba (bário), Cd (cádmio); Pb (chumbo); Zn (Zinco); Cu (cobre); Cr69rômioio); Hg (mercúrio); Ni (níquel); Se (selênio); SO₄⁻ (sulfato); Na (sódio); NaCl (cloreto de sódio).

Figura 24. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T1 na profundidade de 0-0,2 m.



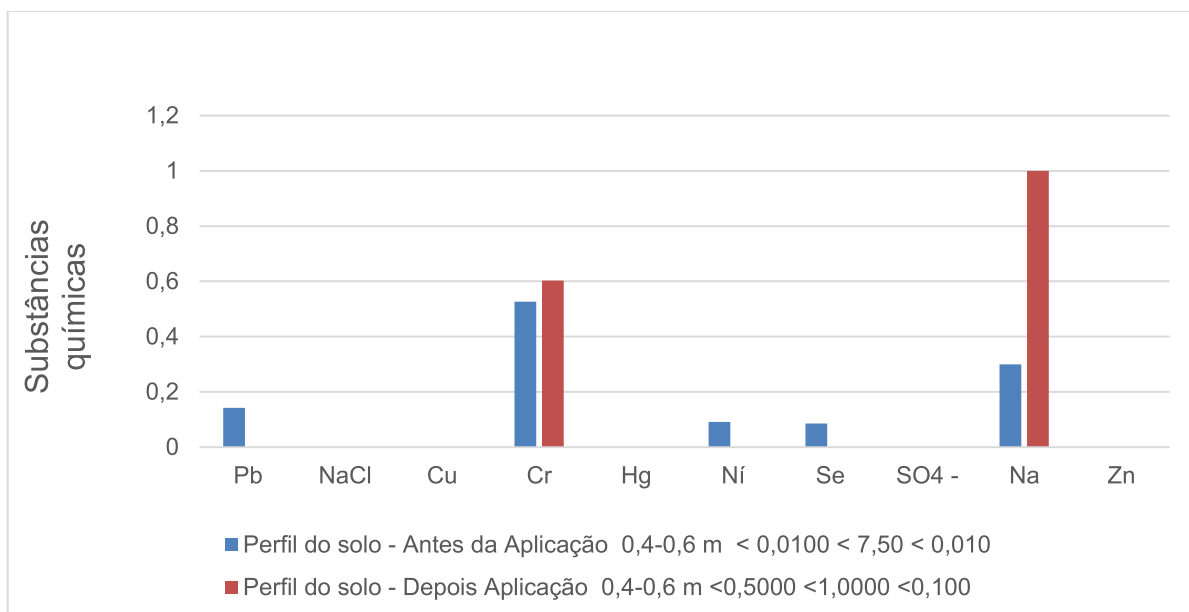
Fonte: Autora (2021).

Figura 25. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T1 na profundidade de 0,2-0,4 m.



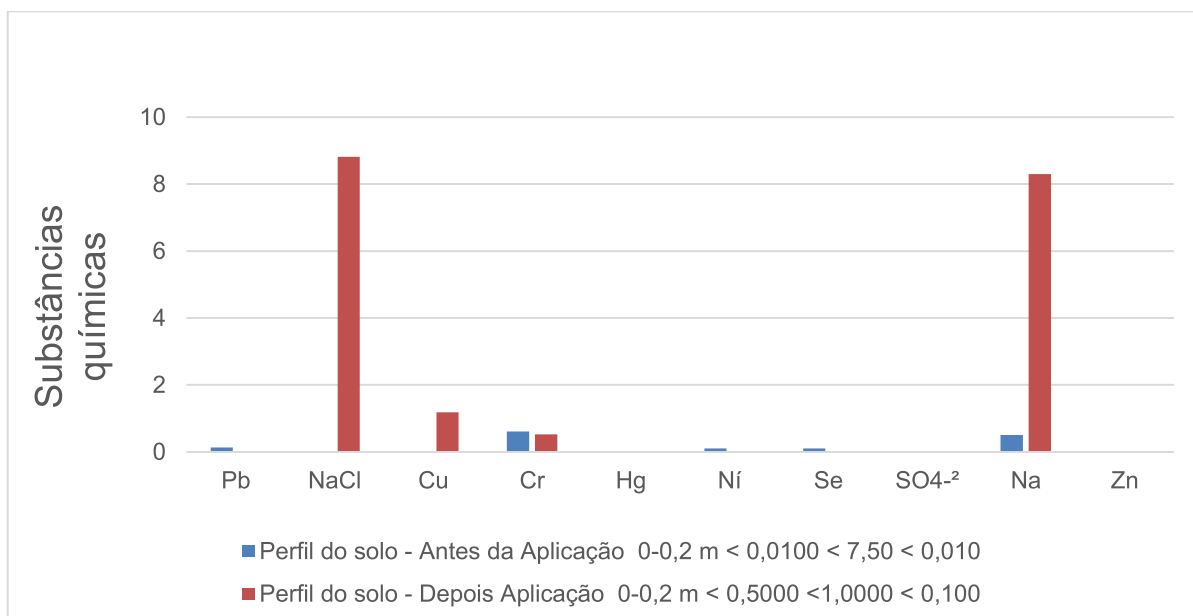
Fonte: Autora (2021).

Figura 26. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T1 na profundidade de 0,4-0,6 m.



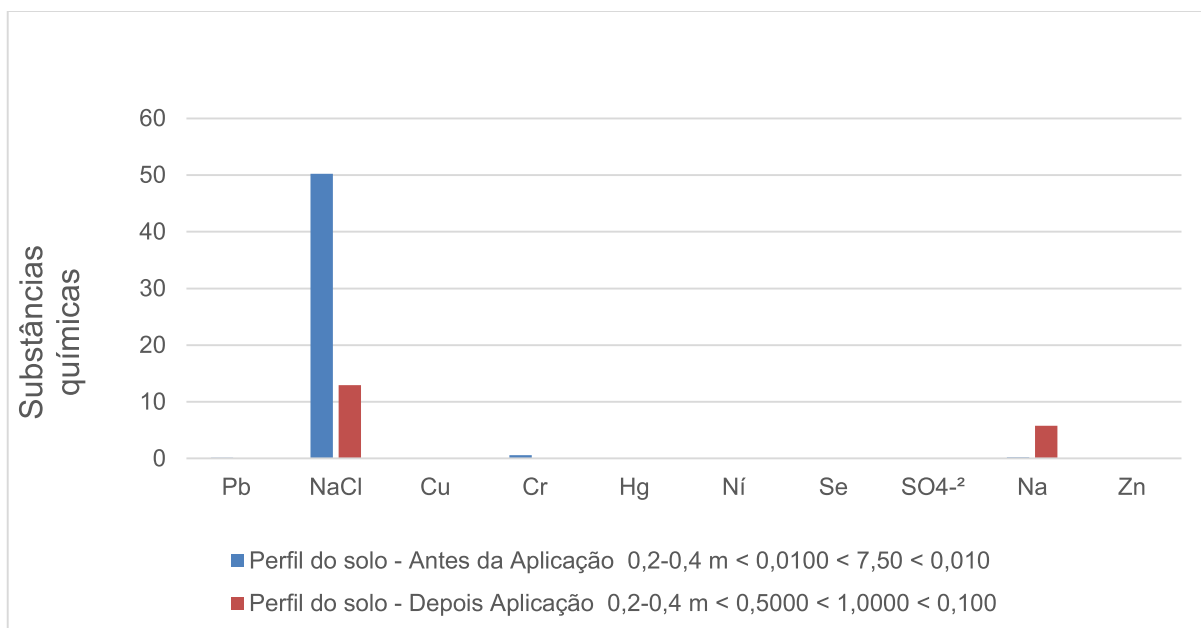
Fonte: Autora (2021).

Figura 27. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T2 na profundidade de 0-0,2 m.



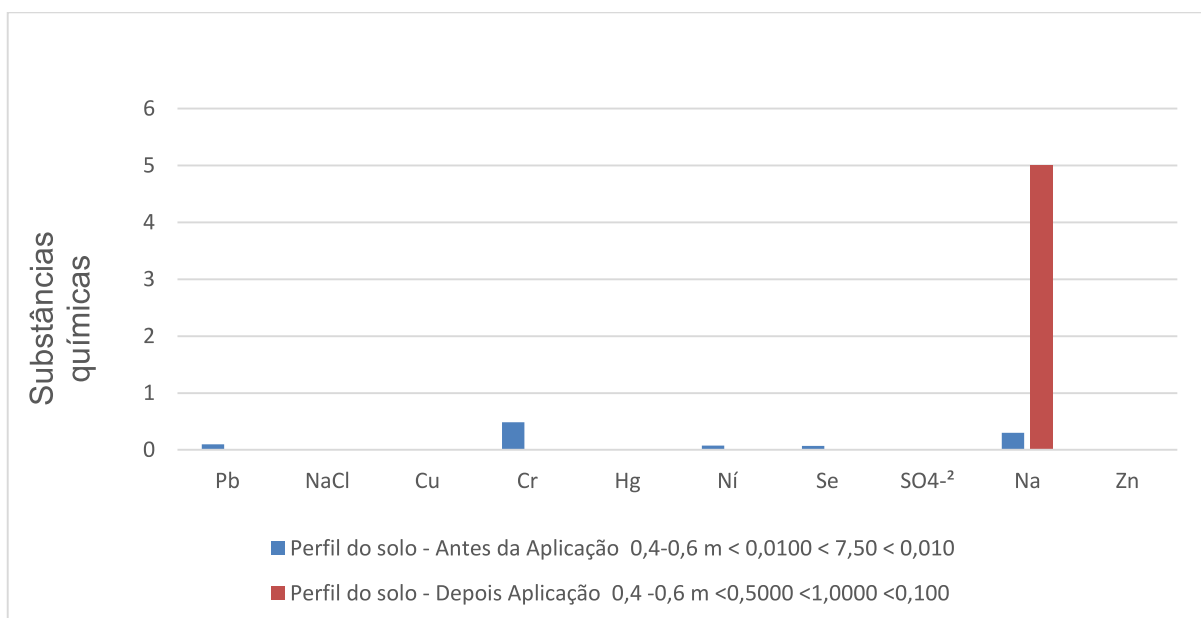
Fonte: Autora (2021).

Figura 28. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T2 na profundidade de 0,2-0,4 m.



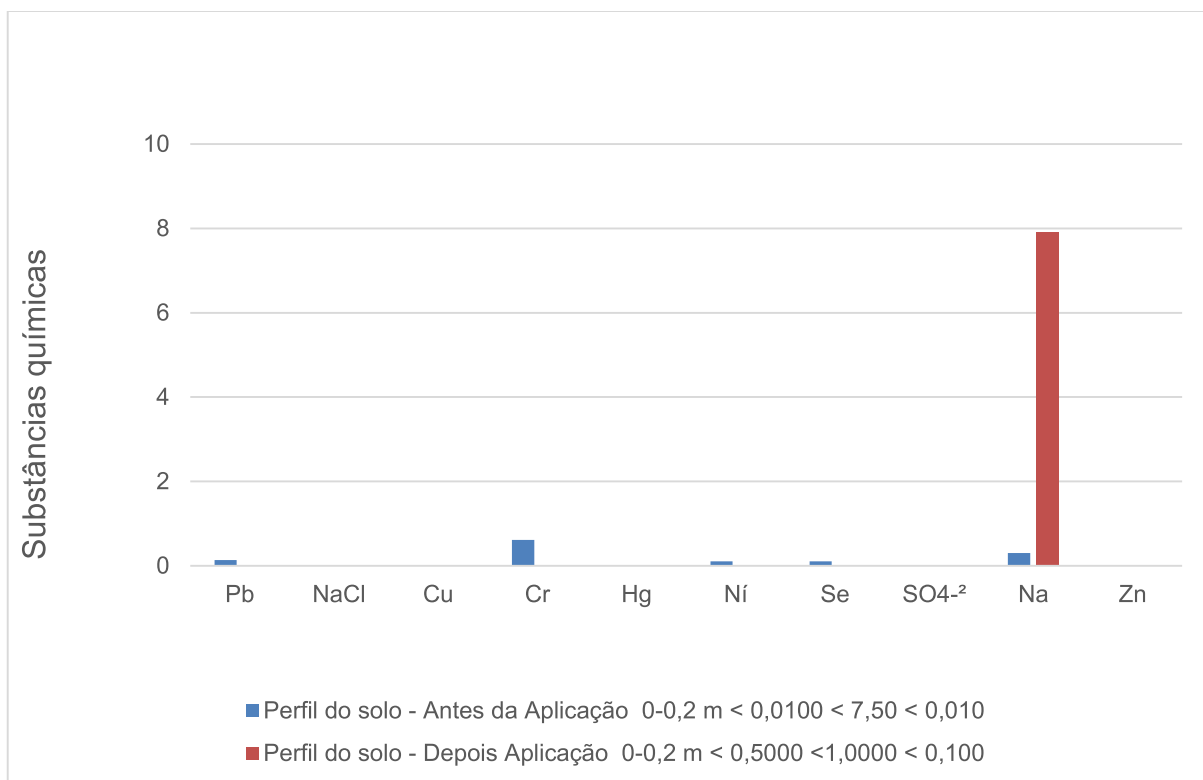
Fonte: Autora (2021).

Figura 29. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T2 na profundidade de 0,4-0,6 m.



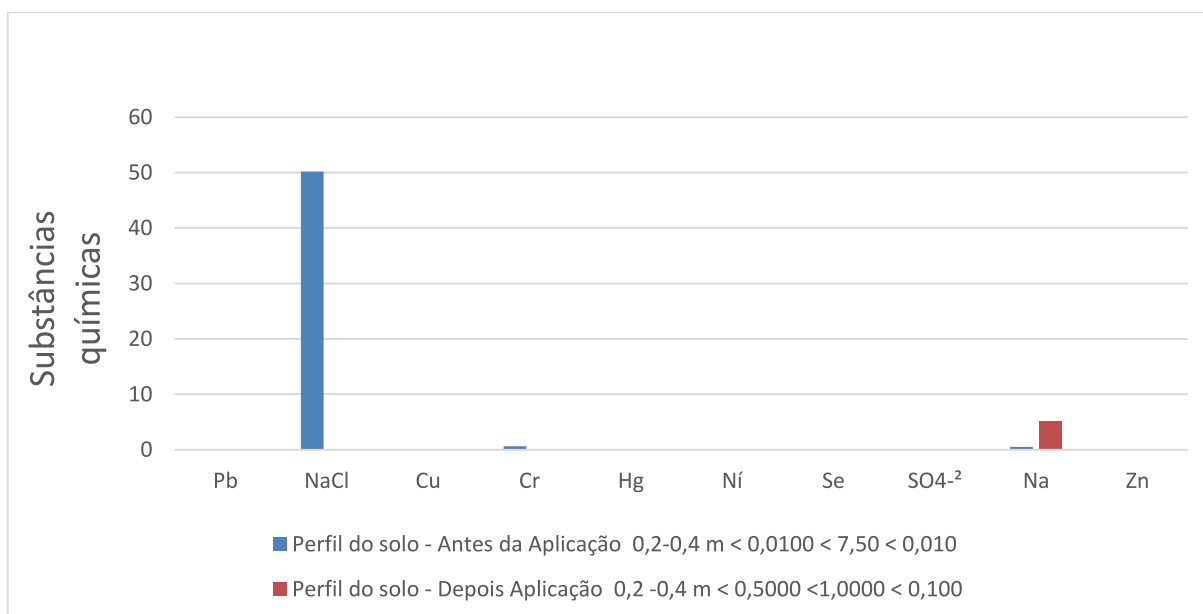
Fonte: Autora (2021).

Figura 30. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T3 na profundidade de 0-0,2 m.



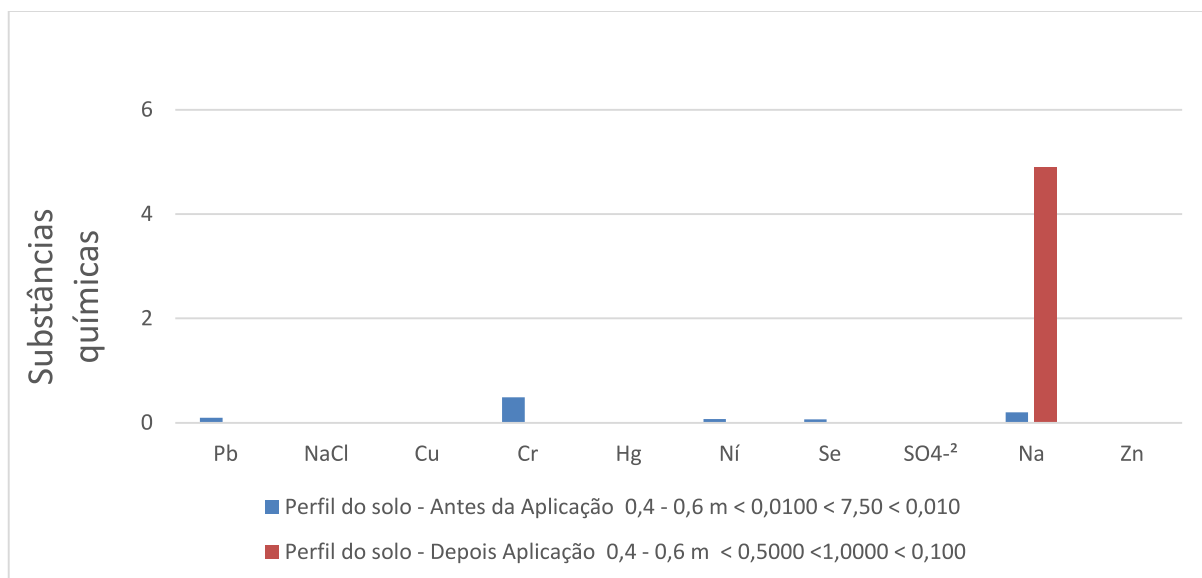
Fonte: Autora (2021).

Figura 31. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T3 na profundidade de 0,2-0,4m.



Fonte: Autora (2021).

Figura 32. Parâmetros de substâncias químicas do solo antes e após T3 na profundidade de 0,4-0,6m.



Fonte: Autora (2021).

Observa-se que no T1 na profundidade 0,4-0,6m, após aplicação da irrigação ocorreu presença do elemento Cromo, indicando que este foi acumulado no solo, porém em baixo teor, não representando risco de toxicidade para a cultura. Em relação aos T2 e T3, verificou-se que após a aplicação da irrigação não houve aumento nos índices avaliados, com exceção de Na e NaCl. O efluente apresenta valores irrisórios dessas substâncias, contudo não foi necessário a realização de novas análises, pois esta já foi uma condição inicial do solo, comprovando que a contaminação pelo efluente seria improvável. O elemento Na se apresenta em um teor maior, por ser uma característica do resíduo, é atribuído pelo fato das rações animais conter NaCl (Cloreto de sódio) como palatabilizante, conseqüentemente é absorvido pelos animais e presentes nos resíduos (BERNARDES, 2017). Os demais elementos traços não indicam risco de toxicidade para as plantas, como não foi constatado danos à cultura.

A aplicação de águas residuais industriais da produção animal possui alta concentração de Na, o qual impacta no complexo de troca da capacidade catiônica, pois a proporção relativa de sódio (Na) para outros cátions (Ca e Mg) afeta a permeabilidade do solo por meio da dispersão da argila, resultando em escoamento superficial e redução da produtividade da agricultura (CETESB, 2021).

Elevados teores de Na implicam na solução do solo, tendo potencial para ocorrer degradação da sua estrutura pela dispersão dos coloides, conduzindo

obstrução dos macroporos, induzindo a diminuição da infiltração de água e dos gases (HOMEN *et al.*, 2014), dificultando absorção e transportes de nutrientes fundamentais para o desenvolvimento das plantas. O excesso de sódio nas culturas causa danos germinativos, vegetativos e produtivos por atuar diretamente no potencial osmótico e íons virtualmente tóxicos (GONÇALVES *et al.*, 2011).

Observou-se um aumento gradual no teor de sódio em todos os tratamentos e profundidades, porém em um conteúdo maior nas camadas de 0-0,2 m, denotando que este elemento atingiu o perfil mais profundo 0,4-0,6 m. Os resultados obtidos neste experimento foram semelhantes ao de Santos (2015), qual identificou presença de Na, especialmente nas camadas superficiais (0-0,1 m) e foram maiores nos tratamentos irrigados com efluentes. Corroborando também com Nascimento e Fidelis Filho (2015), que avaliaram o comportamento dos parâmetros do solo ao aplicarem água residuais e salina, respectivamente, verificando um aumento significativo nos conteúdos de sódio no solo.

É possível notar em ambos os tratamentos com efluentes, que no horizonte de 0,2-0,4 m já existia a presença de NaCl no solo, indicando que esta área já sofreu alguma interferência provocado por algum fertilizante químico ou manejo inadequado. Assim, ressalta-se que durante o período experimental, a aplicação com águas residuais, apesar do potencial de salinização, não foi suficiente para criar condições inadequadas ao solo.

Possivelmente, este fato ocorreu devido à alta concentração de sódio no efluente, ao baixo índice de chuvas e a baixa assimilação deste componente pela cultura, revelando a acumulação no perfil do solo. Assim, os efeitos que podem surgir nos atributos físicos e químicos no ambiente pela aplicação de águas residuais, surgem após um extenso período de utilização. Segundo Condé *et al.* (2012), apontam que a dimensão de qualquer impacto gerado no solo por aproveitamento de efluentes varia com o tempo de aplicação, composição e quantidade irrigada, além do tipo do solo e a habilidade de extração da espécie, também são condicionantes que intervêm nos efeitos da irrigação.

As forrageiras necessitam basicamente de cinco fatores para garantir altas produções: temperaturas altas (15 a 35 °C), fotoperíodo acima de 12 horas, luminosidade intensa, elevada fertilidade do solo e água em quantidade, sendo que, dois desses fatores podem sofrer influência da ação do homem (fertilidade do solo e água) e três independem (temperatura, fotoperíodo e luminosidade) (OLIVEIRA *et*

al.,2014).

5.5 Potencial de áreas irrigadas e culturas aptas para obtenção de águas residuais

Considerando a vazão média de águas residuais ($2.200 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$) e a média de evapotranspiração da região de (3 mm dia^{-1}), tem-se o potencial para irrigar uma área de 2,4 ha, com volume gerado da indústria BJ RECICALEGM ANIMAL LTDA.

Para escolha da cultura que for obter as águas residuais, deve-se levar em consideração o tipo de efluente e seu pré-tratamento, devido ao risco de contaminação por organismos patogênicos, pois estes podem oferecer riscos tanto aos indivíduos que operam quanto para cultura, já que os microrganismos sobrevivem após a aplicação e mantém contato direto infectando-as parcialmente. Ademais, as culturas que são consumidas *in natura*, como hortas e legumes, necessitam de um teor maior restringência, pois é a abertura de contaminação para as pessoas que forem ingeridas (MELO, 2016).

Ainda para o mesmo autor, o ideal é dar prioridade para culturas que sejam processadas industrialmente, seja estes alimentos ou não, pois as altas temperaturas atingidas durante o processo tendem a reduzir os organismos patógenos, podendo receber maior quantidade de fertirrigação. Um exemplo deste tipo de cultura é a cana de açúcar, sendo convertida em combustível.

A Norma Técnica P4.002, a qual se refere a efluentes e lodos fluidos de indústrias cítricas – Critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola, indica que quando houver mistura de efluentes sanitários com águas residuais ou lodo industrial, o despejo final só poderá ser empregado em: pomares, culturas que não são consumidas cruas, forrageiras (exceto para pastejo direto), áreas de reflorestamento e plantações florestais (CETESB, 2010). Portanto, é importante salientar que para reutilização de águas residuais para agricultura irrigada deve ser avaliado inúmeros aspectos de caráter ambiental, sanitário, cultural, técnico e econômico, para que os benefícios ultrapassem os custos e riscos envolvidos no processo.

A seguir é apresentada a Tabela 10 com algumas culturas aptas a obter águas residuais e com tolerância relacionada à salinidade.

Tabela 10. Algumas culturas aptas a obtenção de águas residuais e tolerância relacionada à salinidade.

Culturas	Coeficiente de cultura			Z (M)	F	Tolerantes	Moderamente Tolerantes
	(kc)						
	Inicial	Médio	Final				
Algodoeiro	0,35	1,18	0,6	1	0,65	X	
Aveia	0,3	1,15	0,25	1	0,55		X
Soja	0,4	1,15	0,5	0,6	0,55		X
Sorgo	0,3	1,05	0,55	1	0,55		X
Milho	0,3	1,2	0,35	1	0,55		X
Abacaxi	0,5	0,3	0,3	0,3	0,55		X
Mamão	-	0,6	-	1	0,55		X
Forageiras	-	1,0	-		0,50		X
Eucalipto	-	0,83	-		-		X

Fonte: Adaptado de Coeficientes técnicos de usos da água (ANA, 2021); Aspectos técnicos do reuso agrícola e Florestal (ANA). Obs: Z (Profundidade radicular efetiva); F (fator de disponibilidade de água).

5.6 Análise econômica de despesas industriais

A intervenção de implantação da reutilização de águas residuais, resumiu-se a implementação da irrigação oriundas da indústria e do sistema de tratamentos de águas residuais, visto tratar de uma operação já existente. A viabilidade e eficiência da implantação da irrigação com efluentes deve refletir no benefício de aproveitamento de geração de águas residuais e minimização de gastos com destino final do efluente, já que este é destinado a SABESP (Companhia De Saneamento Básico do Estado de São Paulo) após seu tratamento.

A otimização da irrigação com águas residuais, resulta em economia de alguns custos que a empresa possui com a destinação dos despejos industriais, a Tabela 11 apresenta, de maneira isolada, as despesas com destino destas para cada cenário (SABESP, DAEE e zero).

Tabela 11. Custo total da água residuária de cada cenário de acordo com as definições (SABESP, outorga e zero).

Definição do custo para água residuária	Consumo (m³/mês⁻¹)	Valores (R\$ / m³/ mês⁻¹)
SABESP	2.200	9,74*2.200
Outorga	-	51,00
Zero	00,00	00,00

Fonte: Autora (2021).

Conforme demonstrado na Tabela 11, o primeiro valor atribuído para água residuária é de acordo com o contrato da SABESP, se estabeleceu a partir do volume de efluentes gerado na indústria (m³ /mês⁻¹), incidindo a cobrança de carga poluidora, através da aplicação do fator k1, conforme comunicado 03/19 do D.O.E de 21/02/2019. O valor médio mensal de gastos é de R\$ 22.889,00, anualmente a empresa possui gastos de R\$ 274.668,00. O segundo valor apresentado na Tabela 12, é de acordo com as definições de outorga na Bacia Hidrográfica do Rio São José dos Dourados, regulamentada pelo Decreto Estadual nº 64.305, de 28/06/2019, que aprovam e fixam os valores a serem cobrados pela utilização dos recursos hídricos.

De acordo com o decreto, os Preços Unitários Básicos (PUBs) para a cobrança da água são definidos a partir da capitação: R\$ 0,01 por m³ de água captada; do consumo: R\$ 0,02 por m³ de água consumida; e do lançamento de carga de DBO: R\$ 0,10 por kg de carga de Demanda Bioquímica de Oxigênio lançada. Dessa forma, foram definidos os custos de água residuária segundo valor de capitação e consumo. O valor total cobrado é de R\$ 306, 05, com a possibilidade de emissão de parcelas em seis vezes, com valores de R\$ 51, 00, cada.

5.7 Análise econômica de fertilizantes químicos

As águas residuais são ricas em materiais orgânicos, possuem diversos nutrientes, destaca-se três em especial que são importantes para desenvolvimento da cultura: nitrogênio, potássio e fósforo (N, P, K). A Reutilização das águas residuais para fins agrícolas, proporciona também economia com uso de fertilizantes químicos.

A Tabela 12, apresenta os valores médios para sacos de 50 kg, comercializados na região de Jales, SP.

Tabela 12. Preços médios de Fertilizantes inorgânicos comercializados no município de Jales (50 kg).

Produtos	Preços (R\$)
Fertilizante NPK 10-10-10	243,00
Fertilizante NPK 20-05-20	360,00

Fonte: Autora (2021).

Foram orçadas essas formulações, pois são as recomendações técnicas padrões para plantas já estabelecidas e mais indicadas para adubação de gramíneas.

Deve-se respeitar as instruções e recomendações feitas pelos fabricantes sobre o modo de uso, geralmente o período das chuvas é o ideal para manutenção da pastagem. Considerando essa circunstância, a aplicação com adubos inorgânicos pode ocorrer até duas vezes ao ano, gerando um gasto de R\$ 486,00 para a formulação NPK 10-10-10 e R\$ 720,00 para formulação 20-05-20.

Já para aplicação das águas residuais via irrigação por microaspersão, a estimativa é zerada, pois o efluente é originado na indústria e pode ser reutilizado no empreendimento, evitando custos com adubação e destinação do mesmo, sendo viável economicamente.

5.8 Geração de emprego com uso da irrigação

Segundo a CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil), no primeiro semestre de 2021, a agricultura proporcionou um excedente de 176.674 empregos com carteiras assinadas, maior geração desde 2011, se tornando a atividade que mais emprega atualmente.

A irrigação trás oportunidades de emprego diretos através do uso da técnica, por ser uma condição da prática adicional operada na agricultura, e possui a potencialidade na geração de emprego indiretos (indústria de processamento agropecuário e setores de insumos agrícolas). A agricultura irrigada apresenta aptidão na geração de empregos, indicando variações em função da cultura, período e local analisado (TESTEZLAF, 2017).

Ainda para o mesmo autor, já se comprovou o potencial da irrigação em algumas cidades do Brasil em que a prática da agricultura irrigada fomentou a economia regional, sendo estas: Petrolina (PE), Juazeiro (BA), Barreiras (BA),

Chapada do Apodi (RN) e Araguari (MG).

Segundo o Ministério do Desenvolvimento Regional (2019), a irrigação assegura a produção de alimentos e gera empregos, principalmente em regiões que convivem com a seca. A prática da agricultura irrigada tem melhorado a qualidade das vidas das pessoas, um exemplo disso ocorre em Maniçoba (BA), no início de seu funcionamento, em 1980, a área irrigada era de 4.307 ha e atendia 289 usuários, a área irrigada foi expandida para 8.269 ha, e soma 516 usuários – entre pequenos, médios e grandes produtores. Atualmente, são gerados 5,2 mil empregos diretos na região de Maniçoba.

Dessa forma, a irrigação colabora para aumento, constância na produção de alimentos e resolve problemas relativos a sazonalidade, além de ser uma produção limpa e proporcionar tranquilidade da vida no campo, contribui também para um desenvolvimento econômico regional por meio de oportunidades de empregos e, conseqüentemente, maior distribuição de renda.

Aqui, também é descrito o produto final Procedimento Operacional Padrão – POP com o objetivo de apresentar as metodologias e conceituação básica para reutilização de águas residuais tratadas das indústrias para agricultura irrigada (Apêndice).

5.9 Limitações e recomendações

O estudo apresenta algumas limitações que sugerem a necessidade de novas análises para exploração da cultura, indicando a qualidade da planta (por exemplo, o crescimento, matéria seca, clorofila, potencial osmótico, relação folha/colmo, emergência, áreas foliar, perfilho, produção em massa seca e verde), afim de verificar seu efeito no desenvolvimento e produção da biomassa nas gramíneas, visando avaliar o benefício agrônômico para a cultura.

Uma outra recomendação interessante é aplicação da análise estatística, para analisar e representar cada macronutrientes e substâncias químicas, com o propósito de averiguar se realmente constatou-se amplas variações significativas entre os elementos e os tratamentos.

6 CONCLUSÕES

Neste estudo, observou-se que as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária, são: conservação da água disponível, sua grande disponibilidade em possibilitar o aporte e a reciclagem de nutrientes - reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos, e, conseqüentemente, concorrendo para a preservação do meio ambiente e aumento da produtividade de forrageira.

A aplicação das águas residuais de graxarias é viável para irrigação em área rural, tornando um descarte sustentável e ricos em nutrientes, os resultados obtidos através do acréscimo de MO, P, K corroboram com essas informações. O uso da água residual na agricultura irrigada não ocasionou alteração nas propriedades químicas do solo. As transformações nas propriedades físico-químicas do solo incidem após um longo período, e são dependentes de alguns fatores, como por exemplo: tempo da aplicação, tipo de cultura, da particularidade dos solos e do despejo empregado. Houve aumentos na concentração de V%, SB, CTC, pH; estes podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo, contudo as concentrações de P e K, decresceu nos perfis de (0,2m – 0,4 m) e (0,4 – 0,6 m), devido a absorção da cultura para seu desenvolvimento.

A fertirrigação proporcionou ampliação nos níveis de Na e NaCl na solução dos solos, especialmente nas camadas superficiais, ainda que foi lixiviado para perfis mais profundos, indicando um moderado potencial de salinização. No entanto, a fertirrigação com efluentes da produção animal deve ser efetuada com acompanhamento constante, para que os procedimentos agronômicos sejam adotados antes de algum comprometimento da estrutura do solo, sem acarretar excesso de sais e nutrientes no mesmo.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Reuso de água agrícola e florestal**. Unidade 4: Aspectos gerais do reuso de água. 2021. Disponível em: <https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/84/10/Unidade1.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **HidroWeb**: sistemas de informações Hidrológicas. 2019. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 30 nov. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Indicadores de qualidade**: índice de qualidade das águas (IQA). 2017. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 30 nov. 2021.
- ANDRADE, C. L. T.; BRITO, R. A. L. **Cultivo do milho, método de irrigação**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo Cultivo do Milho, 2009. Sistema de Produção 2. Disponível em: https://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/imetodos.htm. Acesso em: 10 nov. 2021.
- ANDRADE, F. M. E. **Produção de forragem e valor alimentício de capim marandu submetido a regimes de lotação contínua por bovino de corte**. 2003. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- ANJOS, J. C. R. D.; ANDRADE, A. S. D.; BASTOS, E. A.; NOLETO, D. H.; MELO, F. D. B.; BRITO, R. R. D. Armazenamento de água em Plintossolo Argilúvico cultivado com cana-de-açúcar sob níveis de palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, p. 464-473, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/4qJgzYp8nkDSmMM95DS7S8g/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 jan. 2022.
- ARAÚJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; DE SOUZA, F. P. Comparativo econômico entre o custo estimado do reúso do efluente de ETE para fins industriais não potáveis e o valor da água potável para a região sudeste do Brasil. **Exatas & Engenharias**, Goytacazes, v. 7, n. 17, p. 51-61, 2017.
- ASSMANN, J. M.; BRAIDA, J. A.; CASSOL, L. C. Acúmulo de nutrientes em pastagem anual de inverno tratada com esterco líquido de suínos em sistema plantio direto. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31, 2007, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: SBCS, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13969**: tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: http://www.acquasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf. Acesso em: 30 nov. 2021.

AZEVEDO, L. P.; OLIVEIRA, E. L. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e na produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 25, n. 1, p. 253-263, 2015.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/eagri/a/nVy6YpHYjr7xLGhy4tHMNgk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 26 jan. 2022.

BARROS, F. D.; LICCO, E. A. **Graxaria e a geração de odores**. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. Disponível em:

<http://www.maua.br/arquivos/artigo/h/85752aaed72>. Acesso em: 30 nov. 2021.

BATISTA, L. M. O. **O reúso de água residual: uma análise legal das possibilidades e desafios para o setor agroindustrial de Sousa – PB**. 2019. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2019.

Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/4844>. Acesso em: 26 jan. 2022.

BATISTA, A. A.; DUTRA, I.; CARMO, F. F. D.; IZIDIO, N. S. D. C.; BATISTA, R. O. Qualidade dos frutos de mamoeiro produzidos com esgoto doméstico tratado1. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 48, p. 70-80, 2017.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; SOUSA, V. F. **Manejo de irrigação**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. Documentos - INFOTECA-E.

BERNARDES, R. F. B. **Água residuária de suínos em um sistema agroflorestal: atributos químicos e translocação de nutrientes no solo**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/19844/1/AguaResiduariaSuinosSistema.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2022.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006.

BENÍCIO, F. R.; CARVALHO, C. M.; ELOI, W. M.; GONÇALVES, F. M.; BORGES, F. R. M. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão na cultura da goiaba em Barbalha-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 3, n. 2, p. 55- 61, 2009.

BISPO, R. C. **Medições e modelagem da evapotranspiração em cana-de-açúcar no Noroeste Paulista**. 2020. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/193298>. Acesso em: 26 jan. 2022.

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 823-831, 2011.

CAMARGO, D. C. **Manejo da irrigação: como, quando e quanto irrigar?** Fortaleza: INOVAGRI/IFCE, 2016. Disponível em:

<https://capacitacao.ead.unesp.br/conhecerh/bitstream/ana/250/1/Apresenta%C3%A7%C3%A3>

o_ANA_MANEJO_IRRIGA%C3%87%C3%82O_2015_VDEB.pdf. Acesso em: 30 nov. 2021.

CASSOL, P. C.; SILVA, D. C. P. da; ERNANI, P. R.; KLAUBERG FILHO, O.; LUCRÉCIO, W. Atributos químicos em Latossolo Vermelho fertilizado com dejetos suíno e adubo solúvel. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 10, n. 2, p. 103-112, 2011.

CAVALCANTE, K. L.; DEON, M. D. I.; DA SILVA, H. K. P. Acidez e matéria orgânica de solo irrigado com efluente de estações de tratamento de esgoto de Petrolina-PE. **Revista Semiárido De Visu**, Petrolina, v. 4, n. 3, p. 181-189, 2016.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F.; GUSTAVO, H. M.; BERWANGER, A. L. Dejetos líquidos de suínos: I – perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1296-1304, 2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL- CETESB. **Guia técnico ambiental de graxarias – Série P+L**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wpcontent/uploads/sites/20/2013/11/graxaria.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2021.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Uso de sensores Irrigas® para o manejo da água na produção de uvas de mesa no Noroeste Paulista**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2016.

CONDÉ M. S.; HOMEM B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B.; SANTIAGO A. M. F. Influência da aplicação de águas residuais de criatórios de animais no solo: atributos químicos e físicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 2, n.1, p.99-106, 2012.

COSTA, A. M.; RIBEIRO, B. T.; SILVA, A. A.; BORGES, E. N. Estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho tratado com cama de peru. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2008.

COSTA, N. D. L.; TOWNSEND, C. R.; MAGALHÃES, J. A.; PEREIRA, R. D. A. **Manejo de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa, 2001. Rondônia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/984150>. Acesso em: 26 jan. 2022.

CRUZ, J. P. H. **Crescimento e eficiência no uso da água de cafeeiro submetido a estratégias de manejo da irrigação**. Monte Carmelo: Universidade Federal de Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26078>. Acesso em: 30 nov. 2021.

CRUZ, C. V. **Efeito residual de fontes de fósforo e adubação fosfatada no crescimento do milho**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/154605/000883188.pdf?sequence=1>. Acesso em: 26 jan. 2022.

DUARTE, C. F. D.; PROCHERA, D. L.; PAIVA, L. M.; FERNANDES, H. J.; BISERRA, T. T.; CASSARO, L. H.; FERNANDES, R. L. Morfogênese de braquiárias sob estresse hídrico.

Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, Belo Horizonte, v. 71, p. 1669-1676, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Gado de Corte. **Marandu**: cultivar de *Brachiaria brizantha*. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2007. 2p. Disponível em: <https://www.cnpqc.embrapa.br/produtoseservicos/pdf/marandu.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2021.

ERTHAL, V. J. T. **Fertirrigação de capim Tifton 85 e a aveia preta com águas residuárias de bovinocultura: efeitos no solo e nas plantas**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

FAVERET-FILHO, P.; PAULA, S. A agroindústria. In: RIBEIRO, A. D. (ed.). **BNDES 50 Anos – histórias setoriais**. Rio de Janeiro: BNDES, 2015. p. 1-16.

FERREIRA, D. M.; NAVONI, J. A.; ARAÚJO, A. L. C.; TINOCO, J. D.; AMARAL, V. S. Reuso agrícola de águas no Brasil: limites analíticos do efluente para controle de impactos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 4, p. 1048-1059, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rcaat/a/bGLMNt3K9BhmPjNdDFLWtgD/abstract/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 26 jan. 2022.

FERRO, G.; FIORENTINO, A.; ALFEREZ, M. C.; POLO-LÓPEZ, M. I.; RIZZO, L.; FERNANDEZ-IBANEZ, P. Urban wastewater disinfection for agricultural reuse: effect of solar driven AOPs in the inactivation of a multidrug resistant E. coli strain. **Applied Catalysis B: Environmental**, Amsterdam, v. 178, p. 65-73, 2015.

FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. **Plantas forrageiras**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010.

FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, A. M.; VICTÓRIA, R.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n.2, p.194-209, 2007.

FRANCO, D. **Avaliação do desempenho de gotejadores com uso de água residual na suinocultura**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

GIORDANO, G. 1 Vídeo (1h e 24min). Palestra: **Experiências com projetos e operação de estações de tratamento de efluentes**. Publicado pelo canal DESMA UERJ Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LIYVVKm4NIY>. Acesso em: 30 nov. 2021.

GOIS, E. H. B.; RIOS, C. A. S.; COSTANZI, R. N. Avaliação da conservação e reuso da água: a estudo de caso de um shopping center no sul do Brasil. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 96, p. 263-271, 2015.

GONÇALVES, I. V. C.; FREIRE, M. B. G. D. S.; SANTOS, M. A. D.; SANTOS, E. R. D.; FREIRE, F. J. Alterações químicas de um Neossolo Flúvico irrigado com águas salinas. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, p. 589-596, 2011.

GOTARDO, R.; MANTOVANI, A. Utilização de biofertilizante obtido em um biodigestor anaeróbico alimentado pela mistura de resíduos agroindustriais em área agrícola. **Scientific Electronic Archives**, Sinop, v. 14, n. 11, 2021.

HIRZEL, D. R.; STEENWERTH, K.; PARIKH, S. J.; OBERHOLSTER, A. Impact of winery wastewater irrigation on soil, grape and wine composition. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 180, p. 178-189, 2017.

HOMEN, B. G. C.; NETO, O. B. A.; CONDE, M. S.; SILVA, M. D.; FERREIRA, I. M. Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Científica**, Dracena, v. 42, n. 3, p. 299-309, 2014. Disponível em: <http://cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/507>. Acesso em: 26 jan. 2022.

INTERÁGUAS. PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DO SETOR ÁGUAS. **Elaboração de proposta de plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil**. Produto III – Critérios de qualidade de água. Brasília, DF: MMA/MCidades, 2018.

INTERÁGUAS. PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DO SETOR ÁGUAS. **Elaboração de proposta do plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil**. Produto IV – Potencialidades do reúso. Seminário Regional Sul. Brasília, DF: MMA/MCidades, 2017.

JARAMILLO, M. F.; RESTREPO, I. Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits. **Sustainability**, New Rochelle, v. 9, n. 10, p. 1734, 2017.

JIMÉNEZ, B.; ASANO, T. **Water Reuse**: an international survey of current practice, issues and needs. London: IWA Publishing, 2008.

KRUZIC, A. P. Natural treatment and on-site processes. **Water environment research**, Hoboken, v. 69, n. 4, p. 522-526, 1997.

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2014.

MATOS, A. T. D.; VIDIGAL, S. M.; SEDIYAMA, M. A. N.; GARCIA, N. C.; RIBEIRO, M. F. Compostagem de alguns resíduos orgânicos, utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 199-203, 1998.

MANTOVANI, E. C. **Avalia**: Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001.

MEDEIROS, S. D. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C.; MATOS, A. T.

D.; SOUZA, J. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 603-612, 2005.

MEJIA, M.; MELO, M. C.; SANTOS, A. S. P. **Instrumento de um novo modelo de gestão das águas**. Disponível em: <https://aguasdobrasil.org/artigo/reuso/>. Acesso em: 30 nov. 2021.

MELO, A. P. **Normatização do uso de efluentes e lodos na agricultura no Estado de São Paulo: cenário atual e perspectivas**. 2016. Dissertação (Especialização em Gerenciamento Ambiental) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

MINHAS, P. S.; YADAV, R. K.; LAL, K.; CHATURVEDI, R. K. Effect of long-term irrigation with wastewater on growth, biomass production and water use by *Eucalyptus* (*Eucalyptus tereticornis* Sm.) planted at variable stocking density. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 152, p. 151-160, 2015.

NASCIMENTO, J. S.; FIDELES FILHO, J. Crescimento, produção e alterações químicas do solo em algodão irrigado com água de esgotos sanitários tratados. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 36-45, 2015.

NORA, D. D.; AMADO, T. J. C.; BORTOLOTTI, R. P.; DE OLIVEIRA FERREIRA, A., KELLER, C.; KUNZ, J. Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2014.

NUNES, S. G.; BOOCK, A.; PENTEADO, M. I. O. **Brachiaria brizantha cv Marandu**. 2. ed. Campo Grande: Embrapa-CNPQC, 1985.

OLIVEIRA, J. F.; ALVES, S. M.; BATISTA, R. O.; LIMA, V. I.; DI SOUZA, L. Avaliação de sistema de tratamento de laticínio e o efeito do efluente gerado nos atributos físico-químico de um argissolo vermelho. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 58-66, 2014.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 465-473, 2000.

PACHECO, J. W. **Guia técnico ambiental de graxarias**. São Paulo: CETESB, 2008. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wpcontent/uploads/sites/20/2013/11/graxaria.pdf>. Acesso em: 07 out. 2021.

PACHECO, J. W. **Guia técnico ambiental de graxarias**. São Paulo: CETESB, 2006.

PETOUSI, I.; FOUNTOULAKIS, M. S.; SARU, M. L.; NIKOLAIDIS, N.; FLETCHER, L.; STENTIFORD, E. I.; MANIOS, T. Effects of reclaimed wastewater irrigation on olive (*Olea europaea* L. cv. 'Koroneiki') trees. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 160, p. 33-40, 2015.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. D. A.; SILVA, A. G. D.;

CANTARELLA, H. Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 562-568, 2006.

PROSAB. **Tecnologias de segregação e tratamento de esgotos domésticos na origem, visando a redução do consumo de água e da infra de coleta, especialmente nas periferias urbanas**. Rio de Janeiro: ABES Petrópolis, 2006.

QUEIROZ, F. M. D.; MATOS, A. T. D.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. D. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1487-1492, 2004.

REBOUÇAS, A. D. S.; ZANINI, A.; KIPERSTOK, A.; PEPE, I. M.; EMBIRUÇU, M. Contexto ambiental e aspectos tecnológicos das graxarias no Brasil para a inserção do pequeno produtor na indústria da carne. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 499-509, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/nr8M3WLLnShpD5JfMyRP9Nx/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 26 jan. 2022.

RODRIGUES, N. B. **Mapeamento digital e valores de referência de qualidade de metais pesados em solos da região do Norte e Noroeste**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

SANTOS, G. O.; VANZELA, L. S.; DE FARIA, R. T. Manejo da água na agricultura irrigada. **Boletim Técnico**, v. 1, n. 01, 2018.

SANTOS G. O. **Aplicação de efluente de tratamento de esgoto, via aspersão, no solo e em brachiaria**. 2015. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas e Vetrinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/128134>. Acesso em: 26 jan. 2022.

SERAFIM, R. S. **Produção e composição química da *Brachiaria brizantha* cv. Marandú adubada com água residuária de suinocultura**. 2010. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas e Vetrinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/download/pgtrabs/pv/d/2018.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2022.

SILVA JUNIOR, J. F.; HERNANDEZ, F. B. T.; SILVA, I. P. F.; REIS, L. S.; TEIXEIRA, A. H. C. Estabelecimento dos meses críticos para a agricultura irrigada a partir do estudo do balanço hídrico. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 12, n. 2, p. 122-131, 2018. Disponível em: <https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/657/0>. Acesso em: 26 jan. 2022.

SILVA, S. S. da; REIS, C. F.; MEDEIROS, S. de S.; NÓBREGA, R. F. da; DANTAS NETO, J. Potencial do uso de água residuária na silvicultura utilizando espécies nativas da caatinga. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 93-98, 2016. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2440>. Acesso em: 26 jan. 2022.

SILVA, R. J.; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; NASCIMENTO, C. W. A.; KATO, M. T. Cultivo de mudas de eucalipto irrigadas com esgoto doméstico tratado. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, p. 323-330, 2015.

SILVA, M. L. de S.; TREVIZAM, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 49, p. 16 p, 2015.

SOBRINHO, O. P. L.; DA SILVA, G. S.; PEREIRA, Á. I. S.; DE SOUSA, A. B.; JÚNIOR, W. L. C.; DOS SANTOS, L. N. S. A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e o manejo da irrigação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 12, n. 4, p. 1605-1625, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/6365>. Acesso em: 26 jan. 2022.

STEINER, F.; COSTA, M. S. S.; de COSTA, L. A.; PIVETTA, L. A. de M.; CASTOLDI, G. Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de culturas e fontes de adubação. **Global Science and Technology**, Melbourne, v. 4, n. 1, 2011.

TESTEZLAF, R. **Irrigação**: métodos, sistemas e aplicações. Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, 2017. Disponível em: https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/testezlaf_irrigacao_metodos_sistemas_aplicacoes_2017.pdf. Acesso em: 07 nov. 2021.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION- UNESCO. **Relatório mundial das nações unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos 2017. Águas residuais – o recurso inexplorado**. Resumo executivo. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247552por.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP. Faculdade de Engenharia. **Dados climáticos diários**. Ilha Solteira, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos – Áreas de Hidráulica e Irrigação. Disponível em: <https://clima.feis.unesp.br/login.php>. Acesso em: 30 nov. 2021.

VALLE, C. B.; EUCLIDES, V. P. B.; PEREIRA, J. M.; VALÉRIO, J. R.; PAGLIARINI, M. S.; MACEDO, M. C. M.; ... DE SOUZA, M. A. **O capim-xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) na diversificação de pastagens de braquiária**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2004.

VAN DEN BERG, M.; KLAMT, E.; VAN REEUWIJK, L. P.; SOMBROEK, W. G. Pedotransfer functions for the estimation of moisture retention characteristics of Ferralsols and related soils. *Geoderma*, Amsterdam, v. 78, n. 3-4, p. 161-180, 1997.

VILELA, H. **Pastagem**: seleção de plantas forrageiras, implantação e adubação. Belo Horizonte: Aprenda Fácil, 2005.



PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÕES

CÓDIGO
POP

REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÕES – POP

Data	Revisão	Elaborado por:
Novembro/2021	00	Naiara Cristina Tarocco CREA SP: 5063674522

**REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS****1) Introdução**

As indústrias, são um dos segmentos responsáveis pela crescente demanda de água e conseqüentemente, correlacionadas às transformações na qualidade da mesma por fontes de poluição hídricas, afetando seriamente o uso potencial dos corpos d'água, tornando-os em muitas áreas escassos ou exigindo mais investimentos e novas tecnologias para atender às suas necessidades.

A compreensão desta situação permite adoção de medidas sustentáveis, nas quais o uso racional e a reutilização da água são estratégias categoricamente fundamentais relativa as questões ambientais. A reutilização das águas residuais, tratados ou não, são essenciais para atender usos menos restritivos propícios à conservação da água, reservando recursos de melhor qualidade para os usos que realmente os solicitam.

Assim, a prática de reuso das águas residuais reduz o impacto ambiental, minimizando a descarga de efluentes e proporciona benefícios econômicos (custos relativos à cobrança pelo uso da água, ou despesas com autarquias de estação de tratamento pelo destino final do efluente). Considerando a preservação ambiental e reutilização de águas nas indústrias, foi desenvolvido este procedimento operacional padrão, afim de apresentar de modo prático e direto, as orientações básicas para implantação e desenvolvimento de aplicações de águas residuais tratadas na agricultura.

2) Objetivos

Apresentar metodologias e conceituação básica para reutilização de águas residuais tratadas para agricultura irrigada.

3) Aplicação

Áreas rurais, por tanto, precauções devem ser tomadas para que esta seja mantida em condições que não causem riscos de contaminações ao meio ambiente.

4) Responsabilidades

A elaboração, divulgação e aplicação deste Procedimento Operacional são de responsabilidade do Responsável Técnico pela gestão ambiental do empreendimento.

**PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÕES****CÓDIGO
POP****REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS**

O QUE	LEVANTAMENTOS DE DADOS
QUEM	<i>INDÚSTRIAS</i>
COMO	CONSUMO DE ÁGUA/GERAÇÃO DE EFLUENTES 1) Identificação; 2) Caracterização; 3) Quantificação. Ações para caracterizar as atividades do processo industrial, para implantação de práticas que atenuem o consumo de água por meio do reuso, estabelecendo as características da quantidade e qualidade da água consumida e efluentes produzidos em cada departamento.
QUANDO	Durante a produção.
POR QUE	Reutilização de águas residuais para fins agrícolas.
ONDE	Em todos os setores.
MEDIDAS PREVENTIVAS	Monitoramento da produção, sistema de estação de tratamentos (STAR).
AÇÕES CORRETIVAS	Melhorar eficiência da produção e lagoas de estabilização, caso necessário, e identificação de alteração de parâmetros por meio de análises laboratoriais.

**PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÕES****CÓDIGO
POP****REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS**

O QUE	ANÁLISE DOCUMENTAL
QUEM	<i>Responsável Técnico</i> <i>Conhecimento em Informática e gestão ambiental</i>
COMO	Análises de documentos existentes no empreendimento: <ul style="list-style-type: none">✓ Características da produção;✓ Produtos Gerados;✓ Informações sobre produtos fabricados;✓ Consumo de águas por categorias de usos nos diversos departamentos;✓ Planos das edificações;✓ Atributos dos efluentes gerados;✓ Qualidade de água utilizada nos diferentes processos;✓ Fluxograma do sistema de tratamento;✓ Rotinas Operacionais
QUANDO	Antes de iniciar o programa e planejamento referente a reutilização de águas residuais.
POR QUE	Reutilização de águas residuais para fins agrícolas.
ONDE	Em todos os setores.
MEDIDAS PREVENTIVAS	Monitoramento (de acordo com o cronograma da indústria);
AÇÕES CORRETIVAS	Manter pré tratamento e lagoas de estabilização de acordo com exigências técnicas contidas na licença de operação.

**PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÕES****CÓDIGO
POP****REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS**

O QUE	LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPOS.
QUEM	<i>Responsável Técnico</i> <i>Conhecimento em Informática e gestão ambiental</i>
COMO	Captar informações que não estão disponibilizadas nos documentos, auxiliando no reconhecimento de oportunidades para potencializar o uso da água e reuso dos efluentes.
QUANDO	Durante a produção.
POR QUE	Obter informações específicas (relato das condições críticas operacionais)
ONDE	Em todos os Setores e Equipamentos da Indústria.
MEDIDAS PREVENTIVAS	Acompanhamento do processo industrial; treinamento/orientação ao funcionário.
AÇÕES CORRETIVAS	Se durante as avaliações de monitoramento for detectada alguma falha operacional, as seguintes ações corretivas são tomadas: Avaliação do problema e determinação da causa; Adequações e ajustes necessários.

**PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÕES****CÓDIGO
POP****REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS**

O QUE	COMPILAÇÃO E APRESENTAÇÃO DE DADOS
QUEM	<i>Responsável Técnico</i> <i>Conhecimento em Informática e gestão ambiental</i>
COMO	Através dos dados obtidos, organizá-los e tabular para sistematizar os processos.
QUANDO	Antes da implantação – Registrado em planilha específica.
POR QUE	Para construção de um diagrama, retratando um fluxo do processo industrial, relacionado aos usos de água e geração de efluentes.
ONDE	Fonte de Abastecimento de água até a extração de tratamento e disposição final.
MEDIDAS PREVENTIVAS	Atender as necessidades e características de cada indústria, a fim de avaliar com precisão as diferentes demandas.
AÇÕES CORRETIVAS	Comunicar o Empreendimento e responsável técnico, caso encontrar alguma falha operacional (produção, sistemas de tratamento).

**PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÕES****CÓDIGO
POP****REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS**

O QUE	REUSO DE ÁGUAS RESIDUAIS TRATADAS NA AGRICULTUA
QUEM	<i>INDÚSTRIAS</i>
COMO	<p>Utilização dos efluentes gerados localmente após tratamento adequado, afim de obter a qualidade necessária à irrigação.</p> <p>Baseados na Norma Técnica CETESB P04.002, de maio/2010, afim de se definir parâmetros a serem efetuados e a qualidade a ser atingida, levando em consideração as circunstâncias locais, área disponível, tamanho da cultura, e deve ser elaborado por um técnico especialista em gestão ambiental, garantindo a preservação do meio ambiente.</p> <p>Devem ser observados alguns parâmetros nas águas residuais, para não prejudicar a estrutura do solo e das culturas, necessitam ser definidas a partir de fundamentos de salinidade, sodicidade e toxicidade.</p> <p>O método depende de alguns fatores:</p> <ul style="list-style-type: none">➤ Caracterização do efluente;➤ Seleção da Cultura;➤ Amostragem do Solo (antes e durante o procedimento);➤ Manejo da Irrigação;➤ Método da Irrigação.
QUANDO	<p>Solo - semestralmente para padrão de fertilidade; a cada três anos para substâncias químicas ou anualmente caso algum elemento exceder 80% do valor de prevenção publicados pela CETESB;</p> <p>Águas subterrâneas – semestralmente;</p> <p>Efluente – Anualmente</p>
POR QUE	Atender Legislação.
ONDE	Efluentes, solos e águas subterrâneas.
MEDIDAS PREVENTIVAS	Acompanhamento técnico das análises de águas residuais; efluentes e solo; Treinamento do colaborador quanto a aplicação das águas residuais evitando riscos de contaminação.
AÇÕES CORRETIVAS	Melhorar sistema de tratamento de águas residuais caso algum parâmetro esteja acima de limites estabelecidos na legislação

**PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÕES****CÓDIGO
POP****REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS**

O QUE	MANEJO DA IRRIGAÇÃO
QUEM	<i>Responsável Técnico</i> <i>Conhecimento em Informática, gestão ambiental e áreas agrícolas.</i>
COMO	<p>O manejo consiste em fornecer água para as plantas sem ocasionar estresse hídrico. É determinado a quantidade de irrigação que pode ser armazenada no solo.</p> <p>As práticas de manejo se baseiam na demanda hídrica da planta (evapotranspiração e eficiência de água), são dependentes de alguns fatores:</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Clima;✓ Cultura;✓ Características do solo✓ Métodos da irrigação <p>A estimativa da demanda de água deve ser feita com auxílio do balanço hídrico, o qual é calculado o déficit hídrico da região onde se pretende implantar o sistema de irrigação.</p> <p>Devem ser feitas planilhas de controle da irrigação, elaboradas em planilhas digitais (ex: Excel).</p>
QUANDO	Após a decisão do empreendimento e levantamento de dados relativos a reutilização de águas residuais.
POR QUE	Determinar a quantidade de irrigação ideal para cultura, considerando a eficiência do sistema e uniformidade da aplicação da água.
ONDE	Áreas agrícolas
MEDIDAS PREVENTIVAS	Conhecimentos quanto aos procedimentos operacionais de instalação dos aspersores, elaboração de planilhas para auxílio no manejo da irrigação (evapotranspiração, chuva, lâmina líquida, lâmina bruta, tempo de irrigação)
AÇÕES CORRETIVAS	Aplicação de modo ideal, de maneira flexível e equilibrada, não ocorrendo excesso nem déficit na irrigação.

**PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÕES****CÓDIGO
POP****REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS****Tabela 1.** Dados iniciais para elaboração da gestão da irrigação.

Variáveis	Equação/Justificativa	Método
Capacidade de água disponível no solo (CAD)	$CAD = \left[0,064 + 0,19 * \left[\frac{a+s}{10^3} \right]^2 - 2,7.10^2 * \left[\frac{CO\ org}{10^3} \right]^2 \right]. Z$ <p>Em que: CAD = Capacidade de água disponível no horizonte do solo (mm); a+s = teor de argila e silte (g dm⁻³); Corg = teor de carbono orgânico (g dm⁻³); Z = Espessura da camada considerada (mm) Obs: CORG = MO x 0,0585</p>	Conforme modelo matemático alterado de Van de Berg (1997).
Capacidade de água disponível no solo saturada (CAD_SAT)	$CAD_SAT = CAD \times 1,15$ <p>Em que: CAD = Capacidade de água disponível no horizonte do solo (mm)</p>	Regra prática, foi utilizada 15% da CAD quando o armazenamento tendeu a saturação.
Evapotranspiração da Cultura (ETc)	$ETo = ETc$ $ETc = kc. ETo$ <p>Em que: ETo = Evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹); ETc = Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); Kc = Coeficiente de Cultivo</p>	Foi considerado KC = 1,0 ao longo do ensaio por se tratar de pastagem (EMBRAPA, 2015).
Fator de disponibilidade de água no solo (f)	É determinado pela função do grupo de culturas e evapotranspiração de referência, pertence ao grupo 4, existe uma variação entre 0,35 a 0,7; foi indicado 0,5 por ser mais conservador ao solo.	Bernardo <i>et al.</i> (2006).
Eficiência do sistema de Irrigação	Considerou-se 0,85 baseados em literaturas	Coeficiente Técnico De agricultura irrigada (ANA, 2019).
Armazenamento Inicial	O armazenamento inicial do solo foi definido em 20 mm, a partir de análises de chuva compreendidas entre o período de outubro a dezembro antes de iniciar a pesquisa, através de dados coletados de estação meteorológicas.	Regra Prática.

**PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÕES****CÓDIGO
POP****REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS****Tabela 2.** Método para a produção da planilha de manejo da irrigação.

Coluna	Significado	Cálculo/Regra
A	Data	Formato simples
B	Evapotranspiração de Referência (ET _o)	Obtidos por meio da estação Agroclimatológica
C	Chuva (mm)	Obtidos por meio da estação Agroclimatológica
D	Armazenamento (mm)	Balanço Hídrico – Entradas e Saídas no solo: Armazenamento Inicial – Evapotranspiração + Chuva+ (Tempo de Irrigação * Precipitação)
E	Armazenamento (%)	Obtido pelo produto entre o Armazenamento e a Capacidade de Água Disponível no Solo (CAD).
F	Lâmina Líquida (LL)	- Regra de decisão: a) Se Arm \geq CAD; então “-”; b) CAD – Arm .
G	Lâmina Líquida (LB)	- Regra de decisão: a) Se LL = “-”; então “-”; b) LL/Eficiência
H	Tempo Irrigação Sugerido (h)	- Regra de decisão: a) Se LB = “-”; então “-”; b) LB/ Precipitação
I	Tempo de Irrigação (h)	De acordo com Armazenamento (%) e Tempo de Irrigação Sugerido
J	Irrigação (mm)	Tempo de Irrigação * Precipitação.
K	Crítico (%)	Armazenamento de Água atingir 50%.

**PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÕES****CÓDIGO
POP****REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS**

O QUE	MANUTENÇÃO DO TRATAMENTO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
QUEM	Funcionários da manutenção
COMO	Os funcionários realizam as manutenções na estação de tratamento de efluentes, registram seus serviços em planilhas criadas no Excel. O monitoramento é realizado no pré-tratamento (flotador) e nas duas lagoas de estabilização existentes.
QUANDO	Quinzenalmente.
POR QUE	Garantir a confiabilidade da estação de tratamento de esgotos.
ONDE	Lagoas de Estabilização
MEDIDAS PREVENTIVAS	<ul style="list-style-type: none">• Corte regular da grama no talude;• Remoção da espuma da superfície da lagoa quando necessário;• Retirada do lodo quando necessário;
AÇÕES CORRETIVAS	Limpezas, sempre que necessário.

**PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRÕES****CÓDIGO
POP****REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS**

O QUE	MANUTENÇÃO DE ASPERSORES
QUEM	Funcionários da manutenção
COMO	Os funcionários, realizam as manutenções no sistema de aspersão, através da visualização verificando quais estão liberando água com pouca pressão, ou se quer nem liberam. O monitoramento da manutenção é realizado em todos os aspersores, antes de iniciar a operação.
QUANDO	Semanalmente.
POR QUE	Garantir o funcionamento íntegro do aparelho em sua capacidade máxima, atingindo toda área da irrigação e mantendo o local irrigado de modo adequado.
ONDE	Aspersores
MEDIDAS PREVENTIVAS	<ul style="list-style-type: none">• Verificação dos micro aspersores;• Marcação nos aparelhos;• Verificação no bocal dos aspersores;
AÇÕES CORRETIVAS	<ul style="list-style-type: none">• Substituição dos equipamentos;• Limpeza do bocal/ Troca; Caso ocorrer a limpeza do bocal e ainda assim obter persistência, recomenda-se a troca do mesmo.