



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ÁTALA REBECA DA SILVA ÁVILA

**APROVEITAMENTO DOS NUTRIENTES CONTIDOS EM ESGOTO E LODO
TRATADOS PARA PRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS**

Recife
2023

ÁTALA REBECA DA SILVA ÁVILA

**APROVEITAMENTO DOS NUTRIENTES CONTIDOS EM ESGOTO E LODO
TRATADOS PARA PRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Mario Takayuki Kato.

Recife

2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

A958a Ávila, Átala Rebeca da Silva.
Aproveitamento dos nutrientes contidos em esgoto e lodo tratados para
produção de óleos essenciais / Átala Rebeca da Silva Ávila. – 2023.
108 f.: il., fig., tab., e siglas.

Orientador: Prof. Dr. Mario Takayuki Kato.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife, 2023.
Inclui referências, apêndices e anexo.

1. Engenharia civil. 2. Biossólido. 3. Efluente doméstico. 4. Ocimum
basilicum. 5. Rendimento. 6. Produtos do metabolismo secundário. 7.
Hidrodestilação. I. Kato, Mario Takayuki (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2023-49

ÁTALA REBECA DA SILVA ÁVILA

**APROVEITAMENTO DOS NUTRIENTES CONTIDOS EM ESGOTO E
LODO TRATADOS PARA PRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovada em: 23/02/2023.

BANCA EXAMINADORA

Participação por videoconferência
Prof. Dr. Mario Takayuki Kato (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência
Profa. Dra. Bruna Scandolara Magnus (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Participação por videoconferência
Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti (Examinador Externo)
Universidade Federal do Ceará

Participação por videoconferência
Profa. Dra. Kenia Kelly Barros da Silva (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

À Deus e à minha família, meus pais, Ataliba e Mirisnalva, que sempre me incentivaram a seguir a carreira acadêmica. A meus irmãos, Natália, Ataliba Júnior e Nikoli que me apoiaram.

Tenho uma enorme dívida de gratidão ao meu noivo Daniel Filho, que me encorajou e me amparou nesta mudança de vida. Que me acompanhou e ajudou em todos os momentos dessa jornada intensa.

Aos meus sogros Daniel e Anie, que me deram suporte para este novo início.

Ao meu orientador professor Dr. Mario Kato, e a professora Dr^a Kênia Barros, por todas as correções e contribuições pertinentes.

Aos técnicos do laboratório de saneamento ambiental da UFPE, Iago e Luiz por toda ajuda e disponibilidade.

Aos técnicos da Estação de Tratamento de Esgoto – ETE Mangueira, que auxiliaram, semanalmente nas coletas.

À FACEPE - Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco, pela bolsa concedida.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para concretização da presente dissertação.

“Tudo o que temos que decidir é o que fazer com o tempo que nos é dado”
(TOLKIEN, 2019, p. 102).

RESUMO

Eventos prolongados de secas e a necessidade de reduzir o uso de fertilizantes minerais têm levado os agricultores a procurarem alternativas mais sustentáveis de técnicas de cultivo, dentre as quais está o uso de esgotos tratados e lodos higienizados na fertirrigação e adubação orgânica, respectivamente, de culturas. Ervas aromáticas produzem óleos essenciais que são largamente utilizados no setor industrial, na alimentação e em tratamentos terapêuticos. O manjerição (*Ocimum basilicum*) é uma erva mundialmente conhecida, pertencente à família *Lamiaceae*. As folhas do manjerição são empregadas na medicina popular como um remédio para diversas doenças, como: diarreias, náuseas, dores e bronquite. Ademais, o óleo essencial extraído do manjerição contém constituintes ativos com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas. O Brasil é líder no ranking de exportação de óleo essencial considerando o volume. O objetivo desta pesquisa foi analisar a influência do cultivo de manjerição *limoncino* em solo pouco fértil irrigado com esgoto tratado e adubado com lodo higienizado, em relação a produção e composição química do seu óleo essencial. O delineamento experimental foi em blocos casualizado e o plantio ocorreu em estufa. Utilizou-se um solo pobre em nutrientes, sendo realizada adubação química tradicional, para um tratamento controle e adubação com lodo higienizado (biossólido). O manejo da irrigação foi realizado a partir da verificação da umidade do solo pelo potencial matricial, com uso de tensiômetros de punção, empregando-se esgoto tratado e água de abastecimento. As plantas foram colhidas 91 dias após semeadura, sendo extraído o óleo essencial das folhas do manjerição por hidrodestilação com aparelho de Clevenger. A partir da análise dos resultados da composição nutricional, morfologia, sanidade, rendimento e composição do óleo essencial das folhas do manjerição, pode-se dizer que o uso de esgoto tratado e biossólido são uma forma de reduzir gastos com fertilizantes químicos e contribuir com o manejo agrícola sustentável, visto que parte dos parâmetros estudados se mantiveram lineares enquanto outros melhoraram em comparação ao cultivo tradicional de manjerição.

Palavras-chave: biossólido; efluente doméstico; *Ocimum basilicum*; rendimento; produtos do metabolismo secundário; hidrodestilação.

ABSTRACT

Prolonged drought events and the need to reduce the use of mineral fertilizers have led farmers to seek more sustainable alternative cultivation techniques, among which is the use of treated wastewater and sanitized sludge in fertigation and organic fertilization, respectively, of crops. Aromatic herbs produce essential oils that are widely used in the industrial sector, in food, and in therapeutic treatments. Basil (*Ocimum basilicum*) is a world-renowned herb belonging to the *Lamiaceae* family. Basil leaves are employed in folk medicine as a remedy for various ailments, such as diarrhea, nausea, pain, and bronchitis. In addition, the essential oil extracted from basil contains active constituents with antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial properties. Brazil is the leader in the exportation ranking of essential oil in volume. The objective of this research was to analyze the influence of the cultivation of basil limoncino in poorly fertile soil irrigated with treated wastewater and fertilized with sanitized sludge, in relation to the production and chemical composition of its essential oil. The experimental design was in randomized blocks and the planting took place in a greenhouse. A nutrient-poor soil was used and traditional chemical fertilization was performed for a control treatment and fertilization with sanitized sludge (biosolids). Irrigation management was done by checking soil moisture by matricial potential, using puncture tensiometers, using treated sewage and water supply. The plants were harvested 91 days after sowing, and the essential oil was extracted from the basil leaves by hydrodistillation using a Clevenger apparatus. From the analysis of the results of nutritional composition, morphology, health, yield and composition of the essential oil of basil leaves, it can be said that the use of treated wastewater and biosolids are a way to reduce spending on chemical fertilizers and contribute to sustainable agricultural management, since part of the parameters studied remained linear while others improved compared to traditional basil cultivation.

Keywords: biosolids; domestic wastewater; *Ocimum basilicum*; yield; secondary metabolism products; hydrodistillation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Monitor de secas – classificação de severidade das secas	22
Figura 2 – Monitor de secas – record pe março/2021	23
Figura 3 – Monitor crescente fértil	24
Figura 4 – Área irrigada por município no brasil	26
Figura 5 – Área irrigada no semiárido: perímetro nilo coelho	27
Figura 6 – Pesquisa embrapa uso lodo higienizado de ete como substrato	34
Figura 7 – Elementos do metabolismo primário e a inter-relação com o metabolismo secundário	39
Figura 8 – Manjericão (<i>Ocimum Basilicum</i> L.)	40
Figura 9 – ETE mangueira Recife-PE	43
Figura 10 – Preparação do solo	50
Figura 11 – Curva de retenção de água no solo	51
Figura 12 – Estufa no CRCN	52
Figura 13 – Esquema do delineamento experimental	53
Figura 14 – Vasos do experimento com <i>Ocimum Basilicum</i>	54
Figura 15 – Diagrama para classificação de águas de irrigação quanto a sodicidade e salinidade	61
Figura 16 – Gráfico sobre comprimento da folha, da raiz e altura da planta	66
Figura 17 – Gráfico sobre massa fresca e seca do manjericão	67
Figura 18 – Gráfico sobre número de folhas e início da floração	68
Figura 19 – Gráficos sobre parâmetros nutricionais do manjericão	70
Figura 20 – Coloração e massa foliar fresca das plantas do tratamento T3 (esgoto tratado) e T5 (água + biossólido)	71
Figura 21 – Gráfico sobre rendimento de óleo essencial de manjericão	75
Figura 22 – Cromatograma total de íons com a separação dos compostos do óleo essencial de manjericão	76
Figura 23 – Gráfico sobre rendimento de óleo essencial de manjericão	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de água distribuída na Terra	19
Tabela 2 – Análises efetuadas e limites estabelecidos pelo CONAMA (2005), para água de irrigação classe III, MoE (2001),FAO (2011), PROSAB (2006), Minas Gerais (2020), OMS (2006), USEPA (2012)	46
Tabela 3 – Análises efetuadas e limites estabelecidos pelo CONAMA (2020) para lodo utilizado em agricultura	47
Tabela 4 – Valores climatológicos mensais para Recife PE	48
Tabela 5 – Doses de fertilizantes minerais e biofertilizantes aplicados ao solo	51
Tabela 6 – Descrição dos tratamentos	53
Tabela 7 – Lâmina média de irrigação por tratamento	55
Tabela 8 – Condições cromatográficas empregadas para a separação dos compostos do óleo essencial de manjeriço por GC/MS/EI	58
Tabela 9 – Características físico-químicas das águas de irrigação	60
Tabela 10 – Características físico-químicas do lodo higienizado e limites CONAMA 498/2020	64
Tabela 11 – Parâmetros de sanidade nas folhas de manjeriço	73
Tabela 12 – Concentrações de metais nas folhas do manjeriço	74
Tabela 13 – Componentes presentes no óleo essencial do manjeriço limoneno	77
Tabela 14 – Características químicas do solo	80
Tabela 15 – Concentrações de metais no solo e valores orientadores para solos pelo CONAMA 420/2009.....	82
Tabela 16 – Análise de fertilidade do solo após o experimento	83

LISTA DE SIGLAS

A	Água
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas
AL	Alagoas
Al	Alumínio
ANA	Agência Nacional de Águas
ANOVA	Análise de Variância
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
BA	Bahia
Ca	Cálcio
CC	Capacidade de campo
Cd	Cadmio
CENAPESQ	Centro de Apoio à Pesquisa
CEPED	Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre desastres
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CENAPESQ	Centro de Apoio à Pesquisa
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
C.O.	Carbono orgânico
Co	Cobalto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
Cr	Cromo
CRCN	Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
CTG	Centro de Tecnologia e Geociências
Cu	Cobre
DAT	Dias após transplântio
DEN	Departamento de Energia Nuclear
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E	Esgoto tratado
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ES	Espírito Santo
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
Fe	Ferro
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GC/MS/EI	Cromatografia a gás acoplada a espectrometria de massas por ionização por elétrons
H:V	Horizontal: Vertical
IA	Índice de Aridez
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão de águas
INCAPER	Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPA	Instituto Agrônomo de Pernambuco
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
K	Potássio
LSA	Laboratório de Saneamento Ambiental
MG	Minas Gerais
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
M.O.	Matéria orgânica
MoE	Ministry of Environmental
MS	Espectometria de massa
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NE	Nordeste
Ni	Níquel
NIST	National Institute of Standards and Technology
NMP	Número mais provável
NuGEO	Núcleo Geoambiental

NPK	Nitrogênio, fósforo e potássio
O	Oeste
OE	Óleo essencial
OMS	Organização Mundial da Saúde
P	Fósforo
PB	Paraíba
Pb	Chumbo
PE	Pernambuco
pH	Potencial Hidrogeniônico
PI	Piauí
PMP	Ponto de murcha permanente
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
RN	Rio Grande do Norte
S	Enxofre
S	Sul
SE	Sergipe
SEDURBS	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão
SEMAR	Secretaria Estadual de Meio Ambiente, Recursos Hídricos
SEMARH	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
ST	Sólidos Totais
T	Tratamento
TDH	Tempo de detenção hidráulica
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket / Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente de Alta Eficiência
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão
UFF	Unidade Formadora de Foco
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
UV	Ultravioleta
V	Saturação por base do solo
V	Vanádio
Zn	Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	centímetro
$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	centímetro cúbico por centímetro cúbico
cmolc dm^{-3}	centimolc por decímetro cúbico
g	gramas
°C	graus Celsius
h	horas
L	litro
L s^{-1}	litro por segundo
m	metro
$\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$	metro cúbico por segundo
m^2	metro quadrado
μ	micro
g	grama
mg	miligrama
mL	mililitro
mm	milímetro
Mt	mega tonelada
%	porcentagem
kg	quilograma
kg ha^{-1}	quilograma por hectar
km^3	quilômetros cúbicos
km^2	quilômetros quadrados
kPa	quilopascal
S cm^{-1}	Siemens por centímetro
$\Theta(\Psi_m)$	teor de água como função do potencial matricial
$\Psi(m)$	potencial matricial
Θ_r	teor de água residual do solo, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
Θ_s	teor de água do solo saturado, $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
α	parâmetros empíricos de ajuste da equação 1
n	parâmetros empíricos de ajuste da equação 1
m	parâmetros empíricos de ajuste da equação 1

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE LITERATURA	19
3.1	SECA EM PERNAMBUCO	19
3.2	USO DA ÁGUA E FERTILIZANTES NA AGRICULTURA.....	24
3.3	USO DE ESGOTO TRATADO E LOGO HIGIENIZADO NA AGRICULTURA...	30
3.4	ÓLEOS ESSENCIAIS	36
3.4.1	Manjerição	40
4	METODOLOGIA	43
4.1	INFORMAÇÕES GERAIS DO EXPERIMENTO	43
4.2	LODO HIGIENIZADO E ESGOTO TRATADO	43
4.3	SOLO.....	49
4.4	CULTIVO DO MANJERICÃO.....	52
4.5	EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL	57
5	RESULTADOS E DISCUSS��ES.....	59
5.1	ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO E BIOSSÓLIDO	59
5.2	MANJERICÃO	65
5.3	ÓLEO ESSENCIAL	75
5.4	SOLO.....	80
6	CONCLUS��ES.....	85
	REFERÊNCIAS	86
	APÊNDICE A - PARÂMETROS MORFOLÓGICOS DO MANJERICÃO.....	104
	APÊNDICE B - PARÂMETROS NUTRICIONAIS DO MANJERICÃO.....	105
	APÊNDICE C - RENDIMENTO DE EXTRAÇÃO E DENSIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL DO MANJERICÃO.....	106
	ANEXO A - PRINCIPAIS LEIS, NORMAS, E REGULAMENTOS FEDERAIS DENTRO DAS QUAIS A ESTRUTURA REGULADORA DE RE��SO PRECISARIA OPERAR.....	107

1 INTRODUÇÃO

A água se faz essencial à vida, portanto, desde o início da urbanização uma das premissas à locação das cidades era que rios e lagos fossem adjacentes. Assim, para garantir o abastecimento das cidades e dos campos, tem-se realizado ao longo dos anos grandes obras da engenharia, cujos primeiros registros estão atribuídos às civilizações Mesopotâmicas e Egípcias, como o emprego de técnicas específicas, tais quais: nilômetro, barragens, canais e aquedutos (SILVERSTEIN *et al.*, 2022; KEENAN-JONES *et al.*, 2022; RAP *et al.*, 2022).

Como supracitado, a água atende à múltiplas finalidades, dentre as quais está a irrigação, que segundo a definição do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), o processo de irrigação viabiliza uma dose adequada de água às plantas, de forma que, acrescida a outras operações agrícolas como: adubação, mecanização, controle de pragas e doenças, haja um aumento efetivo da produtividade das culturas (NUNES FILHO; SÁ, 2021).

Nunes Filho e Sá (2021) elucidam que a quantidade a ser empregada para irrigação varia conforme a cultura, o tipo de solo e, a eficiência do sistema de irrigação, que pode ser: por superfície, aspersão ou localizada. Ainda é preciso analisar a qualidade da água empregada, visto que, existem alguns parâmetros que podem impedir seu uso, como: presença de microrganismos patogênicos, teores elevados de sais e materiais em suspensão.

Em se tratando do estado de Pernambuco (PE), a maior parte das necessidades hídricas é atendida através de mananciais superficiais, já que, grande parte de seu território situa-se sobre terrenos de baixa vocação hidrogeológica, apesar de existirem águas subterrâneas. O uso de ambas deve ser outorgado pelo órgão gestor de recursos hídricos do estado, de forma a garantir um balanço hídrico adequado (SILVA; MONTEIRO; FRANÇA, 1999). A Agência Nacional de Águas (ANA) é a responsável pela emissão de outorgas de direito de uso da água em corpos hídricos de domínio da União e em Pernambuco a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) é a responsável pelas emissões de outorgas em águas de domínio do Estado.

“A heterogeneidade espacial, temporal e de intensidade das chuvas nas diferentes regiões fisiográficas [de Pernambuco], não raramente, impõe condições extremas de seca e enchentes simultaneamente, muitas vezes em uma

mesma região” (ASFORA; LIMA; LACERDA, 2017). Toda a complexidade que a seca engloba, em caráter social, econômico e agropecuário, exige a adoção de ações preventivas e estruturantes, se citam: investimentos em infraestrutura hídrica e integração de mananciais, garantindo maior segurança hídrica, que possibilitem uma convivência adequada com os efeitos desse fenômeno e reduzam a necessidade de ações resposta (IBIDEM, 2017).

Uma fonte alternativa a utilização de águas naturais para irrigação é a utilização de águas residuárias tratadas ou efluentes tratados. O uso desse tipo de água para irrigação remonta a várias décadas, sendo a Europa uma precursora de tal prática (IBEKWE *et al.*, 2018; OFORI *et al.*, 2021). Ao longo dos anos, águas cinzas e esgoto doméstico tratado, por exemplo, têm se mostrado uma fonte alternativa para irrigação, sendo um tópico de estudos e discussão, especialmente em regiões de escassez de água (IBIDEM, 2021).

Conforme Lei Federal 6.894 de 16 de dezembro de 1980, fertilizante é *“a substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes [essenciais ao desenvolvimento dos] vegetais”* (BRASIL, 1980). Para o plantio e colheita adequados é preciso um acompanhamento detalhado das necessidades nutricionais da cultura e efetuar, prováveis, correções e complementações no solo, justificando-se assim a demanda de fertilizantes em cultivos agrícolas.

Ceasar (2018) explicita a importância que os nutrientes desempenham, estando envolvidos em diversas funções celulares importantes das plantas. Dos quais os três de maior relevância são nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) que atuam diretamente no crescimento e desenvolvimento da cultura. A deficiência de um desses nutrientes ou de todos afeta severamente o rendimento da maioria das plantas cultivadas em todo o mundo. À medida que as mudanças climáticas e as crises de energia se intensificam, as cadeias de abastecimento de fertilizantes químicos tornam-se mais voláteis. Atualmente, o ataque russo à Ucrânia causou aumento no preço do gás e dos fertilizantes, além de reduzir suas disponibilidades (HALECKI e BEDLA, 2022).

Neste contexto, os lodos de esgotos gerados nas estações de tratamento de esgotos (ETEs) têm sido uma boa aposta dos agricultores, como adubo orgânico ou insumo para a recuperação de solos degradados, após ser submetido a um processo de higienização. Isto porque os lodos são constituídos por

matéria orgânica e nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, assim como o esgoto, o que acarretaria uma redução da aplicação excessiva de fertilizantes minerais ao solo (BITTENCOURT; AISSE; SERRAT, 2017). No entanto, há que se atentar ao tratamento desses subprodutos das ETEs para emprego posterior na agricultura, já que, na forma bruta, podem apresentar níveis de poluentes, contaminantes e elementos tóxicos (IBIDEM, 2017).

Diniz (2015) expõe a importância dos óleos essenciais tanto para indústria de cosméticos quanto para as indústrias alimentícia, farmacêutica, e ainda, o emprego para controle de pragas em outros cultivos. Em relação ao mercado mundial de óleos essenciais, os países que mais se destacam são Índia, Estados Unidos da América (EUA), França, China e Brasil em termos de valores e em se tratando dos volumes exportados, a Espanha substitui a França entre os 5 primeiros (BIZZO e REZENDE, 2022).

Os óleos essenciais podem ser aplicados e utilizados diretamente no corpo humano, ou diluídos em óleos vegetais, para tratamentos de inúmeras enfermidades e atuam como: antimicrobianos, antioxidantes, anti-inflamatórios, analgésicos, vermífugos, antibióticos, ação digestiva, previnem a calvície, auxiliam a controlar: enjoos, cólicas problemas digestivos e vômitos, além de tratar acne, alergia, dermatite, sarna, queimaduras, frieira, entre outros (ABIDO, 2017).

O manjerição (*Ocimum basilicum* L.) é uma planta, que apesar da enorme variedade de nomes e espécies existentes, é empregada há tempos na medicina popular e para fisioterapia (RESENDE, 2010). Dentre as espécies do gênero, *Occimum basilicum* L., o manjerição comum é cultivado em vários países, sendo uma das culturas para obtenção de óleos essenciais de maior relevância mundial. O óleo essencial de manjerição é uma importante fonte de compostos aromáticos, desempenhando uma série de atividades biológicas, tais quais: inseticidas, repelentes, nematocidas, antibacterianas, antifúngicas e antioxidantes (STAN TUDORA *et al.*, 2022). Do exposto, o projeto de pesquisa propôs cultivar o manjerição *limoncino* em solo irrigado com esgoto tratado e fertilizado com lodo higienizado com vistas a melhorar a produtividade e o rendimento do óleo essencial.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito do cultivo de manjeriço com esgoto tratado e lodo higienizado (biossólido) sobre a produção e a composição química do seu óleo essencial. Além de estudar a composição nutricional e a sanidade das folhas do *Ocimum Basilicum* L. cultivado com esgoto tratado e biossólido.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a composição química do óleo essencial produzido pelo manjeriço cultivado com esgoto tratado e biossólido.
- Avaliar a produção do óleo essencial em manjeriço cultivado com água e adubação convencional, esgoto tratado e biossólido.
- Avaliar a produtividade de biomassa foliar em manjeriço cultivado com esgoto tratado e biossólido.
- Estudar a composição nutricional do tecido foliar de manjeriço cultivado com esgoto tratado e biossólido.
- Verificar a qualidade bacteriológica das folhas de manjeriço cultivado com esgoto tratado e biossólido.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE LITERATURA

A fim de situar e arrolar o tema, inicialmente disserta-se sobre a seca em Pernambuco, o uso da água e fertilizantes na agricultura, uso de esgoto tratado e lodo higienizado no cultivo de ervas aromáticas e por fim sobre óleos essenciais e sua composição.

3.1 SECA EM PERNAMBUCO

No dicionário Aurélio (2018), a água é definida como um “*líquido incolor, sem cor e inodoro, composto de hidrogênio e oxigênio, H₂O*”. Sabe-se que no meio natural não há registro da presença de água em sua forma pura, como um composto químico formado por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio. O que existe são séries infindavelmente variáveis de soluções aquosas de diferentes substâncias (CAMARGO; PEREIRA, 2003). No entanto, estas soluções constituem uma parcela indispensável à vida e ao meio ambiente, caracterizando um elemento imprescindível às atividades humanas, desde o desenvolvimento agrícola e industrial aos valores culturais da sociedade (LEE *et al.*, 2010).

A maior parte da água existente em nosso planeta representa a água salgada que compõe os oceanos; já a água doce superficial está contida em rios, lagos e represas e, em conjunto com as águas subterrâneas, fornecem a quantidade de água necessária para o abastecimento urbano. Wetzel (1983) elucida de forma clara as quantidades e formas em que a água se apresenta, Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de água distribuída na Terra

Local	Volume (km ³)	Percentual do total (%)
Oceanos	1.370.000	97,61
Calotas polares e geleiras	29.000	2,08
Água subterrânea	4.000	0,29
Água doce de lagos	125	0,009
Água salgada de lagos	104	0,008
Água misturada no solo	67	0,005
Rios	1,2	0,000009
Vapor d'água na atmosfera	14	0,0009

Fonte: WETZEL (1983)

Apesar das quantidades de água supracitadas, existem diversas regiões do planeta que enfrentam situações de escassez, sejam estas um resultado das condições próprias da natureza, das mudanças climáticas, do aumento crescente de demanda, da contaminação e poluição de corpos d'água ou pelo mal gerenciamento dos recursos hídricos pelo próprio homem (COSGROVE e COSGROVE, 2012; GANJEGUNTE *et al.*, 2017).

O Brasil abarca uma grande parte da água doce disponível na Terra, cerca de 12% dos mananciais superficiais e ainda dois aquíferos de relevância mundial (Guarani e Alter do Chão); no entanto, a distribuição desse volume de água não é equitativa no território nacional. Assim, algumas regiões do país retêm uma grande parte dos recursos hídricos brasileiros e outras são afetadas com escassez de água, como por exemplo a região Nordeste, que possui a menor parcela desta água doce (AUGUSTO *et al.*, 2012).

Conforme Freitas (2022) pondera, a superfície coberta por água doce do Brasil no ano de 2020 era de 16,6 milhões de hectares, uma área equivalente ao estado do Acre. No entanto, em 1991, esse número era de 19,7 milhões de hectares; mas, no período de 1991 a 2020, houve uma redução de 15,7% da superfície de água no país. A perda de 3,1 milhões de hectares em 30 anos equivale a mais de uma vez e meia a superfície de água de toda região Nordeste em 2020.

Ademais, boa parte dos mananciais brasileiros sofrem com a contaminação e poluição antrópica, o que dificulta e encarece o tratamento da água e restringe seu uso. Um levantamento da SOS Mata Atlântica efetuado entre 2020 e 2021, em 77 trechos de rios, distribuídos em 130 pontos de coleta, de 64 municípios dos 17 estados da Mata Atlântica apontou que 73,1% apresentaram qualidade da água regular; 16,9%, ruim; e 10% estão em boa condição. Não foram identificados corpos d'água com qualidade de água ótima ou péssima. Os dados obtidos alertam e apontam a fragilidade da condição ambiental de mais de 70% dos principais rios monitorados (CIOATO *et al.*, 2022).

Em relação ao semiárido brasileiro, que é uma das áreas mais povoadas do mundo, estendendo-se por todos os nove estados da região Nordeste e ainda o norte de Minas Gerais, ocupando 12% do território nacional e abrigando cerca de 28 milhões de habitantes, tanto na zona urbana (62%) quanto na zona rural (38%). O semiárido brasileiro se caracteriza pela irregularidade das chuvas, com precipitação pluviométrica média anual inferior a 800mm e por taxas elevadas de

evapotranspiração, essa combinação de constituintes contribui para o risco constante de escassez hídrica, além de apresentar índice de aridez (IA) de até 0,5 ($0,05 < IA < 1,00$) e um risco de seca maior que 60% (INSA, 2019).

Mesmo com a baixa disponibilidade de água, em relação a distribuição de água, a região Nordeste ainda se destaca negativamente, é a segunda no ranking, acerca do desperdício de água ao longo do caminho do sistema de abastecimento, com 45,98% de água que era para ser distribuída sendo perdida. No Estado de Pernambuco, este valor é ainda maior, extraviando-se 50,9% da água tratada; destaca-se ainda que Pernambuco detém o maior índice de captação de água salobra (EOS, 2021).

Segundo levantamento do Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre desastres (CEPED), entre os anos de 1991 e 2012, houveram 1308 registros oficiais de estiagem em Pernambuco, em 93% dos municípios do estado (172 dos 185 municípios), ocasionando danos socioeconômicos e ambientais de grande magnitude (CEPED, 2013). O evento de seca ocorrido de 2012 a 2017 foi considerado o pior dos últimos 30 anos (BRITO *et al.*, 2018; VIEIRA *et al.*, 2021).

Através do Monitor de Secas, que é um processo de acompanhamento mensal da seca realizado pelos estados brasileiros, em especial os do semiárido e sob a coordenação da Agência Nacional de Águas (ANA), em colaboração com o CPTEC/INPE, o CEMADEN e o INMET. No caso de Pernambuco esse monitoramento é feito pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), em colaboração com as seguintes instituições: Agência Executiva de Gestão das Águas (AESAPB), Empresa de Pesquisa Agropecuária (EMPARN/RN), Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA/BA), Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão (NuGEO/UEMA), Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Sergipe (SEMARH/SE), Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade (SEDURBS-SE), Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH/AL), Secretaria de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH/RN), Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Naturais do Maranhão (SEMA/MA) e Secretaria Estadual de Meio Ambiente, Recursos Hídricos do Piauí (SEMAR/PI), Instituto Capixaba de

Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER-ES), Defesa Civil - ES e Instituto Mineiro de Gestão de águas (IGAM-MG).

As cores do mapa, Figura 1, representam a severidade da seca em 5 categorias: fraca, moderada, grave, extrema e excepcional; sendo a cor branca representativa de ausência de seca. As áreas com diferentes impactos da duração da seca são separadas por linhas pretas e siglas, sendo: C - curto prazo, quando a seca está iniciando e duração menor que 6 meses, com os principais impactos na agricultura e pastagem; CL - curto e longo prazo, seca que perdura de 6 meses a mais de 1 ano, com impactos na agricultura, pecuária e recursos hídricos ou L - longo prazo, quando houve recuperação nos impactos de curto prazo (pastagem, recarga de pequenos reservatórios, agricultura), mas permanecem os impactos de longo prazo (pouca recarga nos grandes reservatórios, abastecimento com carro pipa).

Figura 1 – Monitor de secas – classificação de severidade das secas

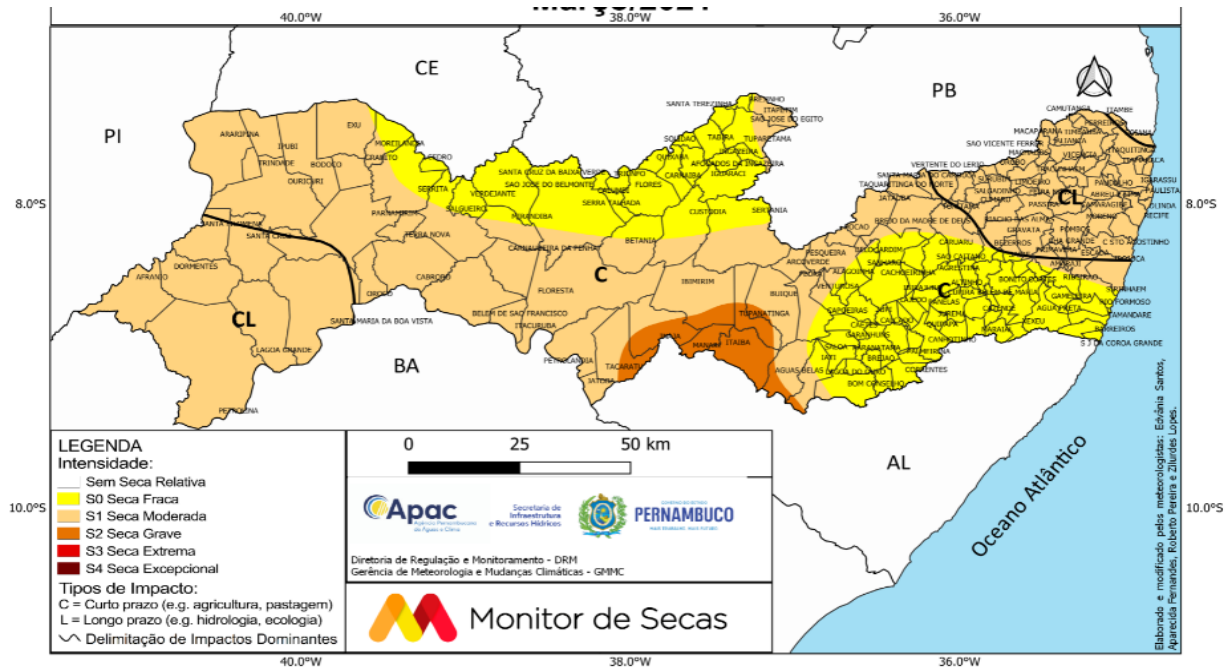
Categoria	Percentil	Descrição	Impactos Possíveis
S0	30 %til	Seca Fraca	Entrando em seca: veranico de curto prazo diminuindo plantio, crescimento de culturas ou pastagem. Saindo de seca: alguns déficits hídricos prolongados, pastagens ou culturas não completamente recuperadas
S1	20 %til	Seca Moderada	Alguns danos às culturas, pastagens; córregos, reservatórios ou poços com níveis baixos, algumas faltas de água em desenvolvimento ou iminentes; restrições voluntárias de uso de água solicitadas
S2	10 %til	Seca Grave	Perdas de cultura ou pastagens prováveis; escassez de água comuns; restrições de água impostas
S3	5 %til	Seca Extrema	Grandes perdas de culturas / pastagem; escassez de água generalizada ou restrições
S4	2 %til	Seca Excepcional	Perdas de cultura / pastagem excepcionais e generalizadas; escassez de água nos reservatórios, córregos e poços de água, criando situações de emergência

Fonte: APAC (2021)

Conforme Figura 2, no ano de 2021 ocorreu a expansão da área com seca moderada (S1) na região central e oeste de Pernambuco, devido às anomalias negativas de precipitação observadas nos últimos meses do referido ano. Pelo

mesmo motivo, a seca se intensificou no sul do estado, passando de moderada (S1) para grave (S2). Os impactos são de curto e longo prazo (CL) no sudoeste e nordeste do estado, e de curto prazo (C) nas demais áreas (APAC, 2021).

Figura 2 – Monitor de secas – Record PE Março/2021



Fonte: APAC (2021)

Pernambuco apresentou, na última década, grandes flutuações pluviométricas anuais; na maior parte do estado, houve maior ocorrência de anomalias de chuvas negativas indicando uma possível modificação nos padrões de chuva (SILVA *et al.*, 2022).

Portanto, o abastecimento de água deve estar em concordância com a disponibilidade dos mananciais, de tal modo que a oferta de água mantenha uma capacidade suficiente para sustentar o abastecimento no futuro, o que exige uma decisão estratégica entre a oferta e a demanda de água (CAMBRAINHA, 2015; WANG *et al.*, 2016). Schaer-Barbosa *et al.* (2014) elucidam que, em se tratando do semiárido, e do Nordeste, por conta da ausência de água em sua grande parte, há que se planejar a implantação de projetos que incentivem e viabilizem alternativas para que haja uma convivência com a seca que proporcione melhores condições de vida da população.

3.2 USO DA ÁGUA E FERTILIZANTES NA AGRICULTURA

Faz-se geral o conhecimento de que as primeiras civilizações da espécie *Homo Sapiens* se deram de forma nômade, em que se desempenhava uma divisão clara de tarefas entre homens que caçavam e as mulheres que coletavam alimentos e cuidavam das crianças. Todavia, com o desenvolvimento da agricultura há uma sedentarização dos seres humanos que passaram a escolher regiões para fixar residência (FABER, 2011).

As primeiras civilizações se formaram no Crescente Fértil, Figura 3, o que atualmente é conhecido como: Egito, Palestina, Mesopotâmia, Pérsia, Turquia, Grécia e Itália (IBIDEM, 2011).

Figura 3 – Monitor Crescente Fértil



Fonte: FABER (2011)

As aldeias tribais evoluíram naturalmente a partir da sedentarização do homem e do aperfeiçoamento das técnicas agrícolas, o que só foram possíveis por conta da proximidade aos rios presentes nessa região. O fator geográfico, em especial, é o responsável pela aproximação do ser humano da água, já que o entorno do Crescente Fértil é formado por desertos (SILVERTEIN, 2022).

O aprimoramento da agricultura possibilitou o incremento da produção de alimentos e seu posterior armazenamento, decorrente da disponibilidade das condições básicas de sobrevivência, há um crescimento vertiginoso da população e a possibilidade de comercialização de alimentos com outros povos. Surgia, portanto, a figura do Estado, e a consolidação do que atualmente existe acerca das relações de trabalho e sociedade (KEENAN-JONES, 2022).

Em suma, tem-se que todo esse processo ocorre como consequência direta da necessidade intrínseca de tornar viável a manutenção da vida, através da alimentação e de água para a população tribal. Assim, tem-se que desde os primórdios o homem habitava regiões próximas a rios (FABER, 2011).

Por possuir propriedade físicas e químicas que podem ser diversas, dependendo da origem e manejo, a qualidade da água se torna um termo relativo subordinado diretamente ao uso em que ela se destina. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2021) “*qualquer atividade humana que altere as condições naturais das águas é considerada um tipo de uso.*” Os tipos de uso classificam-se em consuntivo ou não consuntivo. Quando há retirada da água do manancial para uma determinada finalidade, como por exemplo a irrigação, o emprego na indústria e o abastecimento humano considera-se um uso consuntivo. No entanto, os usos não consuntivos são caracterizados pelo não envolvimento de consumo direto da água, como na geração de energia hidrelétrica, o lazer, a pesca e a navegação, já que aproveitam o curso da água sem consumi-la.

A quantidade de água existente na natureza é finita e sua disponibilidade diminui gradativamente devido ao crescimento populacional, à expansão das fronteiras agrícolas e à degradação do meio ambiente. Sendo a água um recurso indispensável à vida, é de fundamental importância a discussão das relações entre o homem e a água, uma vez que a sobrevivência das gerações futuras depende diretamente das decisões que hoje estão sendo tomadas (OFORI *et al.*, 2021; RAP, 2022).

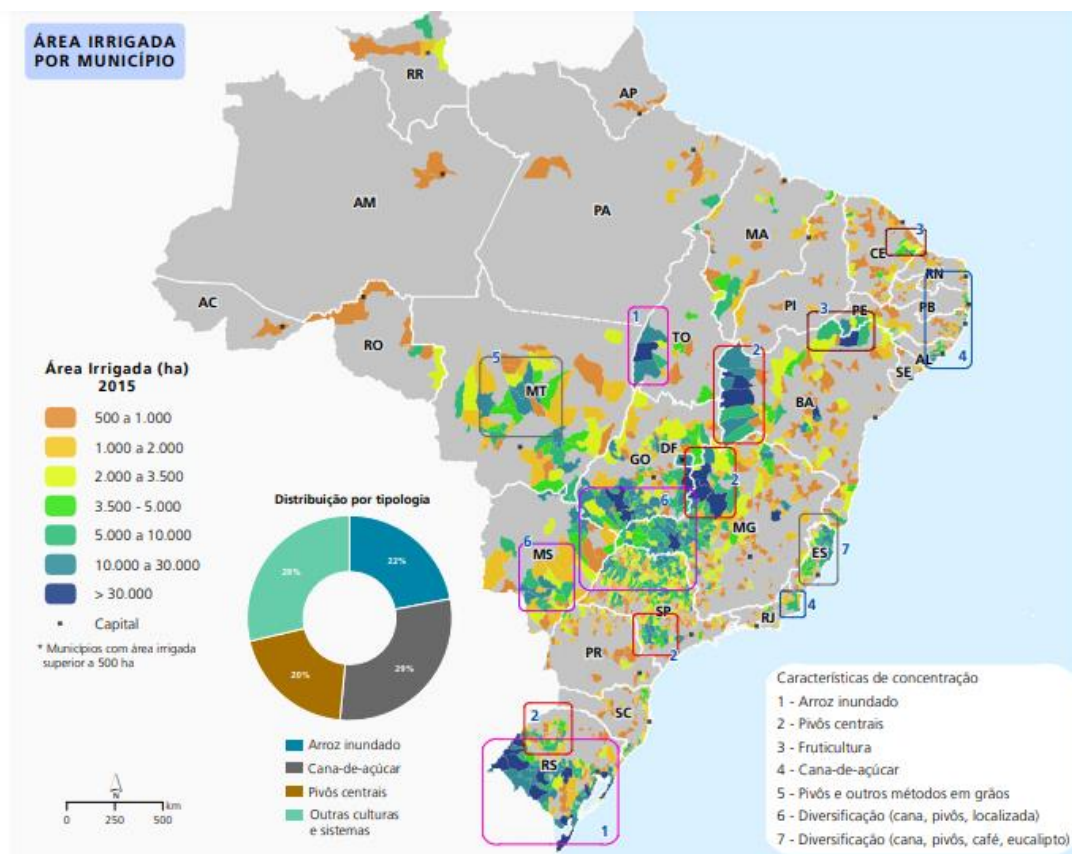
De forma a proporcionar o usufruto da água pelos diversos setores no Brasil, incluindo irrigação que consome uma parcela considerável, a ANA realiza estudos e emite normas, objetivando ratificar o acesso de todos aos recursos hídricos. A gestão deve proporcionar o uso múltiplo das águas, salvo em conjuntura de escassez, neste caso o uso prioritário da água se torna o consumo humano e a dessedentação de animais, assim como está exposto na Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997.

“*A irrigação é imprescindível em regiões áridas e semiáridas, a exemplo do Semiárido brasileiro, onde a segurança produtiva é bastante afetada pela escassez contínua de água*” (ANA, 2017).

Conforme os resultados do levantamento atual da irrigação, efetuado pela ANA (2017), Figura 4, a agricultura é responsável pela retirada de 969 mil litros

por segundo ($969 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) e pelo consumo de 745 mil litros por segundo ($745 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) de água. A irrigação é um uso consuntivo e somando-se aos demais, esses valores correspondem a uma retirada de 46% ($2.105 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) de água e a uma vazão de consumo de 67% ($1.110 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) (ANA, 2017).

Figura 4 – Área irrigada por município no Brasil



Fonte: ANA (2017)

Em relação ao semiárido, mais especificamente ao estado de Pernambuco, ANA (2017) ressalta que o “*Perímetro Senador Nilo Coelho é o maior do Semiárido, com cerca de 23 mil hectares irrigados em 2015*”. Esta área, Figura 5, abrange os municípios de Casa Nova/BA (em um percentual de apenas 20%) e Petrolina/PE (a maior parte, 80% da área). A tomada de água para irrigação ocorre a jusante da barragem da Usina Hidrelétrica de Sobradinho (no lago Sobradinho, rio São Francisco); a usina opera desde 1984. No Perímetro Senador Nilo Coelho cultiva-se preferencialmente fruticulturas, em especial manga e uva, em aproximadamente 60% da área, sendo a irrigação nos sistemas de aspersão convencional, microaspersão e gotejamento. Esta região é responsável por cerca de 24 mil empregos diretos e 35 mil indiretos. Segundo a ANA (2017), “a infraestrutura inclui 976 km de canais, 818 km de adutoras, 711 km de estradas, 263 km de drenos

e 39 estações de bombeamento [esta] imagem [foi obtida através do] Landsat-8 (RGB 652) de 27 junho de 2017”.

Figura 5 – Área irrigada no semiárido: perímetro Nilo Coelho

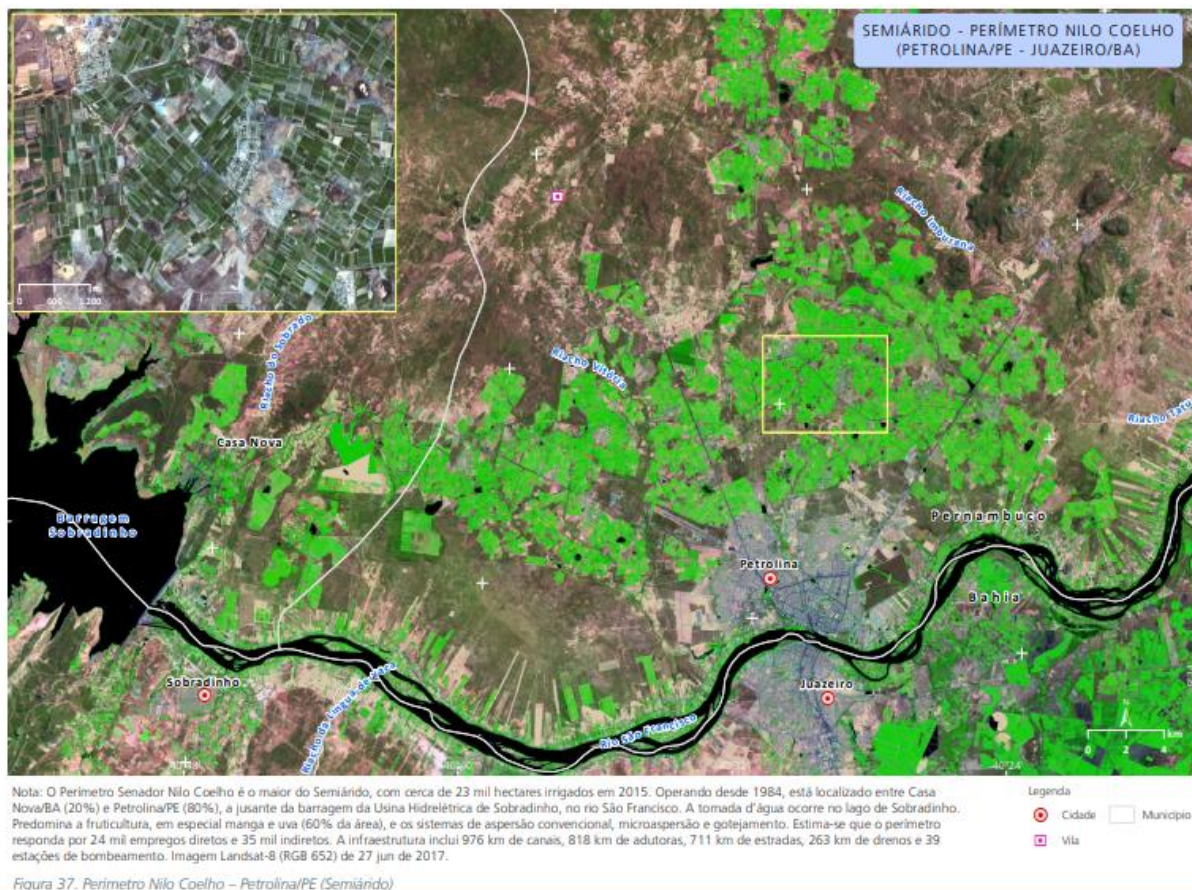


Figura 37. Perímetro Nilo Coelho – Petrolina/PE (Semiárido)

Fonte: ANA (2017)

Sabe-se, portanto, da contribuição poluente da agricultura, que pode ser de forma pontual, com o descarte direto de pesticidas em canais, por exemplo, ou o que normalmente ocorre, uma poluição indireta, difusa e complexa (IBIDEM, 2017).

A Lei 6.894/1980 define que fertilizante é “a substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes vegetais” (BRASIL, 1980). Como existe uma variabilidade nas propriedades do solo, que nem sempre condizem com as exigências de cada cultura, para um plantio e consequente colheita eficientes, é preciso um acompanhamento das necessidades desta cultura e realizar as correções e complementações de nutrientes no solo. Assim, para garantir efetividade nas fertilizações há que se considerar não só o emprego de fertilizantes, mas um cálculo que proporcione uma relação correta das dosagens de nutrientes, em conjunto, com a verificação da época adequada e o modo de aplicação do

fertilizante. Podem-se citar diversas formas de determinar o fertilizante mais apropriado em relação às sementes ou plantas, no entanto as recomendações são variáveis a depender: do tipo de cultura e das características dos fertilizantes, entre outros fatores (MESSIAS *et al.*, 1998; REETZ, 2017).

Reetz (2017) elucida que, de forma geral, existem dezessete nutrientes essenciais para o crescimento das culturas; oxigênio (O), carbono (C) e hidrogênio (H) são fornecidos facilmente pelo ar e pela água; por outro lado os três macronutrientes primários: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) deveriam ser fornecidos pelo solo, no entanto, deficiências ocasionadas pela remoção pelas culturas ou da própria origem do solo, fazem com que seja necessária a reposição destes nutrientes via fontes suplementares, que são principalmente os fertilizantes químicos.

Os fertilizantes químicos podem ser sólidos, líquidos ou quelatos, e do tipo: minerais, que são oriundos de rochas, solos ou minas, mas passam por processos químicos que melhorem sua assimilação para uso e os orgânicos, e orgânicos, que advêm de restos de animais ou vegetais, sendo que os nutrientes que compõem essa matéria se decompõem e enfrentam um processo de mineralização para que as plantas possam absorvê-los (YARANUTRE, 2022).

Os macronutrientes secundários: enxofre (S), cálcio (Ca), e magnésio (Mg) são tão essenciais quanto os primários, mas são usualmente, exigidos em menor quantidade como nutrientes. Por fim, os micronutrientes: boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e níquel (Ni), são requeridos em pequenas quantidades, mas desempenham funções indispensáveis como por exemplo de catalisar processos metabólicos para o crescimento e desenvolvimento das culturas. Entender como as plantas utilizam cada um dos nutrientes, a fonte, dose, época e localização de aplicação de cada um é importante para o manejo dos nutrientes e otimização da produção das culturas (REETZ, 2017).

Reetz (2017) reforça que o uso de fertilizantes minerais de maneira adequada é um dos principais agentes responsáveis pela promoção de segurança alimentar global. Atualmente, um percentual superior a 48% dos 7 bilhões de pessoas estão vivendo por conta do aumento da produção das culturas obtido pela aplicação de fertilizantes nitrogenados.

Acerca da produção de fertilizantes, a maior parte nitrogênio sintético mundial é produzido na América do Norte, na Índia, na China, na Rússia, no Oriente

Médio, na Austrália e na Indonésia. Oitenta por cento do potássio utilizado no mundo advém do Canadá, de Israel, da Rússia, da Bielorrússia e da Alemanha. Mais de 75% das reservas mundiais de fosfato de rocha estão localizadas no Marrocos e no Sahara Ocidental ocupado pelo Marrocos. As dez maiores corporações detêm cerca de 60% do mercado global e são de origem da América do Norte, Europa Oriental e China (SANTOS e GLASS, 2018).

No momento atual, o Brasil faz uso de cerca de 8% do consumo global de fertilizantes, sendo o quarto do mundo, atrás da: China, Índia e Estados Unidos. O nutriente de maior aplicação no Brasil é o potássio, com 38% do consumo de fertilizantes, seguido por cálcio, com 33%, e nitrogênio, com 29%. A demanda de mais de 40% dos fertilizantes aplicados é para soja, que é a maior cultura agrícola do país. O ritmo em que a demanda brasileira por fertilizantes cresce supera a taxa de crescimento mundial, seu atendimento só foi possível a partir do aumento das importações desses itens. Entre 1992 e 2020 o Brasil deixou de ser exportador de fertilizantes para ser grande importador, onde mais de 80% dos fertilizantes consumidos no país são de origem estrangeira, a produção nacional responde por menos de 20% da demanda do país (ALMEIDA e VOLOTÃO, 2020).

A Rússia, Ucrânia e China configuram como os maiores fornecedores de fertilizantes químicos (NPK) para o Brasil. Sendo que, por conta da guerra na Ucrânia, instalou-se uma crise, que afeta preços e disponibilidade desses produtos (HALECKI e BEDLA, 2022; ALMEIDA e VOLOTÃO, 2020). Como grave desdobramento da importação dos fertilizantes está a indexação do seu preço à variação cambial do dólar americano, que impacta diretamente em todos os empreendimentos agrícolas que dependem do insumo, especialmente o pequeno e o médio produtor rural (IBIDEM, 2020).

Por outro lado, a matéria orgânica, que tem várias origens: animais e vegetais, trazem benefícios às propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. Sobre as propriedades físicas há um: aumento da capacidade calorífica, redução das oscilações térmicas, agregação de partículas elementares, aumento da estabilidade estrutural, coesão em solos arenosos, aumento de permeabilidade hídrica e gasosa, solos menos encharcados, facilita drenagem, redução de erosão, aumento da capacidade de retenção hídrica, reduz evaporação, melhora balanço hídrico; acerca das propriedades químicas pode haver um: aumento no poder tampão, regulação do potencial hidrogeniônico (pH), aumento na capacidade de

troca catiônica, formação de quelatos, além da manutenção das reservas de nitrogênio; por fim, em relação as propriedades biológicas há um favorecimento na respiração radical e germinação das sementes, regulação das atividades microbianas, sendo fonte de energia para microrganismos heterotróficos, modificando atividade enzimática, melhorando nutrição mineral dos cultivos, favorecendo a solubilização de compostos minerais e ainda inibindo o efeito de algumas toxinas (DHALIWAL *et al.*, 2019).

Pesquisas da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) diagnosticaram a baixa produção nacional de fertilizantes e como dependemos do mercado internacional e este tem preços com uma variação muito grande há uma fragilidade no posicionamento do Brasil em relação à sustentabilidade da produção agrícola aqui desenvolvida e torna desafiador a prospecção de soluções alternativas, que podem advir de resíduos e coprodutos de processos agroindustriais, que infelizmente são descartados em muitos casos de forma inadequada no meio ambiente (BETEMPS, 2018).

3.3 USO DE ESGOTO TRATADO E LOGO HIGIENIZADO NA AGRICULTURA

Em se tratando do ambiente urbano, as águas residuárias que chegam a uma estação de tratamento de esgoto (ETE) advém de três fontes: esgotos domésticos e aqui se inserem os esgotos de residências, instituições diversas e o comércio; águas de infiltração e despejos industriais. Ressalta-se que no Brasil o sistema de esgotamento sanitário é separador absoluto, havendo a separação das águas pluviais que não são direcionadas à ETE, mas em alguns outros países, a se citar França, o sistema é dito combinado, pois as linhas de drenagem de águas pluviais são veiculadas no mesmo sistema de esgoto (VON SPERLING, 2011).

“Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos.” (VON SPERLING, 2011). Em suma, por conta dessa fração diminuta (0,1%) é que se faz necessário o tratamento do esgoto.

As características dessas águas residuárias vão variar conforme o uso ao qual a água foi vinculada, uso este que está diretamente relacionado com o clima, a situação social e econômica, além dos hábitos da população. Entretanto, podem-se citar algumas características comuns dos esgotos domésticos:

propriedades físicas: temperatura levemente superior à da água de abastecimento, influencia na atividade microbiana, solubilidade e viscosidade do líquido, o esgoto fresco é ligeiramente cinza com odor oleoso e o esgoto séptico é cinza escuro ou preto e o odor é fétido; propriedades químicas: existem grandes parcelas de sólidos orgânicos e inorgânicos suspensos e dissolvidos, uma mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos cujos principais componentes são as proteínas, carboidratos e lipídeos, presença de nitrogênio em estado orgânico, amônia, nitrito e nitrato, por conta dos processos oxidativos o pH tende a ser mais acidificado; em relação as propriedades biológicas pode-se citar os principais microrganismos presentes: bactérias (especialmente coliformes), fungos, protozoários, vírus e helmintos (IBIDEM, 2011).

Ventura *et al.* (2019) estimam que 70% da água doce captada em regiões áridas e semiáridas do globo são empregadas para irrigação agrícola. Portanto, é imperativo que haja uma alteração e outras fontes de água possam ser utilizadas, como: água dessalinizada e águas residuárias tratadas. O uso de efluentes tratados como uma alternativa a irrigação com água doce para agricultura já é uma prática que remonta a algumas décadas (IBEKWE *et al.*, 2018; OFORI *et al.*, 2021).

“Além do aporte de água, a irrigação com esgoto contribui com o aporte de nutrientes, cujas demandas são variáveis em função das características dos solos e das culturas, podendo complementar [...] a fertilização mineral convencional” (MOTA; VON SPERLING, 2009).

No entanto, Mota e Von Sperling (2009) e Araújo Marques *et al.* (2018) afirmam ser necessário controlar o aporte de nutrientes procedentes do esgoto, já que o limiar entre fertilizar e provocar danos é administrado a partir das quantidades utilizada. Excesso de nitrogênio causa nitrificação do solo e aumenta a probabilidade de contaminação de aquíferos por nitratos; o excedente de sais influi no equilíbrio osmótico das plantas e em sua capacidade de absorção da água; o sódio em quantidades acima das indicadas acarreta malefícios a estrutura do solo e consequentemente reduz a velocidade de infiltração, que ao se somar à sodificação com baixos teores de cálcio e magnésio representam uma maior taxa de adsorção do sódio, o que dispersa a argila e obstrui os poros do solo.

A aplicação de esgotos tratados para irrigação é uma prática conhecida em países desenvolvidos e subdesenvolvidos, no entanto, a segurança desta prática

é concebida e garantida, a partir de sua regulação de forma equilibrada, ponderando os riscos, que devem ser mínimos, e os limites, que sejam tais a não inviabilizar seu emprego (DEVILLER; LUNDY; FATTA-KASSINOS, 2020).

Sendo assim, nas últimas décadas percebe-se que a utilização de águas residuárias tratadas para irrigação de culturas teve um aumento significativo, este fato se explica pelo custo elevado de fertilizantes e dos sistemas para tratamento de esgotos a fim de descarregarem nos corpos receptores, aliados a uma procura por práticas mais sustentáveis e econômicas. A eficiência econômica do uso agrícola de esgotos tratados é comprovada através de estudos, onde os custos com outros tipos de água para irrigação e o tratamento convencional de águas residuárias apresentam um valor por metro cúbico menor ao se comparar com o custo para o agricultor adquirir uma água de outra fonte e para às empresas de saneamento é mais elevado (ARAÚJO MARQUES *et al.*, 2018; WINPENNY *et al.*, 2010; LÓPEZ-SERRANO *et al.*, 2021).

Papes (2006) ao entrevistar, pelo Jornal da Paraíba, o pesquisador Napoleão Beltrão da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA algodão, retrata as vantagens de se cultivar mamona utilizando águas residuárias para irrigação, dentre as quais a maior é a economia de 40% em custos. Além de não serem necessários adubos nos plantios e nem água limpa dos reservatórios de abastecimento para irrigação, empregando águas residuárias tem-se um destino mais assertivo desta. A mamona cultivada é utilizada para fabricação de biodiesel, e conforme Napoleão deixa claro, não existem prejuízos à produção dele, ocorre o inverso, já que os nutrientes como: fósforo, nitrogênio e potássio, encontrados nas águas residuárias auxiliam no desenvolvimento da planta e no fim, tem-se uma produção mais volumosa, que por não ser consumida diretamente pelo ser humano não é afetado de qualquer forma com essa irrigação utilizando água residuária. Ademais, várias outras pesquisas têm demonstrado as vantagens no uso de efluentes tratados para irrigação (OFORI *et al.*, 2021; ARAÚJO MARQUES *et al.*, 2018, DEVILLER; LUNDY; FATTA-KASSINOS, 2020). A utilização de águas residuais devidamente tratadas mostrou que a sua implementação na agricultura contribui com a redução no esgotamento dos recursos de água doce, além de melhorar da qualidade do solo (LÓPEZ-SERRANO *et al.*, 2021).

Por ser uma prática mundial, a Organização Mundial da Saúde, OMS, em seu Guia de 2006, intitulado Diretrizes para o uso seguro de águas residuais,

excrementos e águas cinzas: uso de águas residuárias na agricultura, indica que as águas residuárias são conhecidamente contaminadas com matéria fecal, sendo assim, utiliza-se o número de bactérias indicadoras para avaliar a redução da contaminação fecal ao longo do processo de tratamento ou de outros processos, quantificando, portanto a redução do risco pela exposição às águas residuárias ou pela sua utilização, além de propor a redução de vírus, que proporcionam uma proteção suficiente contra ambas as infecções bacterianas e protozoárias; e estabelecer um limite para contagens de ovos de helmintos para diferentes condições de exposição (OMS, 2006).

Em se tratando do Brasil, a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 13.969 de 1997 afirma que *“não é permitido o uso do esgoto tratado mesmo que desinfetado para irrigação das hortaliças e frutas de ramas rastejantes [...]. Admite-se seu reúso para plantações de [...] árvores frutíferas, via escoamento no solo”* (ABNT, 1997).

Os principais limites propostos em legislações nacionais e internacionais incluem 10^3 NMP 100 mL^{-1} para coliformes termotolerantes e $1,0$ ovo L^{-1} para helmintos, para uso em irrigação; entretanto, há que se refinar e analisar com uma maior acurácia os critérios e parâmetros, mas, ao se ter em mente esta ideia preliminar, é possível verificar que as lagoas de estabilização, sejam anaeróbias, facultativas ou de maturação, atendem os limites, removendo organismos patogênicos do esgoto e mantendo os nutrientes como nitrogênio e fósforo essenciais às culturas, outros processos que também poderiam atender esses limites, como os sistemas anaeróbios em reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), mas esses provavelmente demandariam outras etapas como filtração e desinfecção artificial adicionais (JIMÉNEZ-CISNEROS, 1995).

A partir de processos de tratamento de esgotos sanitários há uma produção de subprodutos sólidos que demandam de um tratamento e destinação adequada. Os subprodutos sólidos gerados no tratamento preliminar são, usualmente, destinados a aterros sanitários, mesmo que determinados constituintes como celulose e areia pudessem ser recuperados. Barros *et al.* (2021) explicam que os subprodutos sólidos gerados nas unidades de tratamento primário (lodo primário) e biológico (lodo secundário ou biológico) são denominados lodo de esgoto. A origem do lodo de esgoto, portanto, é variada, englobando desde unidades de tratamento familiar (tanque séptico e filtro anaeróbio), sistemas de lagoas de

estabilização, lodos ativados ou ainda sistemas combinados anaeróbio/aeróbio (UASB seguido de filtro biológico percolador).

Após ser higienizado, garantindo-se que não haja contaminantes, o lodo de esgoto passa a ser denominado de biossólido e pode ser empregado em solos, tanto para agricultura, como fonte de nutrientes, quanto em áreas degradadas (BARROS *et al.*, 2021).

Betemps (2018) da Embrapa Clima Temperado afirma que: o *“lodo proveniente de estação de tratamento de esgoto pode se tornar matéria-prima de um substrato para plantas e de um condicionador de solo”*, esta afirmação advém de uma pesquisa em realização há três anos pela Embrapa em parceria com a Companhia Riograndense de Saneamento Corsan, do Rio Grande do Sul. Na pesquisa, o lodo de esgoto, que é rico em nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, e contém ainda vários micronutrientes, advém do processo de decantação de biomassa microbiana e da própria matéria orgânica digerida do tratamento de esgoto bruto. O lodo de tal pesquisa foi higienizado, por carbonização ou compostagem, e posteriormente sofreu uma correção para uso seguro e eficiente como substrato de mudas, Figura 6. Como resultado, as plantas cultivadas com o lodo higienizado apresentaram resultados de produtividade de fitomassa entre 10% a 20% superiores às aquelas cultivadas com substratos comerciais. Portanto, *“além de excelente para as plantas, a utilização do lodo dá uma destinação limpa a esse resíduo, contribuindo para a sustentabilidade ambiental”* (BETEMPS, 2018).

Figura 6 – Pesquisa EMBRAPA uso lodo higienizado de ETE como substrato



Fonte: BETEMPS (2018)

O lodo de esgoto altera benéficamente as propriedades físicas do solo, melhorando a densidade, porosidade e capacidade de retenção de água, auxilia no

aumento do nível de fertilidade, elevando o pH, diminuindo o teor de alumínio trocável, elevando a capacidade de troca de cátions (CTC) e a capacidade de fornecer nutrientes para as culturas e para os organismos presentes no solo que são responsáveis pela ciclagem dos elementos (MALTA, 2001).

A adição de matéria orgânica é uma prática potencial para mitigar o impacto ambiental dos fertilizantes químicos (SUN, *et al.*, 2023). Do exposto, considera-se o uso agrícola do bio sólido uma forma conveniente de reciclagem de nutrientes e matéria orgânica, que possibilita a redução do uso de fertilizantes minerais (BARROS *et al.*, 2021).

Como vantagens para uso do lodo de ETE, Bittencourt *et al.* (2021) e Barros *et al.* (2021) citam: contribuição para o conceito estratégico de economia circular, fundamentado na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia; desenvolvimento sustentável; reciclagem de nutrientes; aumento da produtividade agrícola; melhoria do solo e economia de fertilizantes principalmente nitrogênio e fósforo como macronutrientes e dos micronutrientes: zinco, boro, cobre, ferro, manganês e molibdênio, infelizmente as quantidades de potássio são diminutas e ainda é preciso essa correção com fertilizante (mesmo que em menor grau). Entretanto, existem alguns entraves como: contaminação microbiológica de produtos, salinização do solo, bioacumulação de elementos tóxicos (metais pesados), impermeabilização do solo, possível desequilíbrio de nutrientes e lixiviação de nitrato.

Tendo em vista as características do resíduo e o produto final desejado, que vai depender de sua aplicação, há que se implantar um sistema específico de tratamento de esgoto, e ao considerar a gestão do lodo para um descarte seguro, há que se considerar três aspectos de suma importância: estabilização da matéria orgânica, teores de metais pesados e grau de patogenicidade do lodo (KACPRZAK *et al.*, 2017). Para tal, há uma série de etapas de tratamento, a se citar: adensamento, estabilização, condicionamento, desaguamento e higienização. Esta última etapa tem o objetivo de zerar ou mitigar a concentração de organismos patogênicos e se torna etapa obrigatória para que o lodo seja transformado em bio sólido e seja utilizado na agricultura ou em recuperação de áreas degradadas. Os métodos de higienização com maior eficácia e mais usuais são: compostagem, caleação e secagem térmica do lodo, estes processos de higienização combinam mecanismos térmicos, químicos e/ou

biológicos para minimizar o grau de patogenicidade do lodo (TCHOBANOGLOUS; BURTON; STENSEL, 2003; KACPRZAK *et al.*, 2017).

A Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução CONAMA nº 498/2020) “*Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de bio sólido em solos, e dá outras providências.*” (BRASIL, 2020). Esta resolução especifica culturas e áreas agrícolas aptas a receber o material, além de restrições locacionais e definição de dose de aplicação. O monitoramento das áreas de aplicação deve ser constante. Para que o lodo tenha medidas para uso, são definidos parâmetros máximos de concentração para agentes patogênicos, indicadores bacteriológicos e contaminantes inorgânicos. Ao contrário da maior parte das legislações internacionais sobre o tema, a Resolução CONAMA nº 498/2020 exige o monitoramento de substâncias orgânicas no lodo, não sendo determinados limites máximos de concentração (BRASIL, 2020).

A norma técnica da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo CETESB P4.230 de 29 de setembro de 2021 que trata sobre “*aplicação de lodo de sistemas de tratamento biológico de efluentes líquidos sanitários em solo - diretrizes e critérios para projeto e operação*” apresenta limites máximos de substâncias inorgânicas e organismos patogênicos no lodo.

3.4 ÓLEOS ESSENCIAIS

Plantas ou ervas aromáticas popularmente conhecidas como plantas medicinais, são responsáveis pela produção de compostos bioativos e essências, cujos aromas característicos impactam o olfato, geralmente de forma positiva e são empregadas mundialmente como alimento e, no preparo de alimentos, como: condimentos, especiarias, molhos aromatizantes. Ademais, essas plantas também são conhecidas por suas propriedades anti-inflamatórias, antiespasmódica, sedativa, antioxidante, antiparasitária, dentre outras. Os compostos químicos produzidos pelo metabolismo vegetal e presentes nas diversas partes das ervas aromáticas é que proporcionam a essas plantas um potencial terapêutico (BRANQUINHO, 2015; FERREIRA *et al.*, 2017).

Braga (2011) destaca que foi localizado no Egito um dos herbários mais antigos do mundo, onde os egípcios catalogaram 125 plantas medicinais e 811 receitas utilizadas por eles. Sendo assim, fica claro a quão antiga é esta prática de

utilização de plantas medicinais e mais ainda, deve-se tomar o devido cuidado para que eles mantenham o seu caráter terapêutico e não porventura tóxico (DELATORE; ROYER, 2010).

Conforme norma 9235 da *International Organization for Standardization* (ISO), óleos essenciais (OEs) são “*produtos obtidos de matérias-primas naturais de origem vegetal, por destilação a vapor, por processos mecânicos a partir do epicarpo de frutos cítricos, ou por destilação a seco, após a separação da fase aquosa – se houver – por processos físicos*”. Essa definição é respeitada internacionalmente pela indústria e associações científicas e regulatórias do setor. Dito isto, extratos contendo voláteis obtidos com solventes, ceras e gorduras, fluidos supercríticos, técnicas de *headspace* ou quaisquer outros meios não são óleos essenciais (ISO, 2021).

As plantas aromáticas movimentam o mercado mundial em ordens de bilhões de dólares, tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento, já que os óleos essenciais compõem uma variedade de produtos da indústria farmacêutica e cosmética, tais quais: perfumes, cremes, medicamentos, maquiagens e outros (DINIZ, 2015). O mercado internacional de OE em 2021 foi estimado em US\$ 10,3 bilhões, correspondentes a 253 mil toneladas, com tendência de crescimento constante, os países que mais se destacam em relação aos valores de óleos essenciais exportados são Índia, EUA, França, China e Brasil, e em se tratando dos volumes exportados, a Espanha substitui a França entre os 5 primeiros e o Brasil aparece em primeiro lugar neste ranking há mais de vinte anos (BIZZO e REZENDE, 2022).

A partir da década de 1980, dada sua relevância, surgiram resoluções, portarias e relatórios relacionados ao uso de plantas medicinais, a se citar: Portaria número 212/1981 do Ministério da Saúde que trata do estudo das plantas medicinais como uma das propriedades da investigação clínica; o Programa de Pesquisas de Plantas Medicinais da Central de Medicamentos do Ministério da Saúde (2006) delineou a importância terapêutica das plantas medicinais com embasamento científico (MENDONÇA, 2018).

Apesar da COVID-19 ainda ser um evento muito recente, sendo necessário um tempo maior para uma melhor avaliação, nos dados de comércio internacional não se verificou redução de volumes e valores negociados em 2020, em contraposição, houve um crescimento do mercado, tanto em função do aumento

da demanda por aditivos naturais, em detrimento aos sintéticos na indústria alimentícia. O crescimento do setor de aromaterapia, especialmente nos EUA, ultrapassou US\$ 1 bilhão em 2018, com acréscimo médio de 10 % ao ano, além do uso de óleos essenciais em sanitizantes. Entretanto, não se pode afirmar se essa tendência vai se consolidar nos próximos anos (BIZZO e REZENDE, 2022).

Berlyn (1976), Tirillini e Maggi (2021) comentam que os óleos essenciais obtidos de diferentes partes da mesma planta podem apresentar composição química, características físico-químicas e odores distintos. No entanto, Alves *et al.* (2015) afirmam que apesar da variabilidade de composição química dos óleos essenciais, seu rendimento é diminuto, de aproximadamente 0,2 a 1%, em relação a massa inicial úmida da planta.

Metabólitos primários como: aminoácidos, nucleotídeos, açúcares e lipídeos, são produzidos pelas plantas para atuar diretamente no seu desenvolvimento e crescimento, crescimento celular, reprodução, fotossíntese, transporte de nutrientes, respiração e fotorrespiração, entre outros processos fundamentais. Algumas plantas produzem também os metabólitos secundários, derivados de várias partes da planta, como folhas, pétalas, caules, sementes e raízes, esses são compostos por substâncias bioativas, que possuem ação no organismo e se relacionam a estímulos ambientais, a se citar: ação repelente contra ataques de herbívoros, proteção a raios ultravioleta, ação contra microrganismos e patógenos (GARCIA; CARRIL, 2009; SHASANK *et al.*, 2023).

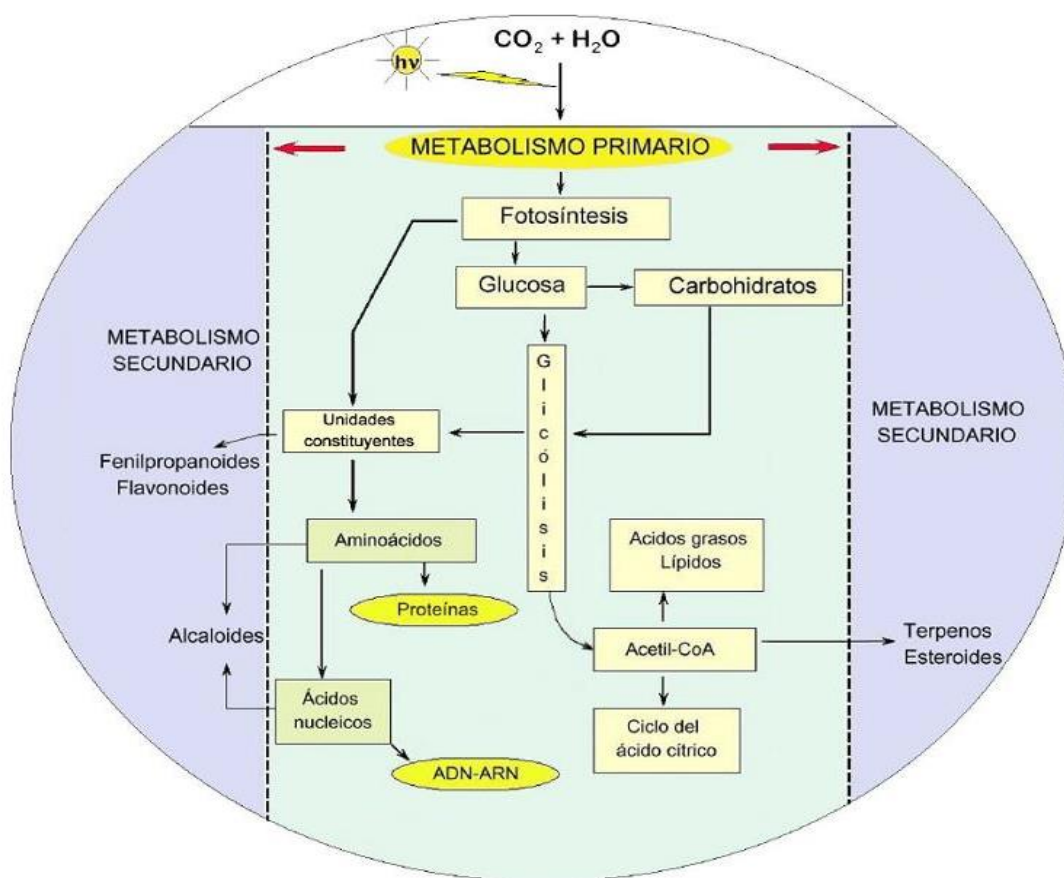
Em diversas pesquisas é comum a identificação de mais de 60 compostos distintos (CASTELO; DEL MENEZZI; RESCK, 2010), Tirillini e Maggi (2021) identificaram cinquenta componentes no óleo essencial de manjerição. Entretanto, as classes mais encontradas são: fenilpropanoides, terpenos (monoterpenos e sesquiterpenos) e seus derivados oxigenados (ISMAN *et al.*, 2011; TIRILLINI e MAGGI, 2021). Garcia e Carril (2009), na Figura 7, ilustram a inter-relação entre os metabólitos primários e secundários, é justamente esta ação que possibilita a produção de fenilpropanoides, flavonoides, alcanoides, terpenos e esteroides.

De forma geral, pode-se dividir os componentes químicos dos óleos essenciais em duas categorias, a se citar: derivados terpênicos (advindos da via ácido mevalônico-acetato ou do metileritritol 4-fosfato) que são responsáveis pelas unidades isoprênicas e os compostos aromáticos (oriundos da via do ácido

chiquímico), no entanto, sobre a constituição de óleos essenciais os terpenos voláteis, como monoterpenos (10 carbonos) e sesquiterpenos (15 carbonos) configuram como os principais (GUENTHER, 1959).

Portanto, as plantas, em geral precisam de condições mínimas para execução de suas funções fisiológicas e metabólicas, isto engloba a disponibilidade de macronutrientes, em maiores quantidades e os micronutrientes, em menores taxas; no entanto, fatores abióticos incluindo temperaturas extremas, secas, inundações, doenças causadas por pragas, entre outros, afetam a funcionalidade dos processos celulares e metabólicos, limitando o crescimento e desenvolvimento das plantas e reduzindo o rendimento e a qualidade do óleo essencial (DRESSELHAUS e HÜCKELHOVEN, 2018; SALVI *et al.*, 2022). Além das influências supracitadas, que afetam diretamente a composição e quantidade dos óleos essenciais há que se citar ainda os procedimentos de pós-colheita, como a secagem, que interferem nesta composição química dos óleos aromáticos (SZUMNY *et al.*, 2010).

Figura 7 – Elementos do metabolismo primário e a inter-relação com o metabolismo secundário



Fonte: GARCIA e CARRIL (2009)

3.4.1 Manjerição

O manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)   uma espécie vegetal do g nero *Ocimum*, cuja palavra deriva do termo grego  kimom que significa perfumado, em referência ao forte perfume de suas folhas. O *O. basilicum*   de origem italiana e pertencente à família *Lamiaceae*; possui diversos nomes populares, a se citar: alfavaca, alfavaca doce, manjeriço doce, remédio de vaqueiro, erva-real, manjeriço da folha grande entre outros. É uma herbácea que se desenvolve durante todo o ano no Brasil, apresenta diversas subespécies e formas (TIRILLINI e MAGGI, 2021).

O manjeriço é uma planta herbácea, ramificada, subarbusto aromático e perfumada, tem uma altura que varia de 0,3 m a 1,0 m; caule lenhoso ou sublenhoso. A Figura 8 ilustra um manjeriço, cujas folhas são carnosas e se apresentam em grande quantidade, de formato ovalado, sem pelos, cor verde-brilhante e em sua face inferior existem minúsculas covas onde as gotículas de essência se formam, apresentam flores que dependendo da variedade podem ser de coloração: branca, rósea ou lilás e apresentar de 6 a 100 flores na inflorescência (RODRIGUES; GONZAGA, 2001; BRESSAN, 2015).

Figura 8 – Manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)



Fonte: RODRIGUES e GONZAGA (2001)

Em se tratando do clima, Favorito *et al.* (2011) esclarecem que *O. basilicum* se desenvolve melhor em clima tropical ou sub-tropical, com temperaturas amenas ou quentes (acima de 18 C) com presença de sol e umidade; ele não aceita temperaturas frias (abaixo de 10 C), nem geadas; sendo que quanto menor a

temperatura durante o seu ciclo, menor é a planta, e o tempo nebuloso ou chuvoso, pouco antes do corte, diminui o teor de óleo essencial.

Utiliza-se amplamente as folhas, sementes e raízes do manjeriço para banho, infusão, xarope, cataplasma e decoração, tendo em vista seu potencial anti-inflamatório, estimulante digestivo, antiespasmódico e outros. No Nordeste do Brasil, o manjeriço é utilizado desde o período colonial, século XVII, para banhos ritualísticos aromáticos, além do preparo de chás para tratamento de problemas gastrointestinais e tempero especial em receitas (SILVA; SANTOS; LISBOA, 2020).

Fabri e Maia (2019) classificam o manjeriço conforme seu aroma, que pode ser: doce, limão, cinamato ou canela, cânfora, anis e cravo. Por conta das inúmeras espécies e diferentes aromas que compõem os óleos essenciais, muitas pesquisas têm-se desenvolvido, visto a relevância do produto, sendo que os principais componentes, dentre os mais de vinte que podem ser encontrados, são: linalol (70%), eugenol, geraniol, timol, cânfora, taninos, metil-chavicol, metil-cinamato, 1,8-cineol e citral (SIMON *et al.*, 1990; MORALES; SIMON, 1997; MENDONÇA, 2018, TIRILLINI e MAGGI, 2021).

As espécies mais usuais para produção de fármacos, perfumes e cosméticos, devido seu óleo essencial ter em sua composição cineol, metilchavicol, linalol, flavonóides e ácidos triterpênicos, conforme Matos (1998), são: *Ocimum gratissimum* (manjeriço-doce), *Ocimum basilicum* (manjeriço branco), *Ocimum tenuiflorum*, *Ocimum selloi Benth* (elixir paregórico). O rendimento de óleo essencial de manjeriço em relação a massa fresca total da planta está em torno de 0,3 a 0,58% (Fabri e Maia, 2019).

De acordo com a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* FAO (2015), entre os anos de 2012 e 2013, o comércio mundial de manjeriço apresentou um incremento de 25% (de 613,772 para 820,162 Mt) na quantidade exportada, sendo o total de exportações e importações internacionais de 820,162 a 8201,77 megatoneladas, respectivamente. Configuram como os principais países exportadores: China, Índia, Madagascar, Egito e México. China, EUA, Alemanha e Madagáscar lideram como principais importadores. Acerca da produção mundial de óleo essencial de manjeriço, houve uma produção de 50 a 100 toneladas e o rendimento do óleo essencial de manjeriço indiano de 132,0 a 162,5 kg ha⁻¹ (SINGH *et al.*, 2010; LUBBE e VERPOORTE, 2011). Tendo em vista o

mercado, Blank *et al.* (2004) aponta como uma boa alternativa para pequenos produtores rurais o cultivo e extração de óleo essencial de manjerição.

Toncer *et al.* (2017) desenvolveram um estudo sobre o teor do óleo essencial em diferentes estágios de desenvolvimento da planta, a se citar: prefloração, floração e pós-floração, e observaram que o maior teor de óleo foi extraído no estágio após a floração, por outro lado, o menor teor de óleo foi extraído na prefloração. Portanto, o estágio de desenvolvimento da cultura configura fator determinante para o teor de óleo essencial. Moghaddam *et al.* (2015) discorrem que em relação aos estágios de desenvolvimento do manjerição e também afirmam que a ausência de flor na cultura fornece um maior teor de óleo essencial. Ainda é importante ressaltar que concomitante ao desenvolvimento da planta, verificam-se modificações no metabolismo secundário, ou seja, além do teor, os compostos presentes no óleo essencial tendem a se alterar. Ademais ao exposto, a emissão de flores reduz o despontamento de novas folhas (MOGHADDAM *et al.*, 2015).

Para análise da composição do óleo essencial de manjerição, ou de outras plantas recorre-se a cromatografia gasosa (GC), por ser um método experimental amplamente empregado para análises de compostos em sua fase gasosa. Este procedimento fundamenta-se na migração distinta entre a fase móvel e estacionária (MCNAIR, 2009). A espectrometria de massas (MS) é responsável por carregar o material injetado, ionizando-o em alto vácuo, compelindo e concentrando esses íons e seus produtos de fragmentação pelo analisador magnético de massa, feito isso, há a coleta e medição das quantidades de cada íon selecionado em um detector (BRANQUINHO, 2015).

4 METODOLOGIA

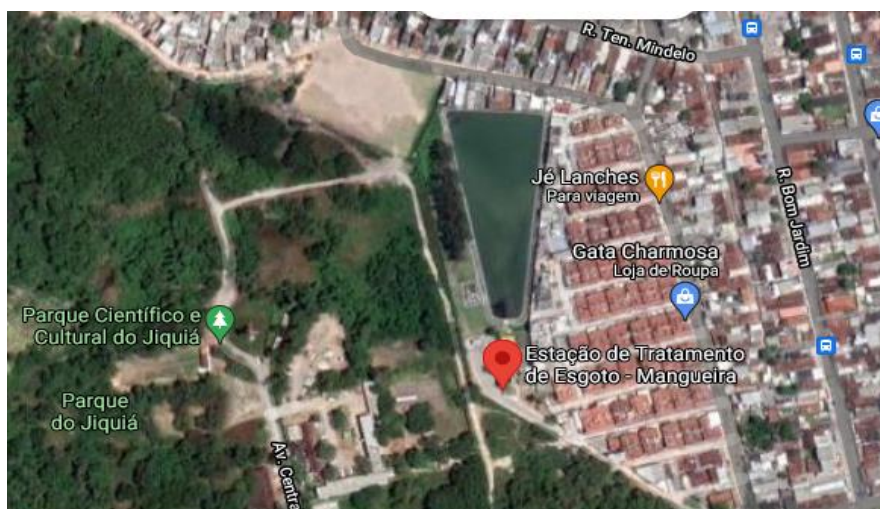
4.1 INFORMAÇÕES GERAIS DO EXPERIMENTO

O experimento foi desenvolvido em cinco etapas principais: (i) caracterizações lodo higienizado e esgoto tratado utilizados, (ii) análise dos parâmetros físicos e químicos do solo, (iii) cultivo do manjeriço, (iv) extração de óleo essencial e (v) análise da composição do óleo essencial.

4.2 LODO HIGIENIZADO E ESGOTO TRATADO

O esgoto tratado e lodo biológico empregados no experimento foram provenientes da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Mangueira, Figura 9, que fica na zona oeste do município de Recife, estado de Pernambuco, no bairro Mangueira, coordenadas geográficas: 8°05'56,59"S e 34°55'33,14"O.

Figura 9 – ETE Mangueira Recife-PE



Fonte: GOOGLE MAPS (2023)

A ETE Mangueira dispõe de tratamento preliminar: gradeamento e caixa de areia, tratamento secundário: reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) e tratamento terciário: lagoa de estabilização. O esgoto tratado foi coletado na saída do efluente da lagoa de estabilização, o lodo biológico destinado ao processo de higienização foi o lodo de descarte de uma das células do reator UASB em operação na ETE Mangueira, sendo primeiramente descartado em leitos de secagem. A produção de lodo de esgoto é de aproximadamente 10 toneladas por mês (massa seca com 60% de umidade).

Acerca do tratamento secundário, o reator UASB é composto por oito células dispostas em paralelo, cada célula opera como um reator individual. Em conjunto, o sistema UASB da ETE Mangueira tem uma vazão diária de projeto de $31,89 \text{ L s}^{-1}$ e vazão máxima horária de $51,11 \text{ L s}^{-1}$, o tempo de detenção hidráulica (TDH) é de oito horas (BARROS *et al.*, 2012).

De acordo com Barros *et al.* (2012) a lagoa de estabilização dispõe de um formato trapezoidal de 145m de comprimento, base menor de 18 m e base maior com 65 m, a inclinação do talude é de 2:1 (H:V). Portanto o volume útil é de 8.154 m^3 e o TDH é de 3 dias.

Não existe lei e/ou quadro regulatório estabelecido em nível Federal específico para a reuso, exceto as resoluções do CNRH para reuso não potável, que não apresentam limites a serem obedecidos. No entanto, várias leis e regulamentos devem ser considerados, o Anexo A, que consta a Tabela 10 da Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reuso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil (Interáguas, 2018), lista as principais leis, normas, e regulamentos vigentes no âmbito Federal a serem consideradas no desenvolvimento de um quadro regulatório de reuso. Portanto, a escolha dos parâmetros a serem analisados para o esgoto tratado e lodo higienizado, Tabelas 2 e 3, e os métodos empregados à obtenção de cada um ocorreram em função das recomendações das resoluções do CONAMA: nº 357 de 17 de março de 2005 (para usos múltiplos de água), deliberação normativa CERH-MG Nº 65 Minas Gerais (2020), MoE (2001), FAO (2011), PROSAB por Bastos *et al.* (2006), OMS (2006), USEPA (2012); CONAMA nº 498 de 19 de agosto de 2020 e CETESB P4.230 (2021). Das análises efetuadas, procedeu-se aferição em campo: temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica com o uso de um multiparâmetro digital (marca HACH, modelo HQ40D).

Para efeito de comparação, configurando os testemunhos, procedeu-se a irrigação também com água de abastecimento, sendo esta submetida aos mesmos ensaios do esgoto tratado. A água de abastecimento foi coletada das instalações hidráulicas existentes na própria estufa onde se desenvolveu o experimento.

Conforme Tabela 6 da resolução CONAMA nº 498 de 19 de agosto de 2020, para uma quantidade de lodo aplicada de até 60 toneladas por ano, a qual se adequa ao experimento, deve-se aplicar uma frequência de monitoramento anual, preferencialmente anterior ao período de maior demanda.

Coletou-se um volume de aproximadamente 80 litros de esgoto tratado em recipientes de polímero inerte e vidro, para irrigação e a depender da análise, conforme determinações da ANA (2011), as coletas eram realizadas semanalmente. Após a coleta, o esgoto tratado era armazenado sob temperatura ambiente e protegido de iluminação, para minimizar as variações nas características físico-químicas da amostra, já que o esgoto tratado está sujeito à degradação natural do material orgânico nitrogenado e carbonáceo que o compõem.

Para determinação das substâncias inorgânicas, foram admitidos os métodos 3050 e 3051, estabelecidos no U.S.EPA SW-846. As determinações de pH, umidade, N total, N Kjeldahl, N amoniacal, N nitrato/nitrito e sólidos voláteis e totais no lodo de esgoto ou produto derivado foram realizadas de acordo com os procedimentos adotados pela U.S. EPA SW-846. Bloem *et al.* (2016) apresenta a metodologia a ser adotada para determinação de metais biodisponíveis para absorção das plantas. Para sólidos voláteis e N Kjeldahl, adotou-se o método estabelecido por APHA *et al.* (2017). Os resultados foram expressos em mg do parâmetro por kg de lodo de esgoto ou produto derivado, em base seca.

A coleta do lodo ocorreu em recipientes de polímero inerte e vidro, a depender da análise, conforme determinações do Guia Nacional de Coletas e preservação de Amostras da ANA (2011) e em consonância com *Standard Methods the Examination of Water and Wastewater* (APHA *et al.*, 2017).

Em relação ao lodo, a coleta ocorreu após o procedimento de desaguamento em leito de secagem. Após a retirada da umidade, procedeu-se com a higienização, a fim de: reduzir a quantidade de patógenos, eliminar odores ofensivos, e reduzir ou mitigar potencial de putrefação do lodo (CETESB, 2018). Conforme Matos *et.al* (2021), a compostagem é um o processo aeróbio, em que se obtém a decomposição controlada de resíduos orgânicos, transformando-os em material parcialmente humificado. O lodo desaguado da ETE Mangueira passou por um processo de higienização via compostagem. Nesse processo o lodo desaguado foi misturado com outros materiais orgânicos de maior granulometria, neste caso restos de podas de árvores e folhagens secas, a fim de proporcionar maior porosidade ao meio. Ao fim de 90 dias de maturação, o lodo compostado foi coletado para análises de caracterização físico-química e bacteriológica, para testar o atendimento aos requisitos da resolução CONAMA nº 498/2020 e CETESB P4.230.

Tabela 2– Análises efetuadas e limites estabelecidos pelo CONAMA (2005), para água de irrigação classe III, MoE (2001), FAO (2011), PROSAB (2006), Minas Gerais (2020), OMS (2006), USEPA (2012)

Análise Físico-química										
Ensaio	Unidade	Conama	PROSAB	CERH MG	OMS	USEPA	MoE	FAO I	FAO II	FAO III
Temperatura	°C	-*	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade elétrica	$\mu\text{S cm}^{-1}$	-	-	> 500	-	-	-	-	-	-
pH	-	6 a 9	-	6 a 9	-	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Salinidade	‰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Razão de Adsorção de sódio - RAS	-	-	-	< 3	-	-	-	-	-	-
Sólidos suspensos totais	mg L^{-1}	-	-	-	-	-	60	60	200	200
Sólidos suspensos fixos e voláteis	mg L^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oxigênio dissolvido	$\text{mg L}^{-1}\text{O}_2$	> 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Demanda química de oxigênio - DQO	$\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$	-	-	-	-	-	125	125	250	250
NTK	$\text{mg L}^{-1}\text{N-NTK}$	13,3	-	-	-	-	90	30	30	30
Nitrogênio Amoniacal	$\text{mg L}^{-1}\text{N-NH}_4^+$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitrato	$\text{mg L}^{-1}\text{N-NO}_3^-$	< 10	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo	$\text{mg L}^{-1}\text{P}$	< 0,05	-	-	-	-	5	-	-	-
Potássio	mg K L^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	mg Ca L^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg Mg L^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sódio	mg Na L^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alumínio	mg Al L^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ferro	mg Fe L^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinco	mg Zn L^{-1}	5	-	-	-	-	5	-	-	-
Viabilidade de ovos de helmintos	$\text{N}^\circ \text{ ovos L}^{-1}$	-	< 1	< 1	< 1	-	-	-	-	-
Índice de coliforme total	NMP (100mL)^{-1}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Echerichia coli</i>	NMP (100mL)^{-1}	< 4.000	10^3 ou 10^4	< 10^4	10^0 a 10^5	ND	< 2000	< 200	< 1000	-

Fonte: A autora (2023)

* Não possui limite estabelecido pelo CONAMA (2005), MoE (2001), FAO (2011), PROSAB (2006), OMS (2006), USEPA (2012), MINAS GERAIS (2020)

Tabela 3 – Análises efetuadas e limites estabelecidos pelo CONAMA (2020) e CETESB (2021) para lodo utilizado em agricultura

Análise Físico-química			
Ensaio	Unidade	Limites CETESB	Limites Conama
Carbono orgânico	mg g ⁻¹	_*	-
Fósforo	mg P g ⁻¹	-	-
NTK	mg N-NTK g ⁻¹	-	-
Nitrogênio Amoniacal	mg N-NH ₃ g ⁻¹	-	-
Nitrato + nitrito	mg N-NO ₃ NO ₂ g ⁻¹	-	-
pH	-	-	-
Potássio total	mg K g ⁻¹	-	-
Sódio total	mg Na g ⁻¹	-	-
Enxofre total	mg S g ⁻¹	-	-
Cálcio total	mg Ca g ⁻¹	-	-
Magnésio total	mg Mg g ⁻¹	-	-
Umidade	%	-	-
Sólidos voláteis	%	-	-
Sólidos totais voláteis	%	-	-
Alumínio	mg kg ⁻¹ base seca	-	-
Cadmio	mg kg ⁻¹ base seca	< 39,0	< 39,0
Chumbo	mg kg ⁻¹ base seca	< 300,0	< 300,0
Cobalto	mg kg ⁻¹ base seca	-	-
Cobre	mg kg ⁻¹ base seca	< 1500,0	< 1500,0
Cromo	mg kg ⁻¹ base seca	< 1000,0	< 1000,0
Ferro	mg kg ⁻¹ base seca	-	-
Fósforo	mg kg ⁻¹ base seca	-	-
Manganês	mg kg ⁻¹ base seca	-	-
Molibdênio	mg kg ⁻¹ base seca	< 50,0	< 50,0
Níquel	mg kg ⁻¹ base seca	< 420,0	< 420,0
Vanádio	mg kg ⁻¹ base seca	-	-
Zinco	mg kg ⁻¹ base seca	< 2800,0	< 2800,0
Análise bacteriológica			
Índice de coliformes totais	NMP g ⁻¹ de ST	-	-
<i>Echerichia coli</i>	NMP g ⁻¹ de ST	< 10 ³	< 10 ³
Ovos viáveis de helmintos	Ovo g ⁻¹ de ST	< 0,25	< 0,25

Fonte: A autora (2023)

*Não possui limite estabelecido por: CETESB (2021) e CONAMA (2020).

A respeito das análises microbiológicas e de patogenicidade, utilizaram-se Normas CETESB (1992, 1985, 1988) e/ou manual da Agência de proteção ambiental dos EUA, EPA 625 (2003) em seus apêndices F, H e I.

Os demais ensaios não discriminados seguiram determinação da APHA *et al.* (2017). Conforme o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, ANA (2011, p. 36):

“dispõe-se de centenas de variáveis ou determinantes que podem ser empregados para caracterizar um corpo de água [...] as combinações entre essas variáveis não permitem formular planos padrões. Cada caso deve ser estudado individualmente, sendo que os parâmetros e critérios mais empregados incluem os estabelecidos na legislação vigente”.

As coletas das amostras de esgoto e lodo foram realizadas no período entre final de setembro e dezembro, que correspondem a estação seca na região Nordeste. A classificação do clima da cidade de Recife (PE) é Am, clima de monção, de acordo com a Köppen e Geiger (1928) e conforme a classificação de Thornthwaite (1955), o clima é megatérmico com moderado excesso, pequena ou nenhuma deficiência de água (wrA'a'). Conforme Tabela 4, a temperatura média anual em Recife é 25.45 °C. Tem uma pluviosidade média acumulada anual de 2417,7 mm.

Tabela 4 – Valores climatológicos mensais para Recife PE

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Chuva (mm)	108,2	148,2	256,9	337,6	318,5	377,9	388,1	204,8	122	63	35,7	56,8	201,5
Tmax (°C)	30,2	30,2	30	29,7	28,9	27,9	27,3	27,5	28,1	29	30,1	30,2	29,1
Tmin (°C)	22,4	22,6	22,7	22,6	21,9	21,6	21,1	20,6	20,7	21,4	21,9	22,2	21,8
Vento (km/h)	10,7	9,9	8,2	8,1	8,1	9,3	10,3	11,2	11,7	11,4	11,8	11,2	10,1

Fonte: APAC (2023)

Sendo assim, se respeitou o indicado pelo Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras e a legislação vigente, ambas supracitadas, além do exposto na ANA (2011, p. 227) em seu capítulo 08 acerca do plano de amostragem, também já explicitado, em que há que se:

“considerar vários aspectos, tais como: objetivo da avaliação, localização do empreendimento, tempo da amostragem, pontos de retirada de amostras, dimensionamento da equipe técnica, material necessário para realização dos trabalhos, conhecimento do levantamento industrial, vistoria prévia no local, conhecimento da atividade industrial, de seu processo de fabricação e da hidrografia da região (quando o efluente é descartado em rios) e parâmetros a serem analisados no efluente para avaliação do atendimento a legislação ambiental de controle de poluição das águas”.

A dosagem do biossólido (lodo higienizado) utilizado no experimento foi calculada com base nos teores de nutrientes contidos no lodo higienizado e no solo de plantio, além da recomendação de adubação para a cultivar estudada, sendo o nitrogênio o elemento limitante. Lembrando que, no caso do lodo higienizado, há que se respeitar a taxa de aplicação máxima em base seca, que deve ser calculada conforme indicado na resolução CONAMA nº 498/2020.

4.3 SOLO

O solo utilizado foi estrategicamente selecionado por ser pobre em nutrientes, isto para que fosse possível avaliar as respostas diretamente ligadas à assimilação dos nutrientes contidos no esgoto tratado e no biossólido (lodo higienizado).

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm (camada arável), na estação experimental do IPA, em Goiana-PE, localizada na Rodovia Governador Mário Covas (BR 101), nº 7885, coordenadas 7°38'13.376"S e 34°57'5.364"O.

O solo foi seco ao ar, destorroado, peneirado em peneira de areia grossa (tela em malha 8), Figura 10, e homogeneizado manualmente. Em seguida, uma amostra desse solo foi enviada para o IPA (Instituto de Pesquisas Agropecuárias de Pernambuco) para análise granulométrica, conforme os requisitos descritos na Norma ABNT NBR 7181 (2018), e posterior caracterização química de fertilidade do solo, em que foram determinados os seguintes parâmetros e calculados: pH, teor de matéria orgânica, Fe, Cu, Zn, P, K, N, Na, Ca, Al, Mg, capacidade de troca de cátions potencial (CTC), acidez potencial, soma de bases (SB), saturação por bases (V), saturação por alumínio (m), densidade do solo (DS), densidade da partícula (DP), porosidade total (PT), argila natural, areia total, areia grossa, areia fina, silte, argila, conforme metodologia indicada pelo manual de métodos de análise do solo da EMBRAPA (1997), Bloem *et al.* (2016) e Raij e Batagli (2001).

A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) foram determinados no Laboratório de Solos do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (DEN-UFPE) seguindo as recomendações

do manual de ensaios laboratoriais da EMBRAPA (2005) para solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos.

Figura 10 – Preparação do solo



Fonte: A autora (2023)

Após a realização da caracterização física e química do solo, iniciou-se os preparativos para o plantio, cuja primeira atividade foi a construção da curva de retenção de água no solo, para que fosse possível o manejo da irrigação com o uso de tensiômetros. A curva de retenção de água no solo foi delineada com os valores de ajuste da equação de Genuchten (1980), Figura 11, conforme a Equação 1:

$$\theta(\Psi_m) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha \cdot \Psi_m)^n]^m} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

$\theta(\Psi_m)$ – teor de água como função do potencial matricial, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

$\Psi (m)$ – potencial matricial de água no solo, $\text{cm H}_2\text{O}$;

θ_r – teor de água residual do solo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

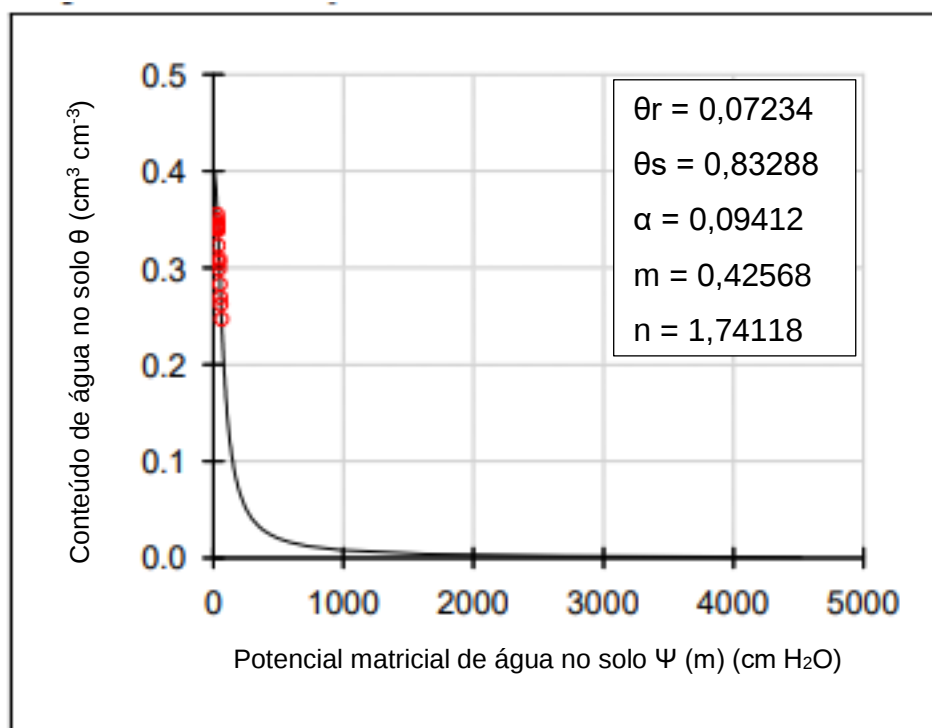
θ_s – teor de água do solo saturado, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

α, n – parâmetros empíricos de ajuste da equação, sendo que $m=1-(1/n)$ (MUALEM, 1976).

A partir da curva de retenção de água no solo constatou-se que o conteúdo de água no solo na capacidade de campo foi de $0,37 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$, e o

conteúdo de água no solo no ponto de murcha permanente foi de $0,11 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Dito isto, a irrigação seguiu as recomendações da EMBRAPA (2011), para manter o solo na sua capacidade de campo.

Figura 11 – Curva de retenção de água no solo



Fonte: A autora (2023)

Após as análises no solo, verificaram-se as recomendações de adubação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Agroindústria Tropical, (EMBRAPA, 2011) para a cultivar estudada, e só então efetuar a adição de NPK. As dosagens dos fertilizantes minerais foram calculadas levando-se em consideração também as concentrações de N, P e K presentes no esgoto tratado e os requerimentos nutricionais específicos para o manjeriço. Como fertilizantes minerais, foram utilizados sulfato de amônio (composto por 21% de N), superfosfato simples (composto por 18% de P_2O_5) e cloreto de potássio (58% de K_2O). Na Tabela 5 estão descritas as doses de fertilizantes minerais e biossólido aplicadas.

Tabela 5 – Doses de fertilizantes minerais e biossólido aplicados ao solo

Fertilizante	Dose aplicada (kg m^{-2})
sulfato de amônio 21% N	0,010
superfosfato simples 18% P_2O_5	0,017
cloreto de potássio 58% K_2O	0,003
biossólido	1,156

Fonte: A autora (2023)

Ao fim do experimento, o solo foi coletado e enviado ao Laboratório de Química Ambiental de Solos do Departamento de Agronomia/UFRPE (Universidade Federal Rural de Pernambuco) para a realização de caracterização química de fertilidade do solo, conforme ensaios e metodologias já supracitados anteriormente.

4.4 CULTIVO DO MANJERICÃO

O experimento foi conduzido em estufa localizada no Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN), em Recife, Pernambuco, cujas coordenadas são 8°3'26.615" S e 34°56'48.833" O. A estufa tem dimensões de 8 m comprimento por 6 m de largura, sendo constituída de tela antiviral de 150 micras nas laterais e coberta com filme agrícola com difusor e tratamento ultravioleta (UV) de 150 micras (Figura 12).

Figura 12 – Estufa no CRCN



Fonte: A autora (2023)

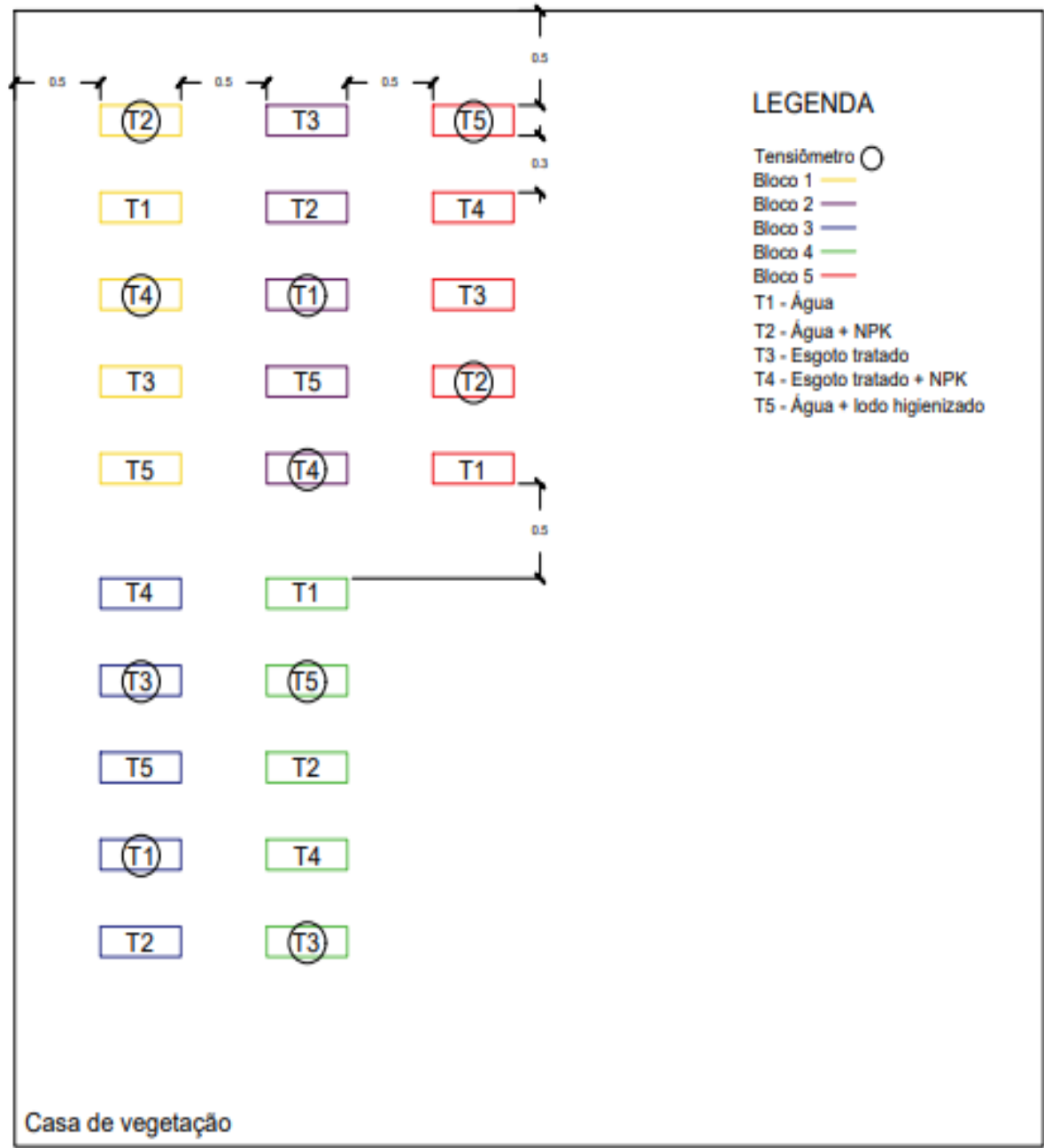
O delineamento estatístico foi em blocos casualizados, com 5 tratamentos e 5 repetições, totalizando 25 vasos. Em cada vaso de plantio foram cultivadas duas plantas, completando 50 plantas. As descrições dos tratamentos estão na Tabela 6 e o esquema dos blocos está representado na Figura 13.

Tabela 6 – Descrição dos tratamentos

TRATAMENTO	DESCRIÇÃO
T1 (A)	Irrigação com água (Controle 1) ¹
T2 (A+NPK)	Irrigação com água e adubação mineral com NPK (Controle 2) ²
T3 (E)	Irrigação com esgoto tratado
T4 (E+NPK)	Irrigação com esgoto tratado e adubação mineral com NPK
T5 (A+L)	Irrigação com água e adubação com biossólido

Fonte: A autora (2023)
¹ Controle 1: controle absoluto; ² Controle 2: simulação do cultivo convencional em campo

Figura 13 – Esquema do delineamento experimental



Fonte: A autora (2023)

As plantas foram cultivadas em vasos plásticos com aproximadamente 14 litros de volume útil, sendo suas dimensões 47 cm x 19 cm x 16 cm (comprimento x largura x altura). Na preparação dos vasos para plantio, foram efetuados cinco furos pequenos na parte inferior do vaso, em seguida colocou-se uma manta geotêxtil (bidim) na parte interna do vaso, para cobrir os furos e, para permitir escoamento da água, seguido da inserção de 8,6 kg de substrato definido conforme tratamento (solo + NPK ou solo + bio sólido), tomando o cuidado de manter uma borda superior livre de 2 cm no vaso. Ao fim da preparação dos vasos, fez-se o plantio de duas mudas por vaso, Figura 14. A distância entre mudas foi de 30 cm, dentro do vaso e entre linhas, a distância entre colunas e entre blocos foi de 50 cm, de acordo com o exposto por EMBRAPA (2011).

Figura 14 – Vasos do experimento com *Ocimum Basilicum*



Fonte: A autora (2023)

Para a obtenção das mudas, procedeu-se com a germinação de sementes em três bandejas flexíveis para semeadura. Cada bandeja dispunha de 50 células, cada célula foi preparada com manta geotêxtil (bidim), solo e duas sementes de *Ocimum basilicum* (499 - manjerição *limoncino*). As sementes eram da empresa ISLA, lotes 146489-002 (90% de taxa de germinação, safra de 2020 e

pureza de 100%), 147724-000 (90% de taxa de germinação, safra de 2020 e pureza de 100%) e 151542-000 (taxa de germinação de 98%, safra de 2021 e pureza de 99,9%).

Na fase de produção das mudas, a semeadura das sementes foi efetuada em 24/08/2022. As irrigações foram realizadas diariamente, no período da manhã com a água de abastecimento advinda de uma torneira instalada dentro da estufa. Após 28 dias da semeadura, quando as mudas apresentaram dois pares de folhas verdadeiras, procedeu-se com o transplante para os vasos do experimento.

Após o transplante das mudas, o manejo de irrigação foi realizado com base no monitoramento da umidade do solo pelo potencial matricial, com a aferição do potencial matricial de água no solo feita pelo tensímetro digital de agulha (marca Blumat, modelo HID07, precisão de 0,1 KPa), inserindo-o nos tensiômetros de punção (marca Hidrosense, modelo SKT690/20). Os tensiômetros foram instalados a 10 cm de profundidade nos vasos, de acordo com o exposto por Marouuell (2008). Foram instaladas 10 unidades de tensiômetros, Figura 12, espalhados de forma que cada bloco tivesse duas unidades e cada tratamento também duas unidades. A frequência de irrigação foi diária e matutina, aplicando-se ao solo o volume de água ou efluente tratado necessários para retornar à umidade do solo à capacidade de campo. A Tabela 7, indica a lâmina média em milímetros de irrigação para cada tratamento.

Tabela 7 – Lâmina média de irrigação por tratamento

TRATAMENTO	LÂMINA MÉDIA (mm)
T1 (A)	2,71
T2 (A+NPK)	4,94
T3 (E)	3,62
T4 (E+NPK)	5,51
T5 (A+L)	5,14

Fonte: A autora (2023)

A irrigação era efetuada com: água de abastecimento, proveniente da companhia de saneamento local, sendo coletada na torneira instalada na estufa, e esgoto tratado, coletado semanalmente na ETE Mangueira, ambas com regadores específicos de forma localizada.

O desenvolvimento das plantas foi mensurado através da medição de sua altura, número de folhas e tamanho das folhas, através de fitas métricas com precisão de 1mm e paquímetro digital de precisão 0,01 mm (marca DIGIMESS, modelo SKU88427). Foi verificado o início da floração das plantas; no entanto, ao

ser constatado o surgimento das primeiras flores, procedeu-se com a retirada delas, para que não houvesse diminuição do rendimento do óleo essencial das folhas em detrimento das flores, e para que se garantisse a continuidade de emissão de novas folhas.

A coleta das plantas foi realizada com 63 dias após o transplântio (DAT). Após a coleta, as plantas foram medidas e pesadas em balança semi-analítica (marca MARTE, modelo A 5000, precisão de 0,01g) e analítica (marca BEL, modelo M214-Ai, precisão de 0,1 mg) e uma parte da biomassa foliar foi separada para realização dos ensaios com as folhas frescas. O restante da biomassa foliar da planta foi colocada em sacos de papel e levadas a estufa de secagem (marca TECNAL, modelo TE-394/2-MP, precisão de 1°C) com fluxo de ar forçado a 45 °C, até atingirem massas constantes. Após a secagem, a biomassa foliar seca foi pesada em balança semi-analítica, misturada e moída em macro moinho tipo Willye (marca TECNAL, modelo R-TE-650/1).

Para avaliar o efeito da fertirrigação com esgoto tratado e da adubação com o biofóssido, foram realizadas as seguintes análises no tecido foliar do manjeriço, com base nos métodos descritos por Bezerra Neto e Barreto (2011) e no livro Métodos Físico-químicos para Análises de Alimentos do Instituto Adolfo Lutz (2006): umidade, cinzas, nitrogênio total (NTK), proteína bruta e solúvel, clorofilas (C-a, C-b e C-total), carotenóides e carboidratos. Em relação aos metais (Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, V, Zn), utilizou-se a metodologia proposta por da Silva *et al.* (2022). Para avaliar as características fisiológicas das plantas e sua produtividade, foram determinados a altura total das plantas, tamanho da raiz, diâmetro do caule, o início da floração e a produção de biomassa foliar (número e comprimento médio das folhas). Além disso, também foi realizada uma avaliação da fitossanidade das plantas, por meio da análise bacteriológica de suas folhas (Coliformes totais e *Escherichia coli*), conforme Silva; Junqueira; Silveira (2001). Todos os procedimentos laboratoriais foram realizados no Laboratório de Saneamento Ambiental do Centro de Tecnologia e Geociências LSA/CTG/UFPE.

Os resultados foram avaliados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) e teste F, aos níveis de 1 e 5%. Por fim, as hipóteses foram testadas, via teste de Tukey, para encontrar possíveis diferenças significativas entre os tratamentos.

4.5 EXTRAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL

Em relação à extração, foi empregada a técnica de hidrodestilação por meio do Aparelho de Clevenger, em que inicialmente inseriu-se 10g de amostras secas e 200 mL de água deionizada em um balão de fundo chato de 1.000 mL. Em seguida, acoplou-se o balão ao aparato de destilação tipo Clevenger e uma manta aquecedora. O período de extração foi de 2 horas, sendo este tempo contado a partir do momento que as primeiras gotas de óleo essencial desceram pelo condensador.

Após a extração, o óleo essencial foi aferido no próprio aparelho de Clevenger e pesado em balança analítica (marca BEL, modelo M214-Ai, precisão de 0,1mg) para que fosse calculado o rendimento e a densidade, de acordo Santos *et al.* (2004).

A separação dos compostos do óleo essencial extraído das folhas de manjerição, para posterior identificação, foi realizada por cromatografia a gás acoplada a espectrometria de massas por ionização por elétrons (GC/MS/EI). O cromatógrafo a gás utilizado foi um Agilent modelo 7890A configurado com injetor *split/splitless* e sistema automático de injeção de amostras; ao qual estava acoplado um espectrômetro de massas com ionização de elétrons Agilent modelo 5975C. A coluna utilizada para a separação dos compostos do óleo essencial, foi uma coluna não polar SLB® 5 ms capillary GC column da SUPELCO, com dimensões de 30 m x 0,25 mm x 0,25 µm.

As condições cromatográficas empregadas para a separação dos compostos do óleo essencial do manjerição foram adaptadas do método apresentado em Shellie *et al.* (2002). Na Tabela 8 são apresentados os parâmetros e valores utilizados.

A identificação dos compostos do óleo essencial de manjerição, foi realizada comparando o cromatograma total de íons de cada composto da amostra, com o cromatograma total de íons do padrão do composto armazenado na biblioteca do *National Institute of Standards and Technology* (NIST), que faz parte do pacote de softwares de operação e tratamento de dados disponibilizados pelo fabricante do equipamento. Ademais, os resultados de identificação dos compostos do óleo essencial de manjerição, obtidos com o GC/MS/EI, também foram comparados com os resultados de artigos acadêmicos, que realizaram a identificação dos compostos

de óleo essencial de produtos naturais. Esta comparação foi realizada de acordo com a ordem de eluição dos compostos do óleo essencial, obtidas com a análise de cromatografia a gás. Nesta, a ordem de eluição (saída) dos compostos da coluna cromatográfica ocorre da seguinte forma: os compostos com menor massa molecular (mais voláteis) eluem da coluna em um tempo menor que os que possuem massa molecular maior (menos voláteis) (HANIF *et al.*, 2011; MURÁRIKOVÁ *et al.*, 2017; SHAH *et al.*, 2022; SHELLIE *et al.*, 2002).

Tabela 8 – Condições cromatográficas empregadas para a separação dos compostos do óleo essencial de manjeriço por GC/MS/EI

Parâmetros cromatográficos (GC)	Valores	
Volume de injeção da amostra	1 µL	
Temperatura do injetor	250 °C	
Modo de injeção	split	
Razão de Split	100:1	
Gás de arraste	Hidrogênio	
Fluxo do gás de arraste	1 mL·min	
Parâmetros espectrométricos (MS)	Valores	
Modo de varredura de massas	scan	
Intervalo de varredura de massas	40 a 500 m/z	
Temperatura da linha de transferência	250 °C	
Temperatura do quadrupolo	200 °C	
Temperatura da fonte de íons	150 °C	
Gradiente de temperatura do forno da coluna analítica		
Taxa de aquecimento (°C min ⁻¹)	Temperatura (°C)	Tempo (min)
0	30	5
3	250	70

Fonte: A autora (2023)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO E BÍOSSÓLIDO

A Tabela 9 contém a média da caracterização e do monitoramento das águas de irrigação (esgoto tratado e a água de abastecimento público), além dos limites estabelecidos pelo CONAMA (2005), Minas Gerais (2020), MoE (2001), FAO (2011), PROSAB por Bastos *et al.* (2006), OMS (2006) e USEPA (2012).

Foi consumido um total de 363,47 L de água de abastecimento e 194,91 L de esgoto tratado durante todo o ciclo de cultivo (91 dias). O pH da água de abastecimento apresentou valores mais baixos que o pH do esgoto tratado, mas ambos estão dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA (2005), Minas Gerais (2020) e pelos padrões internacionais da USEPA (2012), MoE (2001) e FAO (2011). Por outro lado, os parâmetros do esgoto: oxigênio dissolvido, NTK e fósforo estão fora dos limites estabelecidos pelo CONAMA (2005). Conforme os limites internacionais para as características físico-químicas, apenas os sólidos suspensos totais presentes no efluente tratado ficaram fora dos limites estabelecidos por MoE (2001), todos os demais parâmetros analisados atendem os limites internacionais supracitados.

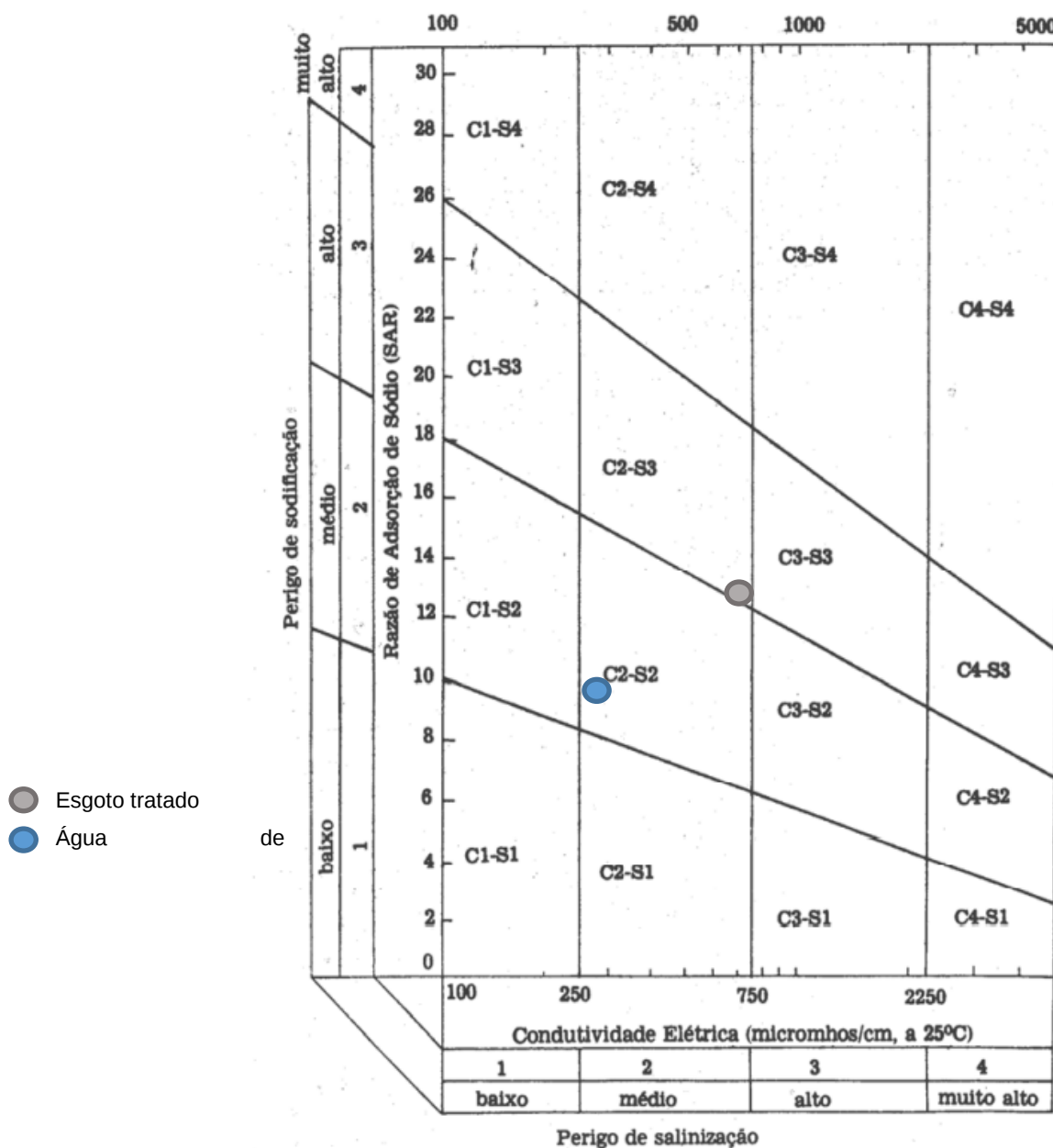
Richards (1954) classifica o risco de salinidade com base no valor da condutividade elétrica em quatro classes C1 ($< 250 \mu\text{S cm}^{-1}$, água de baixa salinidade), C2 (entre 250 e $750 \mu\text{S cm}^{-1}$, água de média salinidade), C3 (entre 750 e $2250 \mu\text{S cm}^{-1}$, água de alta salinidade) e C4 ($> 2250 \mu\text{S cm}^{-1}$, água de muito alta salinidade). A água de abastecimento e o esgoto tratado são classificados como C2, média salinidade. A razão de adsorção de sódio (RAS) e a condutividade elétrica (CE) são utilizados para avaliação do perigo de salinidade e de sodicidade da água de irrigação, a combinação desses dois parâmetros permite a classificação da qualidade da água de irrigação, baseada no diagrama proposto por Richards (1954), Figura 15. Por esse motivo, a deliberação normativa CERH-MG Nº 65 Minas Gerais (2020) estabelece valores limite para ambos, no caso da CE, o esgoto tratado está dentro do exigido, mas a RAS está acima do permitido, o que poderia indicar um risco de dispersão da argila do solo. Por outro lado, o valor de RAS encontrado do esgoto tratado está de acordo com o também encontrado por Elsokkary e Aboukila (2020), em experimento utilizando esgoto doméstico tratado na irrigação.

Tabela 9 – Características físico-químicas das águas de irrigação

Parâmetros	Unidades	Esgoto tratado	Água de abastecimento	PROSAB	CERH-MG	CONAMA	USEPA	OMS	MoE	FAO
pH	-	7,33 ± 0,34	6,51 ± 0,05	.*	6 a 9	6 a 9	6 a 9	-	6 a 9	6 a 9
Condutividade elétrica	μS cm ⁻¹	743,33 ± 55,51	295,50 ± 32,5	-	> 500	.*	-	-	-	-
Salinidade	‰	0,34 ± 0,02	0,12 ± 0,01	-	-	-	-	-	-	-
RAS	-	13,41 ± 0,71	11,12 ± 0,78	-	< 3	-	-	-	-	-
N-total	mg N L ⁻¹	25,12 ± 3,37	1,14 ± 0,09	-		13,3	-	-	90	30
N-amoniaco	mg N-NH ₄ ⁺ L ⁻¹	18,16 ± 3,02	0,90 ± 0,03	-	-	-	-	-	-	-
Nitrato	mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹	0,6 ± 0,01	0,30 ± 0,01	-	-	< 10	-	-	-	-
Fósforo	mg P L ⁻¹	1,27 ± ,04	0,023 ± 0,01	-	-	< 0,05	-	-	5	-
Potássio	mg K L ⁻¹	11,2 ± 0,20	6,83 ± 0,01	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio	mg Ca L ⁻¹	0,003 ± 0,001	ND**	-	-	-	-	-	-	-
Magnésio	mg Mg L ⁻¹	5,39 ± 0,05	5,18 ± 0,03	-	-	-	-	-	-	-
Sódio	mg Na L ⁻¹	48,9 ± 0,30	32,4 ± 0,20	-	-	-	-	-	-	-
Alumínio	mg Al L ⁻¹	0,31 ± 0,04	0,01 ± 0,002	-	-	-	-	-	-	-
Ferro	mg Fe L ⁻¹	0,29 ± 0,02	0,04 ± 0,01	-	-	-	-	-	-	-
Zinco	mg Zn L ⁻¹	0,09 ± 0,02	0,763 ± 0,003	-	-	-	-	-	-	-
Oxigênio dissolvido	mg O ₂ L ⁻¹	3,28 ± 2,88	6,37 ± 0,25	-	-	> 5	-	-	-	-
DQO	mg O ₂ L ⁻¹	107,67 ± 22,95	24,87 ± 3,02	-	-	-	-	-	125	250
Sólidos suspensos totais	mg ST L ⁻¹	137,58 ± 14,32	42,30 ± 5,30	-	-	-	-	-	60	200
Sólidos suspensos fixos	mg STF L ⁻¹	0	0	-	-	-	-	-	-	-
Sólidos suspensos voláteis	mg STV L ⁻¹	102,42 ± 5,67	54,15 ± 11,15	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes Totais	NMP (100 mL) ⁻¹	0,95.10 ³ ± 0,4.10 ³	< 1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Escherichia coli</i>	NMP (100 mL) ⁻¹	0,35.10 ³ ± 0,17.10 ³	< 1	10 ³ ou 10 ⁴	<10 ⁴	< 4000	ND	10 ⁰ a 10 ⁵	< 200	< 1000
Ovos de helmintos	Nº ovos L ⁻¹	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	-	-	-	-

Fonte: A autora (2023) *Não possui limite estabelecido; **ND – abaixo do limite de detecção

Figura 15 – Diagrama para classificação de águas de irrigação quanto a sodicidade e salinidade



Fonte: BERNARDO (1989)

A água de abastecimento é classificada como C2S2 enquanto o esgoto tratado se classifica como C2S3, desta forma, apresentam uma salinidade média, em que há possibilidade de plantio sem necessidade de práticas especiais para o controle de salinidade. De outro modo, a sodicidade apresentada pelo esgoto tratado já é considerada alta, requerendo uma boa drenagem, fácil lixiviação e aporte de matéria orgânica, que nesse caso, já é fornecido pelo próprio esgoto tratado (ALMEIDA, 2010).

Leal *et al.* (2009) elucida que até um certo limite, a entrada de sódio no solo pode ser equilibrada pela sua remoção pelas plantas, entretanto, esse efeito

depende diretamente do requerimento da cultura. O monitoramento dos sais, em especial do sódio, é necessário ao longo dos períodos de irrigação com esgoto tratado, tendo em vista que a salinização é um processo em que sais solúveis se acumulam no meio, seja por conta de evapotranspiração intensa, sobretudo em locais áridos ou semiáridos, com drenagem limitada, e/ou por irrigação com águas ricas em sais, a salinização ainda pode ser decorrente do uso exagerado de fertilizantes salinos. Em situação de salinidade elevada, há tendência de ocorrer a saída de água das células das plantas para o meio, afetando a produtividade, e até mesmo, resultando na morte parcial ou total da lavoura. A sodificação é um processo em que ocorre acúmulo de sais de sódio e de bicarbonato, onde o bicarbonato tende a reagir com o cálcio e magnésio solúveis presentes no solo, formando compostos mais estáveis, podendo precipitá-los. Por outro lado, há hidrólise do sódio, aumentando o pH. Concomitantemente, ocorre acúmulo gradativo de sódio no meio. Esse acúmulo, sobretudo quando este elemento ultrapassa 15% da capacidade de troca de cátions (CTC), leva à dispersão dos coloides do solo e degradação da sua estrutura. Os valores aqui encontrados ainda são aceitáveis, mas devem ser monitorados no solo (MATOS e MATOS, 2017).

De acordo com Alcalde-Sanz e Gawlik (2017), em um relatório da *Science for Policy do Joint Research Centre (JRC)*, o órgão da Comissão Europeia a serviço de ciência e conhecimento, intitulado requisitos mínimos de qualidade para reúso de água na agricultura e recarga de aquíferos: rumo a um jurídico instrumento na água reutilização a nível da União Europeia, em relação as classes de qualidade de água de reúso e métodos de irrigação associados ao uso agrícola para os padrões de União Europeia, o manjericão em estudo se encaixa na classe B ou C, tanto para alimentos consumidos crus, em que parte seja produzida acima do solo e não estão em contato direto com água de reúso, quanto para alimentos processados. Do exposto, a cultura estudada pode ser irrigada com o efluente tratado proposto, já que este atende aos critérios para estas classes.

Acerca da análise bacteriológica, foi utilizado o indicador *Escherichia coli* que é a espécie mais prevalente no grupo Coliforme fecal. A *E. coli* predomina no trato digestivo humano, logo, pode ser considerada um dos melhores indicadores de contaminação fecal disponível (MOLLEDA *et al.*, 2008). Dufou (1977) afirma que a *E. coli* corresponde a mais de 90% dos coliformes fecais. Por conseguinte, em todo o mundo, muitas diretrizes, como a NRMM-EPHC-AHMC (2006), mencionam o

uso de águas residuárias (como esgoto doméstico, industrial tratados e águas cinzas) e recomendam a *E. coli* como indicador fecal, tornando-os os primeiros organismos na lista de escolha em programas de monitoramento, incluindo a vigilância da qualidade da água potável (OMS, 2011), bem como os indicadores bacterianos comumente utilizados em legislações internacionais de reúso de água da União Europeia (JRC, 2014). O esgoto tratado atende tanto as recomendações internacionais, MoE (2001), FAO (2011), OMS (2006) para *E. coli*, quanto a determinação pelo CONAMA (2005), Minas Gerais (2020) e do PROSAB por Bastos *et al.* (2006). No entanto, pela norma da USEPA (2012), por conta da *E. coli*, seria necessária uma etapa de desinfecção para uso posterior. Já em relação ao número de ovos viáveis de helmintos, o esgoto tratado teve o mesmo resultado da água de abastecimento, ficando dentro de todas as determinações internacionais e nacionais.

Em se tratando do zinco, o esgoto tratado atende os limites propostos tanto pela legislação brasileira, quanto pelas normativas internacionais. Almeida (2010) informa sobre a toxicidade da presença de zinco em quantidades superiores a 2 mg L⁻¹, no entanto sua toxicidade é reduzida quando o solo apresenta textura fina, pH superior a 6 e em solos orgânicos. Como o próprio esgoto tratado contém matéria orgânica e um valor bem inferior ao limite de zinco supracitado, então o esgoto tratado atende as determinações e pode ser empregada para irrigação. A demanda química de oxigênio (DQO) do esgoto tratado está inferior aos limites internacionais, não possuindo um limite estabelecido pelo CONAMA (2005).

As análises de caracterização físico-química do logo higienizado e os limites requeridos pelo CONAMA 498/2020 e pela CETESB P4.230 (2021), são apresentadas na Tabela 10. O biossólido foi classificado como Classe 1, conforme as indicações do CONAMA (2020) para os valores máximos permitidos de substâncias químicas, das quais, os elementos: cádmio, chumbo, cobre, cromo, molibdênio, níquel e zinco estão abaixo dos limites permitidos. A razão entre sólidos voláteis e sólidos totais foi de 0,33, o que é bem inferior ao estabelecido pela legislação nacional (0,65), comprovando-se, portanto, que a fração orgânica do biossólido está estabilizada.

Tabela 10 – Características físico-químicas do lodo higienizado (biossólido) e limites CONAMA 498/2020 e CETESB P4.230 (2021)

Análise Físico-química			
Ensaio	Unidade	Lodo higienizado	Limites Conama/CETESB
Carbono orgânico	mg g ⁻¹	74,63	-
Matéria orgânica	mg g ⁻¹	128,67	-
Fósforo	mg P g ⁻¹	0,833	-
NTK	mg N-NTK g ⁻¹	19,40	-
Nitrogênio Amoniacal	mg N-NH ₃ g ⁻¹	12,27	-
Nitrato + nitrito	mg N-NO ₃ NO ₂ g ⁻¹	7,370	-
pH	-	5,5	-
Potássio	mg K g ⁻¹	3,050	-
Sódio	mg Na g ⁻¹	1,107	-
Enxofre	mg S g ⁻¹	1,552	-
Cálcio	mg Ca g ⁻¹	9,165	-
Magnésio	mg Mg g ⁻¹	0,974	-
Umidade	%	64,83	-
Sólidos voláteis	%	21,989	-
Sólidos totais voláteis	%	64,835	-
Alumínio	mg g ⁻¹	268	-
Cádmio	mg g ⁻¹	0,128	< 39,0
Chumbo	mg g ⁻¹	2,515	< 300,0
Cobalto	mg g ⁻¹	0,099	-
Cobre	mg g ⁻¹	0,099	< 1500,0
Cromo	mg g ⁻¹	0,225	< 1000,0
Ferro	mg g ⁻¹	854,8	-
Fósforo	mg g ⁻¹¹	832,97	-
Manganês	mg g ⁻¹	16,284	-
Molibdênio	mg g ⁻¹	0,110	< 50,0
Níquel	mg g ⁻¹	0,641	< 420,0
Vanádio	mg g ⁻¹	1,639	-
Zinco	mg.kg ⁻¹	79,74	< 2800,0
Análise microbiológica			
Coliformes Totais	NMP g ⁻¹ de ST	300	-
<i>Escherichia coli</i>	NMP g ⁻¹ de ST	39,7	< 10 ³
Ovos viáveis de helmintos	Ovo g ⁻¹ de ST	0	< 0,25

Fonte: A autora (2023)

As análises microbiológicas comprovam a segurança para a utilização deste bio sólido, visto que todos os limites do CONAMA 498/2020, de *Escherichia coli* e ovos viáveis de helmintos, foram respeitados. Além de terem sido seguidas as recomendações para o processo de compostagem, em que “a temperatura deve ser mantida acima de 40 °C por, pelo menos, 14 dias. A temperatura média durante este período deve ser maior que 45 °C” (CONAMA, 2020, p. 7).

As concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio estão em consonância ao exposto por Silva *et al.* (2020), Siqueira *et al.* (2019) e Prates *et al.* (2011).

O pH está na faixa ácida, abaixo de 7, mas em consonância ao encontrado por Silva *et al.* (2020), Siqueira *et al.* (2019) e Prates *et al.* (2011), bem como a quantidade de carbono orgânico. O sódio apresentou um valor 20% acima do encontrado por Silva *et al.* (2020), o que pode ser devido a diferente origem do lodo e do processo de higienização empregado. Siqueira *et al.* (2019) elucidam que um pH mais ácido (entre 5,0 e 5,8) e a presença de nutrientes e sódio são benéficos para o crescimento e desenvolvimento de mudas.

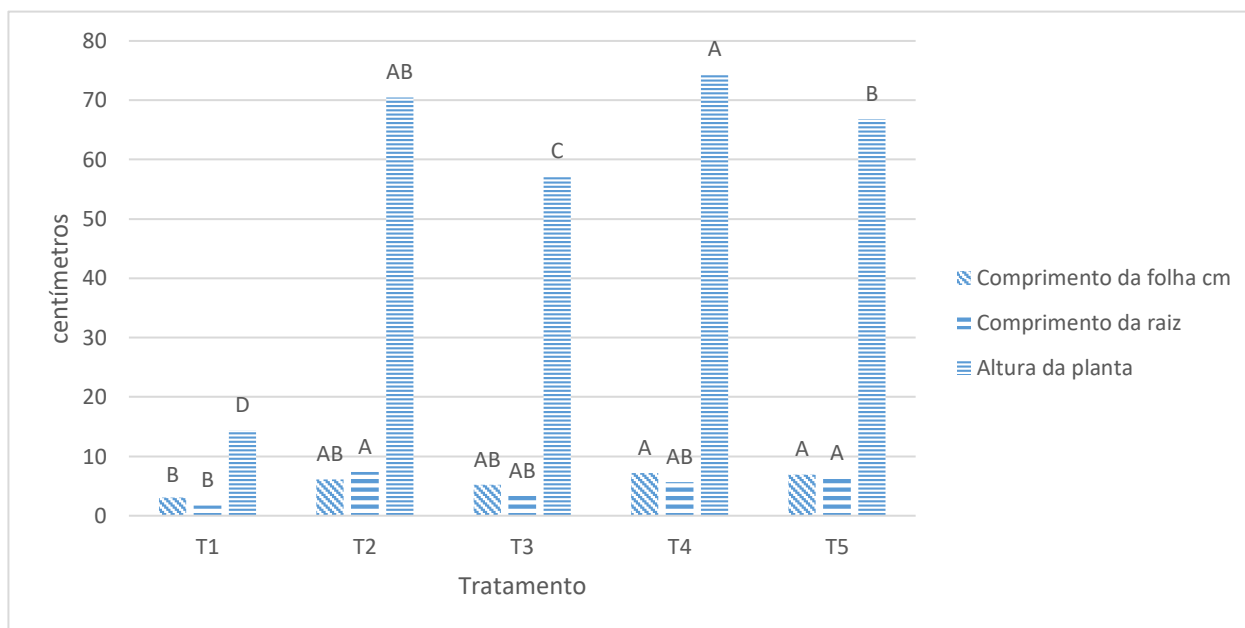
5.2 MANJERICÃO

Na Tabela do Apêndice A é possível verificar os parâmetros morfológicos do manjericão. O T4, irrigação com esgoto tratado e adubação com NPK mineral, conteve os maiores valores para: comprimento da folha, diâmetro do caule e altura da planta, com aumentos percentuais de 18%, 10% e 5%, respectivamente, em relação ao T2, irrigação com água de abastecimento e adubação com NPK mineral. Mesmo que estatisticamente ambos não sejam diferentes. Justifica-se este resultado pelas maiores concentrações de macro e micronutrientes no esgoto tratado, melhorando o crescimento e desenvolvimento da planta cultivada em um solo distrófico. Alinhando-se ao descrito por Elsokkary e Aboukila (2020), em seu estudo com manjericão e orégano irrigados com efluente doméstico tratado e cultivados em solo pouco fértil.

De todas as espécies analisadas no estudo de Teobaldelli *et al.* (2020) e pertencentes a família *Lamiaceae*, as cultivares de manjericão apresentaram um formato, tamanho e proporção da folha com maior semelhança. Além disso, Schenkels *et al.* (2020) elucidam que os diferentes comprimentos de onda de luz, que

sejam: verde, vermelho, azul, ao qual as plantas de manjeriço são submetidas, influenciam diretamente no comprimento e formato da folha. No presente estudo, todas as plantas eram da mesma cultivar e estavam submetidas ao mesmo comprimento de luz natural, pelo mesmo tempo, visto que, todos os vasos estavam na mesma estufa, explicando assim as semelhanças entre os comprimentos das folhas das plantas submetidas aos tratamentos T2, T3, T4 e T5, Figura 16.

Figura 16 – Gráfico sobre comprimento da folha, da raiz e altura da planta



Fonte: A autora (2023)

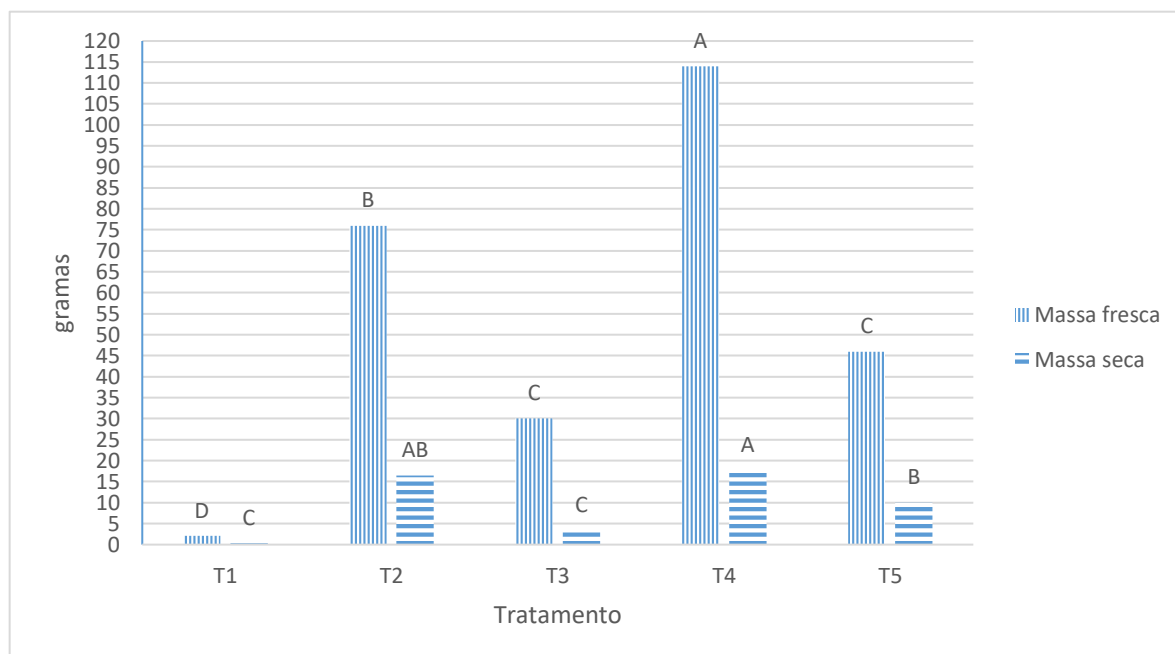
T1 (água); T2 (água + NPK mineral); T3 (esgoto tratado); T4 (esgoto tratado + NPK mineral); T5 (água + biossólido). Letras maiúsculas representam teste de significância a 1% ($p < 0,01$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,01$, pelo teste F.

Acerca da massa foliar fresca e seca do manjeriço, Figura 17, o tratamento T4 apresentou os maiores valores para ambos os parâmetros, seguidos pelo tratamento T2. O T4 teve a massa fresca 50% maior que a massa fresca do T2 e massa seca 8% maior que o T2. Demonstrando resultados positivos tanto para o tratamento com irrigação com esgoto tratado e adubação mineral (T4) quanto para o tratamento com adubação com biossólido (T5), que obteve resultados próximos ao T2. O tratamento T2 não foi diferente estatisticamente a T4 e T5 para a massa foliar seca.

Silva, Santos e Lisboa (2020) relataram uma variação na umidade das folhas de manjeriço, sendo que as plantas submetidas a T4 e T2 apresentaram diferença estatística neste parâmetro. O manjeriço do tratamento T4 apresentou uma umidade 8% maior que em T2, Figura 19, portanto, este fato, aliado a quantidade e tamanho de folhas, que não são diferentes estatisticamente (Figuras

16 e 18), justifica os resultados obtidos para T2 e T4 em relação a massa foliar fresca que apresentou diferença estatística e na massa foliar seca não houve diferença estatística.

Figura 17 – Gráfico sobre massa fresca e seca do manjeriço



Fonte: A autora (2023)

T1 (água); T2 (água + NPK mineral); T3 (esgoto tratado); T4 (esgoto tratado + NPK mineral); T5 (água + biossólido). Letras maiúsculas representam teste de significância a 1% ($p < 0,01$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,01$, pelo teste F.

A Figura 18 contém o gráfico sobre o número de folhas do manjeriço e o início da floração da cultura. O tratamento T4, irrigação com efluente tratado e adubação química, apresentou o maior número de folhas, 18% superior ao número de folhas de T2, irrigação com água de abastecimento e adubação química. T5, irrigação com água de abastecimento e adubação com biossólido, apresentou valores próximos a T2 para o número de folhas e para o início da floração, não sendo considerados estatisticamente diferentes. Elsokkary e Aboukila (2020) também relataram incrementos tanto na produção de folhas, quanto na biomassa de manjeriço irrigado com efluente tratado, por conta do maior aporte nutricional do esgoto em relação à água de abastecimento.

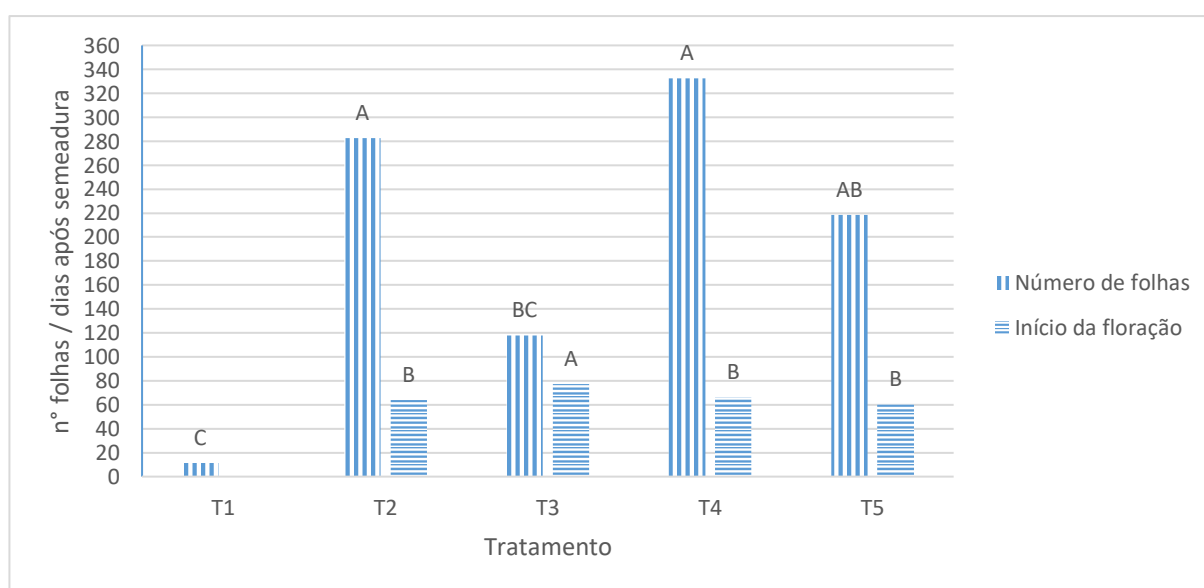
Vergine *et al.* (2017) esclarece que a irrigação com água residuária têm impactos positivos no crescimento das plantas, isso porquê existe uma fácil disponibilidade e absorção dos nutrientes, que se traduzem em um maior rendimento, e um crescimento mais acelerado das plantas. O sistema radicular e a concentração de nutrientes na área radicular influenciam diretamente a absorção de nutrientes; a maior parte dos nutrientes são absorvidos em sua forma iônica ou sem

carga (JONES e OLSON-RUTZ, 2016); nesse experimento constatou-se que as raízes das plantas submetidas aos tratamentos T2, T5 e T4 obtiveram os maiores valores de comprimento, Figura 16, o que pode ser relacionado aos outros parâmetros morfológicos do manjeriço, especialmente o tamanho da planta.

O efluente tratado dispõe de nitrato e amônio, o fósforo está presente principalmente como ortofosfato e o potássio como íon potássio, que são as formas prontamente disponíveis para absorção da planta (AZIZ e FARISSI, 2014). Em suma, águas residuárias tratadas promovem o crescimento e desenvolvimento das plantas por fornecer nutrientes em sua forma adequada para fácil absorção pelas plantas (OFORI *et al.*, 2021).

O início da floração do tratamento T5, irrigação com água de abastecimento e adubação com lodo higienizado, Figura 18, foi antecipado em relação aos outros tratamentos. No caso do tratamento T1, que não recebeu nenhum tipo de adubação e foi irrigado apenas com água de abastecimento, as plantas não apresentaram um desenvolvimento compatível com os demais tratamentos, não havendo floração, o que corrobora que o solo é distrófico e impróprio ao cultivo, necessitando de correção. Vários estudos têm reportado um aumento de macro e micronutrientes no solo após uso de águas residuárias para irrigação, contribuindo com o desenvolvimento fisiológico e morfológico das plantas (GANJEGUNTE *et al.*, 2017; OFORI *et al.*, 2021).

Figura 18 – Gráfico sobre número de folhas e início da floração



Fonte: A autora (2023)

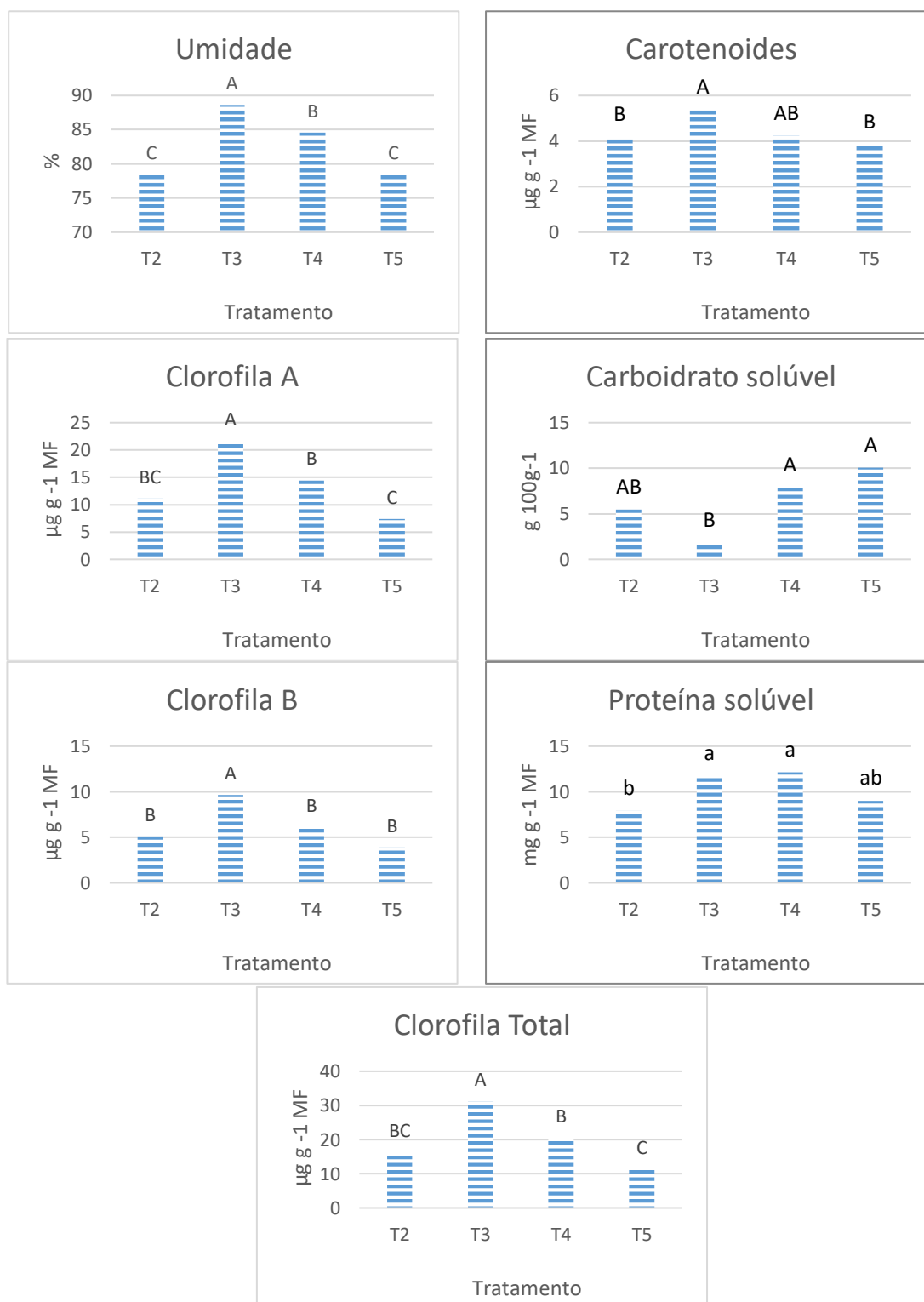
T1 (água); T2 (água + NPK mineral); T3 (esgoto tratado); T4 (esgoto tratado + NPK mineral); T5 (água + biossólido). Letras maiúsculas representam teste de significância a 1% ($p < 0,01$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,01$, pelo teste F.

Acerca das características encontradas nas plantas do experimento, que indicam a nutrição e o metabolismo da planta, apresenta-se a Tabela do Apêndice B. A umidade está dentro do percentual relatado para o manjeriço por Silva, Santos e Lisboa (2020) e pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, TACO (2011), que é em de 75% a 90%. O ensaio de cinzas está relacionado com as quantidades significativas de minerais como potássio, ferro, cálcio, fósforo, magnésio, enxofre e sódio, presentes na planta (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Os valores de cinzas obtidos também estão em consonância ao apresentado por TACO (2011), que está em torno de 1 % para o manjeriço, e não apresentam diferenças estatísticas entre os tratamentos.

As análises dos parâmetros nutricionais do manjeriço, significativos pelo teste F, Figura 19, indicam que, com exceção do carboidrato solúvel, em todos os demais parâmetros o T3 (irrigação com esgoto tratado) demonstrou resultados superiores, o que pode ser explicado pelo florescimento tardio das plantas submetidas ao T3, portanto, no momento dos ensaios as demais plantas já estavam em estado de senescência. Sreelatha Sarangapani (2022) esclarece que a senescência foliar é um processo natural de desenvolvimento das plantas que envolve a remobilização de nutrientes das folhas senescentes para outras partes da planta, assim, as taxas de clorofila e carotenoides são diretamente afetadas. Percebe-se que os menores valores de clorofilas e carotenoides são do manjeriço submetido ao tratamento T5, que foi o primeiro a florescer, com 60 dias após a semeadura; por outro lado, os maiores valores para esses dois parâmetros são para as plantas submetidas ao tratamento T3, que teve o florescimento mais tardio, com 77 dias após a semeadura.

O acúmulo de solutos orgânicos (carboidratos solúveis e proteínas solúveis) provocados pela exposição à um meio salino, como o esgoto tratado, desempenha funções no citoplasma como: ser fonte de energia metabólica (SERRANO; GAXIOLA, 1994) e atuar na manutenção da absorção de água por meio da redução do potencial de água (STRANGE, 2004). Desta forma, as plantas submetidas à irrigação com esgoto tratado (tratamentos T3 e T4) ou adubação com biossólido (tratamento T5) detêm uma maior fonte de energia metabólica, que pode ser verificada através do resultado do rendimento do óleo essencial (Apêndice C), visto que, o óleo essencial é decorrente do metabolismo secundário do manjeriço.

Figura 19 – Gráficos sobre parâmetros nutricionais do manjeriço



Fonte: A autora (2023)

T1 (água); T2 (água + NPK mineral); T3 (esgoto tratado); T4 (esgoto tratado + NPK mineral); T5 (água + biossólido). Letras maiúsculas representam teste de significância a 1% ($p < 0,01$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,01$, pelo teste F. Letras minúsculas representam teste de significância a 5% ($p < 0,05$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,05$, pelo teste F.

Carotenoides são pigmentos fotoprotetores integrados nas membranas, que desempenham funções na fotossíntese, tais quais: pigmento para absorção de luz e fotoprotetores contra danos oxidativos (TAIBI *et al.*, 2016; DELGADO-VARGAS, 2000). Os níveis de carotenoides nas células das folhas das plantas mantêm uma constância até a senescência, quando a cor característica amarela, subsequente à degradação de clorofila, indica a presença e os efeitos das enzimas degradadoras de carotenoides, que são as lipoxigenases que vem dos cloroplastos (catalisam a conversão dos lipídios insaturados a compostos aromáticos) e peroxidases da mitocôndria (UENOJO, 2007). Desta forma, as plantas submetidas ao tratamento T5, irrigação com água de abastecimento e adubada com biossólido, tiveram a floração em menor tempo (60 dias), e iniciaram a senescência antes; portanto, no momento dos ensaios, a clorofila já estava em processo de degradação, justificando os menores valores de carotenoides e a cor diferente verificada, Figura 20, aliada à diferença na biomassa foliar fresca, em relação a T3.

Figura 20 – Coloração e massa foliar fresca das plantas do tratamento T3 (esgoto tratado) e T5 (água + biossólido)



Fonte: A autora (2023)

O T3, irrigação com esgoto tratado, apresentou os maiores teores de clorofilas e carotenoides, o que pode sugerir que em parte, houve um maior gasto energético na biossíntese de pigmentos para manutenção e proteção do maquinário fotossintético, o que é verificado na baixa biomassa fresca e seca, Figura 17, no teor reduzido de carboidratos, que são sintetizados nas folhas através da fotossíntese e translocados para tecidos na forma de sacarose a fim de sustentar o metabolismo e crescimento (no caso dos outros tratamentos os carboidratos foram armazenados como sacarose ou amido, visto que não estavam mais sendo empregados no maquinário fotossintético como o T3) e na produtividade de óleo essencial, Figura 21.

Waraic *et al.* (2012) descreve que a sobrevivência e a produtividade das plantas, quando expostas à estresses ambientais, vão variar conforme a capacidade das plantas de se adaptar com mecanismos para contornar ou tolerar esse estresse; esta capacidade está intrinsecamente relacionada com o estado nutricional mineral da planta. Assim, a aplicação de nitrogênio, potássio, fósforo (macronutrientes primários) e alguns macronutrientes secundários, como cálcio e magnésio, reduzem a toxicidade das espécies reativas à oxigênio, aumentando a concentração de antioxidantes, estes responsáveis por reduzir a foto-oxidação mantendo a integridade da membrana dos cloroplastos e aumentando a taxa fotossintética nas plantas cultivadas. O potássio e o cálcio regulam a ingestão de água na planta, o que corrobora com a regulação estomática e tolerância ao estresse de temperatura. Portanto, uma nutrição balanceada, conforme necessidades da cultura, permite a produção de mais biomassa por unidade de água transpirada (WARAIC, *et al.* 2012).

As baixas quantidades de proteínas encontradas, Apêndice B e Figura 19, estão em consonância ao descrito pela TACO (2011) e por Roberto (2018) que relatam um teor médio de 20 mg g⁻¹ de proteína total para o manjeriço cru. A respeito dos teores de proteína solúvel, para T3, T4 e T5 os resultados não diferiram estatisticamente entre si e foram maiores que T2. No entanto, os valores observados em T3 e T4 foram significativos quando comparados aos teores de proteína solúvel de T2.

Roberto (2018) e TACO (2011) apresentam valores de carboidratos totais em torno de 40 mg g⁻¹; no entanto, no presente estudo foi determinado apenas o carboidrato solúvel, por isso os valores estão abaixo do especificado pela

literatura. “O carboidrato gerado pela fotossíntese é a fonte de energia e substrato para o crescimento e manutenção da fitomassa” (MACHADO, 2014). Os tratamentos T5 e T4 apresentaram os maiores valores para esse parâmetro, mas não diferiram estatisticamente do T2.

Em relação aos ensaios de Coliformes Totais e *Escherichia coli* nas plantas que foram submetidas a tratamentos com esgoto tratado e lodo higienizado, a análise de variância mostrou que os resultados não apresentaram efeito significativo pelo teste F. Na Tabela 11 são apresentados os valores de coliformes totais e *Escherichia coli* para os tratamentos que receberam esgoto tratado e lodo higienizado.

Tabela 11 – Parâmetros de sanidade nas folhas de manjeriço

Parâmetros	Unidade	T3	T4	T5
Coliformes Totais	NMP g ⁻¹	8,04±9,83 ^{ns}	7,08±9,87 ^{ns}	1,92±3,27 ^{ns}
<i>Escherichia coli</i>	NMP g ⁻¹	<1	<1	<1

Fonte: A autora (2023)

T1 (água); T2 (água + NPK mineral); T3 (esgoto tratado); T4 (esgoto tratado + NPK mineral); T5 (água + biossólido). ^{ns} Não significativo pelo teste F.

Os valores de *E. coli* estão abaixo do limite permitido pela legislação Brasileira, Instrução Normativa n° 60 de 23 de dezembro de 2019, para hortaliças consumidas *in natura* (102 NMP g⁻¹), o que deixa claro a sanidade e segurança para o consumo das plantas cultivadas com esgoto tratado e/ou lodo higienizado. Este resultado está em consonância ao explicitado por Ofori *et al.* (2021). A legislação supracitada não estabelece limites para coliformes totais, sendo que os tratamentos T3, T4 e T5 não foram diferentes estatisticamente.

Na Tabela 12, constam as concentrações de metais nas folhas do manjeriço. Os resultados de metais presentes nas folhas do manjeriço estão em conformidade com Zengin *et al.* (2008), com o Departamento Norte Americano de Agricultura, USDA (2019), e ainda com Ibourki *et al.* (2022), em que se constata valores representativos de cálcio, enxofre, fósforo, magnésio, potássio e sódio. As plantas submetidas aos tratamentos T3 e T4 apresentaram os maiores valores para cálcio, fósforo, magnésio e molibdênio. Para potássio e zinco, os valores em T3 foram maiores que os demais tratamentos. As plantas adubadas com biossólido, T5, não foram estatisticamente diferentes de T2 para alumínio, cálcio, cádmio, cobre, enxofre, fósforo, molibdênio, níquel, potássio, sódio, vanádio e zinco. De acordo com os resultados obtidos, o manjeriço, em especial os irrigados com esgoto tratado e

adubados com lodo higienizado, podem fornecer uma nova fonte promissora de minerais necessários para a alimentação humana, bem como outras várias aplicações, em concordância com Ibourki *et al.* (2022).

Tabela 12 – Concentrações de metais nas folhas do manjeriço

Metal	Folhas de manjeriço				
	T1	T2	T3	T4	T5
Alumínio	2392 ¹ A	579,2 ± 183,5 B	725,3 ± 219,4 B	636,3 ± 51,4 B	497,8 ± 104,7 B
Cálcio	11328 C	22641 ± 930 B	27111 ± 1236 A	26367 ± 1006 A	21605 ± 2272 B
Cadmio	0,454 A	0,19 ± 0,06 B	0,14 ± 0,03 B	0,14 ± 0,02 B	0,12 ± 0,02 B
Chumbo	0,910 ^{ns}	0,98 ± 0,20 ^{ns}	0,95 ± 0,50 ^{ns}	0,92 ± 0,25 ^{ns}	0,99 ± 0,26 ^{ns}
Cobalto	0,155 ^{ns}	0,18 ± 0,014 ^{ns}	0,23 ± 0,07 ^{ns}	0,24 ± 0,07 ^{ns}	0,22 ± 0,05 ^{ns}
Cobre	9,000 a	5,43 ± 0,73 b	8,39 ± 3,02 ab	6,65 ± 1,85 ab	6,74 ± 1,30 ab
Cromo	1,910 ^{ns}	1,86 ± 0,4 ^{ns}	2,17 ± 0,98 ^{ns}	2,35 ± 0,26 ^{ns}	2,67 ± 2,34 ^{ns}
Enxofre	3217 A	1137,6 ± 100,2 C	2922 ± 241 A	1638 ± 247 B	1090 ± 155 C
Ferro	762,8 ^{ns}	544,1 ± 97,7 ^{ns}	739 ± 297 ^{ns}	671,3 ± 85,4 ^{ns}	541,5 ± 124 ^{ns}
Fósforo	667,0 B	830 ± 46 B	1347 ± 378 A	1289 ± 79 A	778 ± 88 B
Magnésio	2790 C	3777 ± 507 B	4545 ± 222 A	4851 ± 132 A	2034 ± 110 D
Manganês	88,00AB	97,99 ± 13,92 A	80,33 ± 5,26 ABC	79,77 ± 7,00 BC	64,00 ± 2,99 C
Molibdênio	0,207 B	0,19 ± 0,08 B	0,62 ± 0,14 A	0,34 ± 0,09 B	0,28 ± 0,07 B
Níquel	1,104 A	0,67 ± 0,06 B	0,52 ± 0,33 B	0,51 ± 0,10 B	0,43 ± 0,15 B
Potássio	32634 A	13185 ± 1493 C	37794 ± 4845 A	21359 ± 3118 B	15041 ± 1975 BC
Sódio	3106 A	1143 ± 445 C	2401 ± 647 AB	1533 ± 300 BC	837 ± 293 C
Vanádio	1,74 A	1,19 ± 0,14 B	1,43 ± 0,37 AB	1,35 ± 0,08 AB	1,16 ± 0,12 B
Zinco	79,6 AB	72,36 ± 4,54 B	87,32 ± 9,85 A	49,34 ± 4,05 C	82,24 ± 6,77 AB

Fonte: A autora (2023)

T1 (água); T2 (água + NPK mineral); T3 (esgoto tratado); T4 (esgoto tratado + NPK mineral); T5 (água + biossólido). ⁻¹: todas as unidades da tabela estão em mg kg⁻¹; * Letras maiúsculas representam teste de significância a 1% (p < 0,01). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a p < 0,01, pelo teste F; ** Letras minúsculas representam teste de significância a 5% (p < 0,05). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a p < 0,05, pelo teste F. ^{ns} Não significativo pelo teste F.

Pode-se justificar as maiores concentrações desses elementos nas folhas de manjeriço, visto que ao analisar as concentrações desses metais biodisponíveis no solo, após o experimento, as parcelas submetidas aos tratamentos T3, T4 e T5 detiveram valores relevantes, principalmente com relação a cálcio, enxofre, magnésio e potássio (em que T3, T4 e/ou T5 são os que apresentam maiores concentrações), ou seja, o esgoto tratado e o lodo higienizado aportaram quantidades suficientes de macro e micronutrientes, em comparação à água de

abastecimento e ao próprio tratamento com NPK mineral, de forma a angariar o crescimento e desenvolvimento saudáveis dos manjericões.

Elsokkary e Aboukil (2020) também obtiveram resultados positivos na produção de manjericão através da irrigação com esgoto tratado. Silva *et al.* (2020) expõem que a adubação do solo com biofósforo, fornece nutrientes às plantas e ainda atua na melhoria da estruturação das partículas do solo, de forma que o sistema radicular da planta é favorecido, assim como a infiltração da água.

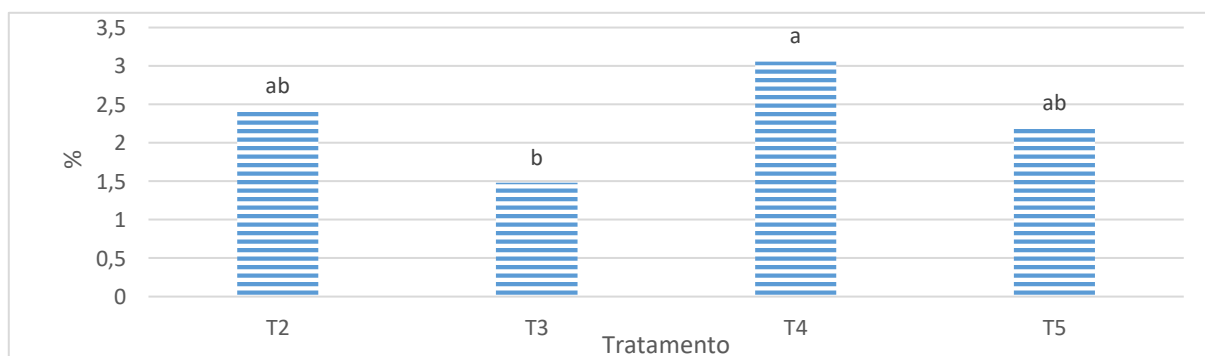
Portanto, o esgoto tratado e o biofósforo não afetaram negativamente a morfologia e composição nutricional, sendo benéficos em vários parâmetros.

5.3 ÓLEO ESSENCIAL

A respeito dos ensaios relacionados à extração de óleo essencial, a Tabela do Apêndice C apresenta o teor de óleo (mL de óleo essencial em 100 g de biomassa seca) ou rendimento de extração (%) e sua densidade. Ressalta-se que as plantas do Tratamento 1 apresentaram matéria vegetal insuficiente para extração de óleo essencial.

O teor de óleo essencial do T4 foi 27% superior ao T2, Figura 21, mas não apresenta diferença estatística significativa, da mesma forma que T2 (manejo convencional, água e NPK mineral) não foi diferente estatisticamente de T5 (adubado com biofósforo). Elsokkary e Aboukila (2020) expõe que uma nutrição balanceada, podendo ser decorrente de irrigação com esgoto tratado, ou ainda a partir da adubação com biofósforo, conforme necessidades da cultura, corrobora com uma maior produtividade de extração de óleo essencial do manjericão.

Figura 21 – Gráfico sobre rendimento de óleo essencial de manjericão

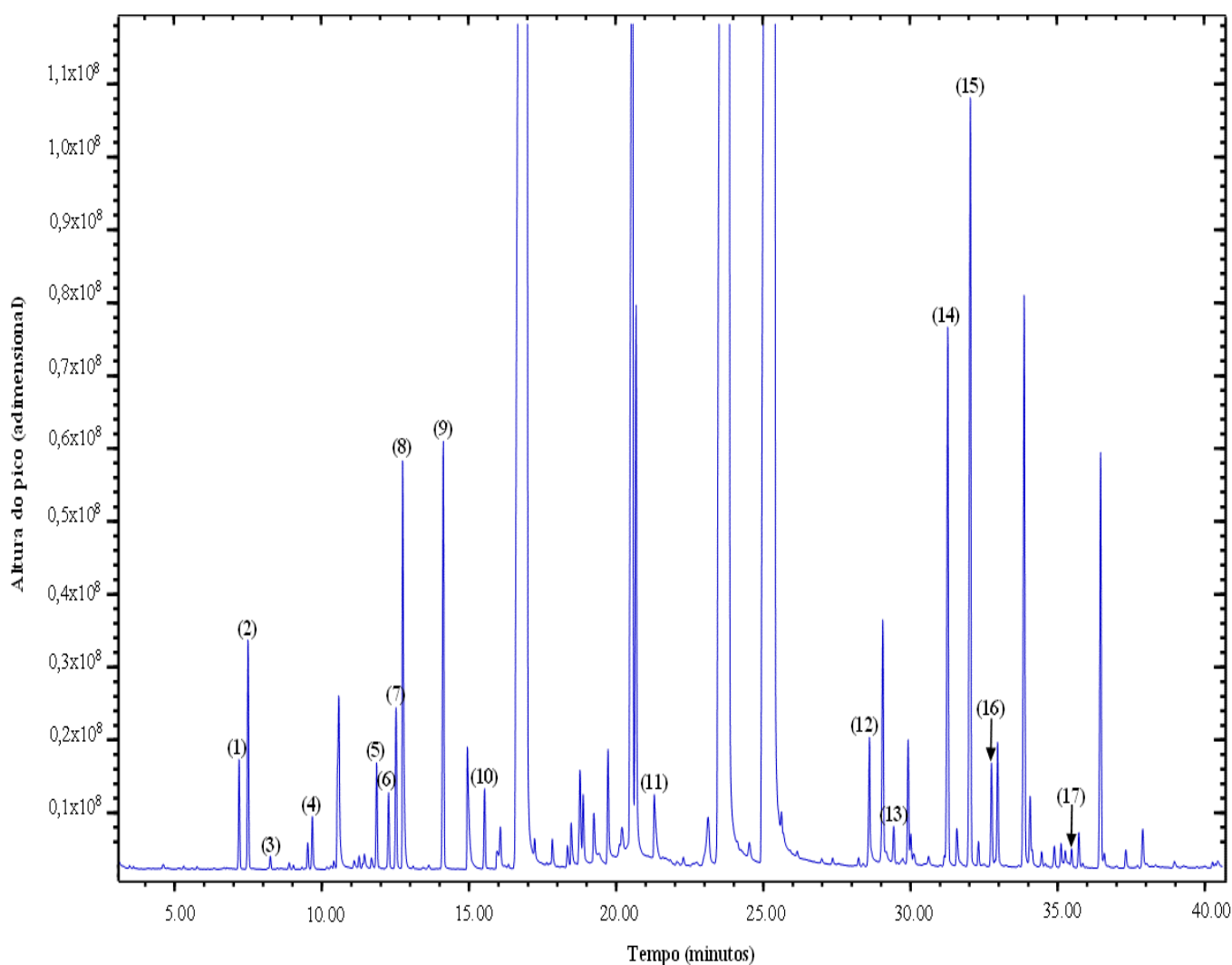


Fonte: A autora (2023)

T1 (água); T2 (água + NPK mineral); T3 (esgoto tratado); T4 (esgoto tratado + NPK mineral); T5 (água + biofósforo). Letras minúscula representam teste de significância a 5% ($p < 0,05$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,05$, pelo teste F.

O cromatograma com os 17 compostos encontrados no óleo essencial do manjeriço *limoncino* está representado na Figura 22. Na Tabela 13 estão apresentados os componentes do óleo essencial extraído das plantas dos tratamentos que receberam esgoto tratado e biossólido. É importante frisar que os valores aqui apresentados são percentuais em relação às áreas do cromatograma obtido pelo GC/MS/EI e não a quantificação de cada composto.

Figura 22 – Cromatograma total de íons com a separação dos compostos do óleo essencial de manjeriço



Fonte: A autora (2023)

(1) β -thujene, (2) α -pinene, (3) camphene, (4) β -pinene, (5) α -terpinolen, (6) o-cymene, (7) sylvestrene, (8) eucalyptol, (9) γ -terpinene, (10) α -terpinolen, (11) α -terpineol, (12) m-eugenol, (13) copaene, (14) caryophyllene, (15) α -bergamotene, (16) bisabolene, (17) δ -cadinene

Tabela 13 – Componentes presentes no óleo essencial do manjeriço *limoncino*

Composto	Fórmula	TRATAMENTOS			
		T2	T3	T4	T5
β-thujene	C ₁₀ H ₁₆	4,31±0,38 ¹ a	1,65±1,10 b	4,35±1,09 a	3,82±2,20 ab
α-pinene	C ₁₀ H ₁₆	9,27±0,50 a	3,80±2,54 b	9,08±1,94 a	8,18±4,66 ab
camphene	C ₁₀ H ₁₆	0,32±0,18 AB	0±0 B	0,38±0,08 A	0,35±0,20 A
β-pinene	C ₁₀ H ₁₆	1,83±1,03 A	0±0 B	2,27±0,33 A	1,87±1,07 A
α-terpinolen	C ₁₀ H ₁₆	2,51±0,40 A	0±0 B	2,46±0,78 A	1,92±1,12 A
o-cymene	C ₁₀ H ₁₄	6,43±1,19 ^{ns}	7,03±4,41 ^{ns}	5,82±1,14 ^{ns}	5,76±3,31 ^{ns}
sylvestrene	C ₁₀ H ₁₆	3,87±0,41 ^{ns}	2,79±1,64 ^{ns}	3,65±0,87 ^{ns}	3,22±1,85 ^{ns}
eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O	3,04±1,92 AB	0±0 B	4,41±1,74 A	3,58±2,13 AB
γ-terpinen	C ₁₀ H ₁₆	15,75±1,72 ^{ns}	10,39±5,99 ^{ns}	14,15±3,02 ^{ns}	12,57±7,23 ^{ns}
α-terpinolen (2)	C ₁₀ H ₁₆	1,98±0,27 A	0±0 B	1,80±0,78 A	1,47±0,84 A
α-terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	1,58±0,41 A	0±0 B	2,25±0,37 A	1,73±0,99 A
m-eugenol	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	2,89±1,76 ab	2,04±1,62 b	4,96±1,06 a	2,11±1,48 b
copaene	C ₁₅ H ₂₄	1,19±0,26 ^{ns}	1,15±0,65 ^{ns}	1,12±0,33 ^{ns}	1,16±0,51 ^{ns}
caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	11,32±2,77 ^{ns}	9,84±5,59 ^{ns}	10,35±2,99 ^{ns}	10,21±4,32 ^{ns}
α-bergamotene	C ₁₅ H ₂₄	26,97±2,69 ^{ns}	54,2±26,00 ^{ns}	26,76±5,13 ^{ns}	35,75±19,57 ^{ns}
bisabolene	C ₁₅ H ₂₄	6,14±1,50 ^{ns}	6,63±3,77 ^{ns}	5,42±1,71 ^{ns}	5,47±2,29 ^{ns}
δ-cadinene	C ₁₅ H ₂₄	0,60±0,58 ^{ns}	0,48±0,66 ^{ns}	0,77±0,30 ^{ns}	0,83±0,38 ^{ns}
Monoterpenos		46,27±6,08	25,66±15,68	43,96±10,03	39,16±22,48
Sesquiterpenos		46,22±7,80	72,3±36,37	44,42±10,46	53,42±27,07
Monoterpeno oxigenado		4,62±2,33	0±0	6,66±2,11	5,31±3,12
Fenopropanoide		2,89±1,76	2,04±1,62±	4,96±1,06	2,11±1,48

Fonte: A autora (2023)

T1 (água); T2 (água + NPK mineral); T3 (esgoto tratado); T4 (esgoto tratado + NPK mineral); T5 (água + bio sólido). ⁻¹: todas as unidades da tabela estão em %⁻¹; * Letras maiúsculas representam teste de significância a 1% (p < 0,01). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a p < 0,01, pelo teste F; ** Letras minúsculas representam teste de significância a 5% (p < 0,05). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a p < 0,05, pelo teste F. ^{ns} Não significativo pelo teste F.

Conforme Isman *et al.* (2011), Tirillini e Maggi (2021) e Stan Tudora *et al.* (2022), os compostos mais abundantes encontrados no óleo essencial de manjeriço são os monoterpenos e sesquiterpenos. No presente projeto, apesar de não apresentarem diferenças significativas entre os tratamentos, pelo teste F, o composto α-bergamotene, que é um sesquiterpeno, foi o que apresentou um maior percentual de área em todos os tratamentos (27% no T2, 54% no T3, 27% no T4 e 36% no T5). Shasank *et al.* (2023) elucida que este composto possui propriedades analgésicas, antimicrobianas, antipirética, antiviral, hipotensor e sedativa.

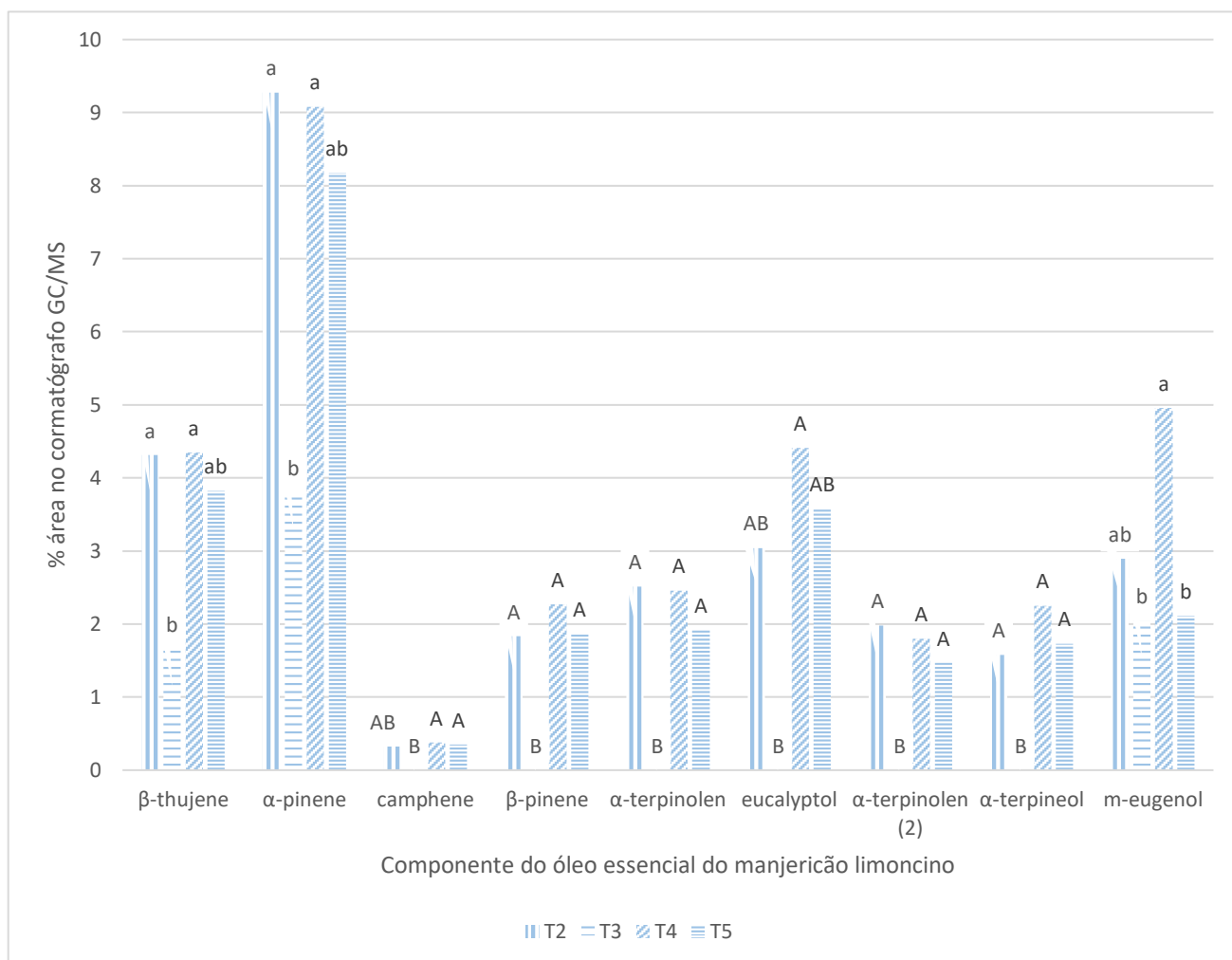
De forma geral os tratamentos T2 (manejo convencional, água + NPK mineral), T4 (esgoto tratado + NPK mineral) e T5 (água + biossólido) foram bem semelhantes, tanto em número de componentes (17) quanto nos percentuais destes em relação a área do cromatograma. Por outro lado, T3 (esgoto tratado) apresentou uma composição menos diversificada, com apenas 11 compostos, sendo os sesquiterpenos aqueles mais evidentes e nenhuma presença de monoterpreno oxigenado.

Esta diferença pode ser explicada pelo fato que o T3 floresceu mais tardiamente, e no momento da extração do óleo essencial as plantas dos tratamentos T2, T4 e T5 já estavam em estado de senescência. A senescência interfere significativamente na constituição e no rendimento dos óleos essenciais, visto que ela altera a produção de metabólitos (KUMAR *et al.*, 2022).

A Figura 23 indica os compostos com diferenças significativas pelo teste F. O α -pinene, que é um monoterpreno e apresenta potencial anti-inflamatório, antitumoral e antimicrobiano, apresentou as maiores áreas, sendo que o óleo essencial extraído das plantas submetidas ao tratamento T2 (adubação com NPK químico e irrigação com água) não apresentou diferença significativa dos óleos extraídos das plantas submetidas ao T4 (adubação com NPK e irrigação com esgoto tratado) e ao T5 (irrigado com água e adubado com biossólido). Os tratamentos T2, T4 e T5 não apresentaram diferenças para quase todos os compostos da Figura 23, com exceção do m-eugenol, em que o T4 apresentou uma área maior e estatisticamente diferente de T5.

O gênero *Ocimum*, conta com mais de 150 espécies, e a partir de cruzamentos genéticos, cresce amplamente em diversas regiões do mundo. Dito isto, diferenças morfológicas no gênero *Ocimum* determina um grande número de subespécies, diferentes variedades e formas produtoras de óleos essenciais com composição química variada oferecendo nível variável de potencial medicinal (PANDEY; SINGH; TRIPATHI, 2014).

Figura 23 – Gráfico sobre rendimento de óleo essencial de manjerição



Fonte: A autora (2023)

T1 (água); T2 (água + NPK mineral); T3 (esgoto tratado); T4 (esgoto tratado + NPK mineral); T5 (água + bio sólido). Letras maiúsculas representam teste de significância a 1% ($p < 0,01$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,01$, pelo teste F. Letras minúsculas representam teste de significância a 5% ($p < 0,05$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,05$, pelo teste F.

Em suma, os tratamentos T4 (irrigação com esgoto tratado e adubação com NPK mineral) e o T5 (irrigação com água e adubação com bio sólido) não afetaram a composição do óleo essencial e nem seu rendimento, que se mantiveram tal qual o do manejo convencional T2 (irrigação com água e adubação com NPK mineral). Portanto, são alternativas que estão em consonância a economia circular, substituindo a água para irrigação e a adubação tradicional por esgoto tratado e bio sólido, respectivamente, que são subprodutos de valor agregado de estações de tratamento de esgoto.

5.4 SOLO

O resultado da caracterização granulométrica efetuada pelo IPA prova que o solo é franco-arenoso, de densidade aparente de $1,29 \text{ g cm}^{-3}$, densidade de partícula de $2,63 \text{ g cm}^{-3}$. Os percentuais de areia grossa e fina são 49% e 29% respectivamente, o solo ainda apresenta 2% de silte e 20% de argila. O grau de floculação é 100% e a umidade residual é de 1,45%. As características de fertilidade constam na Tabela 14.

Tabela 14 – Características químicas do solo

P	pH	NTK	NH ₄ ⁺	No ₃ ⁻	Ca	Mg	Na	K	Al	H	SB	CTC	V	m
mg.dm ⁻³	H ₂ O	mg kg ⁻¹			cmolc.dm ⁻³									%
1,0	5,3	336	25,7	42,9	0,40	0,70	0,01	0,02	0,20	2,44	1,1	3,8	30	15

Fonte: A autora (2023)

A saturação por base do solo (V %) é inferior a 50%, sendo, portanto, classificado como distrófico (EMBRAPA, 2010). Segundo Osaki (1991), a quantidade de alumínio no solo ($10,1 < m\% < 20$) é tida como medianamente prejudicial. O solo arenoso é mais suscetível à degradação e à perda de capacidade produtiva. A baixa proporção de argila e de matéria orgânica reduz a retenção de nutrientes e de água (IBIDEM, 2010). Assim, *“o cultivo do solo com adições frequentes de matéria orgânica é a forma mais racional e ecológica de manter e/ou aumentar a fertilidade do solo”* (EMBRAPA, 2010, p. 19), portanto o uso de lodo higienizado e esgoto tratado está em consonância ao exposto.

A Tabela 15 indica as concentrações de metais biodisponíveis para as plantas no solo antes e após a realização do experimento (com as respectivas adubações química e com biossólido, além da irrigação com esgoto tratado) e os valores máximos recomendados pelo CONAMA 420/2009 para solos.

A grande maioria das concentrações de metais biodisponíveis no solo, para os diferentes tratamentos, não apresentaram diferenças significativas pelo teste F. Excetuando-se o cálcio, enxofre, magnésio, manganês, potássio e o sódio. Todas as concentrações de metais estão abaixo do limite estabelecido pelo CONAMA 420/2009 e estão em consonância a algumas referências internacionais (SPARKS, 2003; LINDSAY, 1979; BOWEN, 1979; McBRIDE, 1994).

O pH, a CTC, a quantidade de matéria orgânica, a quantidade e tipo de minerais na fração argila, além da competição iônica, são características do solo que

afetam diretamente a retenção e a mobilidade de metais pesados ou elementos traço, e consequentemente a composição mineral da planta (MATOS, 1995; SILVA; TREVIZAM, 2015). Percebe-se que a grande maioria dos metais analisados não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, o que é positivo, visto que, alguns desses (como: cromo e chumbo) são contaminantes potenciais do solo e tóxicos para o ser humano; desta forma, o lodo higienizado (biossólido) e o esgoto tratado não contribuíram negativamente para o acúmulo de metais no solo.

Silva e Trevizam (2015) discorrem sobre as interações entre os elementos e o solo afetando o contato do nutriente com as células da raiz e com a planta, afetando absorção, transporte, redistribuição e metabolismo das plantas, podendo inclusive induzir uma desordem nutricional seja por deficiência ou por toxidez refletindo na produção das culturas. Cita-se as interações entre os elementos, que podem ser antagônicas e de inibição onde a presença de um íon diminui ou impede a absorção de outro e sinergismo, que é o oposto. Ainda há que se considerar o efeito de microrganismos como fungos e bactérias que agem diretamente na solubilização e fixação de nutrientes (FERREIRA, 2016).

As características de fertilidade do solo após o experimento constam na Tabela 16. Em relação ao solo original, cujo pH apresentou valor de 5,3, houve uma redução no pH de 11%, 16%, 10% e 7% nos tratamentos T1, T2, T4 e T5, respectivamente, com exceção do T3 (irrigação com esgoto tratado), que se manteve tal qual o pH inicial. Sobral *et al.* (2015) elucidam que o pH representa a concentração hidrogeniônica em solução e que um pH entre 4 e 5 no solo, indica a presença de alumínio trocável, sendo recomendável realizar a calagem do solo quando o Al^{3+} é maior que $0,5 \text{ cmolc.dm}^{-3}$, o que não se aplica ao solo estudado. A acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) é bem alinhada com o pH do solo, sendo que o T3 apresenta o maior pH e a menor acidez potencial. Saab *et al.* (2020) obteve resultados similares em relação a redução do pH no solo. Pode-se explicar tal fato em decorrência do aumento do alumínio trocável, T2 apresenta o maior valor de Al^{3+} e o menor valor de pH, pela produção de ácidos associados à nitrificação, associados a uma menor presença de íons de cálcio, magnésio e potássio, pela Tabela 14 percebe-se que os valores desses íons em T3, T4 e T5 são superiores à T2 (ARAUJO *et al.*, 2019).

Tabela 15 – Concentrações de metais no solo e valores orientadores para solos pelo CONAMA 420/2009

Metal	CONAM A 420	Solo antes	Solo após o experimento				
			T1	T2	T3	T4	T5
Alumínio	- ¹	13,94 ₂	252±125 ^{ns}	190,8±48,4 ^{ns}	284,8±62,3 ^{ns}	198,4±10,6 ^{ns}	490±588 ^{ns}
Cálcio	-	34,2	98,20±23,1 ^{ab}	79,44±15,3 ^{8b}	238,1±166,5 ^a	149,4±53,3 ^{ab}	140,22±14,64 ^{ab}
Cádmio	1,3	0,006	0,005±0,00 ₄ ^{ns}	0,004±0,00 ₃ ^{ns}	0,013±0,005 ^{ns}	0,015±0,008 ^{ns}	0,014±0,01 ^{ns}
Chumbo	72	0,219	0,25±0,04 ^{ns}	0,14±0,03 ^{ns}	0,36±0,18 ^{ns}	0,27±0,21 ^{ns}	0,23±0,15 ^{ns}
Cobalto	25	0,024	0,05±0,05 ^{ns}	0,03±0,01 ^{ns}	0,34±0,4 ^{ns}	0,04±0,02 ^{ns}	0,16±0,20 ^{ns}
Cobre	60	3,75	0,104±0,23 ₃ ^{ns}	0,690±1,54 ^{ns}	0,258±0,418 ^{ns}	2,07±2,90 ^{ns}	0,504±0,920 ^{ns}
Cromo	75	0,035	0,07±0,05 ^{ns}	0,04±0,02 ^{ns}	0,18±0,12 ^{ns}	0,07±0,03 ^{ns}	0,16±0,15 ^{ns}
Enxofre	-	26,1	36,36±8,89 ^C	78,23±16,8 ^{3 AB}	43,98±11,35 ^{BC}	88,6±24,6 ^A	61,1±11,7 ^{ABC}
Ferro	-	11,4	23,64±9,42 ^{ns}	20,45±5,3 ^{ns}	50,9±25,2 ^{ns}	31,26±10,72 ^{ns}	37,8±27,2 ^{ns}
Fósforo	-	ND ³	2,72±4,9 ^{ns}	0,35±0,79 ^{ns}	35,3±58,6 ^{ns}	16,1±24,8 ^{ns}	10,19±10,27 ^{ns}
Magnésio	-	19,44	41,42±18,8 ₅ ^{AB}	38,0±28,7 ^B	229,9±149,9 ^A	85,1±88,0 ^{AB}	59,8±37,2 ^{AB}
Manganês	-	0,095	0,49±0,46 ^b	0,39±0,45 ^b	3,20±2,92 ^a	0,89±0,96 ^{ab}	0,48±0,28 ^b
Molibdênio	30	0,021	0,04±0,03 ^{ns}	0,04±0,03 ^{ns}	0,07±0,07 ^{ns}	0,04±0,007 ^{ns}	0,05±0,03 ^{ns}
Níquel	30	0,016	0,004±0,00 ₉ ^{ns}	0,009±0,02 ^{ns}	0,07±0,06 ^{ns}	0,01±0,01 ^{ns}	0,05±0,06 ^{ns}
Potássio	-	71,3	105,0±88,4 ^{ab}	73,5±73,9 ^b	234,0±74,6 ^a	175,8±109,7 ^{ab}	241,7±105,3 ^a
Sódio	-	1,783	142,4±43,3 ^b	165,6±23,0 ^b	329,9±175,7 ^a	270,0±34,9 ^{ab}	204,7±40,1 ^{ab}
Vanádio	-	0,058	0,11±0,10 ^{ns}	0,06±0,02 ^{ns}	0,12±0,06 ^{ns}	0,08±0,02 ^{ns}	0,18±0,16 ^{ns}
Zinco	300	ND	4,39±9,44 ^{ns}	1,76±2,39 ^{ns}	7,57±13,2 ₂ ^{ns}	5,36±8,70 ^{ns}	6,03±5,06 ^{ns}

Fonte: A autora (2023)

T1 (água); T2 (água + NPK mineral); T3 (esgoto tratado); T4 (esgoto tratado + NPK mineral); T5 (água + biossólido). -¹: sem valor orientado pelo CONAMA 420/2009, -²: todas as unidades da tabela estão em mg kg⁻¹; -³ ND: abaixo do limite de detecção * Letras maiúsculas representam teste de significância a 1% (p < 0,01). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a p < 0,01, pelo teste F; ** Letras minúsculas representam teste de significância a 5% (p < 0,05). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a p < 0,05, pelo teste F. ^{ns} Não significativo pelo teste F.

Tabela 16 – Análise química do solo após o experimento

Parâmetro	unidade	Tratamento				
		T1	T2	T3	T4	T5
pH (H ₂ O)	-	4,70±0,14 BC	4,44±0,11 C	5,26±0,23 A	4,72±0,13 BC	4,90±0,19 AB
H+Al	cmolc.dm ⁻³	3,57±0,16 AB	4,06±0,25 A	3,00±0,38 B	3,71±0,32 A	3,56±0,13 AB
Al		0,36±0,06 AB	0,58±0,12 A	0,18±0,15 B	0,42±0,07 AB	0,19±0,05 B
SB		1,03±0,13 AB	0,96±0,19 B	1,39±0,26 AB	1,08±0,12 AB	1,44±0,20 A
CTC		4,64±0,13 AB	5,02±0,17 A	4,40±0,21 B	4,74±0,33 AB	5,01±0,20 A
C.O. ¹	g kg ⁻¹	3,34±0,77 ^{ns}	3,61±0,29 ^{ns}	3,40±1,14 ^{ns}	2,44±1,41 ^{ns}	3,01±0,38 ^{ns}
M.O. ²		5,75±1,33 ^{ns}	6,21±0,50 ^{ns}	5,87±1,96 ^{ns}	4,20±2,44 ^{ns}	5,19±0,65 ^{ns}
V	%	23,21±2,71 AB	19,17±4,05 B	31,90±6,51 A	21,82±2,66 B	28,75±3,11 AB
m		25,17±5,13 AB	37,95±9,38 A	11,68±9,89 B	29,01±5,47 A	11,92±4,07 B
PST		9,29±2,42 B	10,00±1,37 B	19,57±9,23 A	16,07±1,65 AB	12,05±1,82 AB
NTK	mg kg ⁻¹	370±50 b	380±20 ab	430±10 ab	470±90 a	440±40 ab
NH ₄ ⁺		45,1±25,7ab	30,04±12,42b	86,7±25,6a	73,4±38,3ab	50,65±19,53ab
NO ₃ ⁻		42,49±21,69 ^{ns}	30,90±11,01 ^{ns}	69,5±28,6 ^{ns}	48,93±9,76 ^{ns}	56,7±24,7 ^{ns}

Fonte: A autora (2023)

T1 (água); T2 (água + NPK mineral); T3 (esgoto tratado); T4 (esgoto tratado + NPK mineral); T5 (água + biossólido); ⁻¹: Carbono orgânico; ⁻²: Matéria orgânica; * Letras maiúsculas representam teste de significância a 1% ($p < 0,01$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,01$, pelo teste F; ** Letras minúsculas representam teste de significância a 5% ($p < 0,05$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,05$, pelo teste F. ^{ns} Não significativo pelo teste F.

A soma de bases trocáveis (SB), que engloba: cálcio, magnésio, potássio e sódio, teve o tratamento T5 como maior valor, seguido pelo T3 e T4, alinhados com a Tabela 15, já supracitado. A capacidade de troca catiônica, CTC, está diretamente relacionada à capacidade do solo em absorver ou trocar cátions, o T5 demonstrou um maior valor de CTC, o que pode ser atribuído à matéria orgânica presente no biossólido e também, tendo em vista os cátions Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺ presentes em maiores quantidades no solo após o experimento, apresentados na Tabela 15. Bekir *et al.* (2022) e Prates *et al.* (2011) relatam que a adição de matéria orgânica no solo, decorrente de uma irrigação com esgoto tratado ou adubação com biossólido, incrementam as quantidades de cátions de interesse e consequentemente da CTC.

Apesar dos tratamentos aportarem nutrientes, a saturação por base (V) e a saturação por alumínio (m) ainda apresentam valores que classificam todos os solos em distróficos. Embrapa (2010) esclarece que a fertilidade de um solo depende de “várias condições importantes [...] como estrutura, solubilidade de

minerais, disponibilidade de nutrientes, atividade de microrganismos e absorção de íons pela planta”.

O nitrogênio é o macronutriente mais importante para as plantas, sendo componente dos aminoácidos e das proteínas; junto com o magnésio são os únicos elementos da molécula da clorofila advindos do solo; sendo também um elemento muito reativo (podendo ser perdido para a atmosfera ou lixiviado) (REETZ, 2017). As quantidades de nitrogênio NTK, amônio e nitrato ficaram próximas do valor original do solo, sendo que após o experimento o nitrato não apresentou diferença estatística em relação aos outros tratamentos. A maior quantidade de NTK foi do T4, sendo não diferente estatisticamente de T2, T3 e T5. No caso do amônio o T3 teve a maior quantidade, não diferindo de T4 e T5. Otto *et al.* (2023) relata em seu estudo que apesar de aplicar quantidades e tipos diferentes de fertilizantes minerais a base de nitrogênio, o solo ainda não apresentou diferença significativa na quantidade de amônio e nitrato entre os tratamentos, sendo verificado incrementos variados apenas na produtividade. Do exposto, percebe-se que o nitrogênio (mineral e advindo do esgoto tratado e bio sólido) aplicado foi de fato assimilado pelas plantas, sendo refletido na produtividade do óleo essencial e nas características morfológicas do manjerição.

6 CONCLUSÕES

O uso de esgoto tratado e lodo higienizado no cultivo de manjerição *limoncino* não causou efeitos adversos ao desenvolvimento da planta e a produção de óleo essencial. O tratamento T4, irrigado com esgoto tratado e adubado com NPK químico mostrou os resultados mais promissores em relação aos parâmetros morfológicos do manjerição e ao rendimento de óleo essencial. Os tratamentos T5 e T3 também apresentaram valores significativos e próximos a cultivo tradicional.

Em se tratando da composição do óleo essencial de manjerição *limoncino*, o uso de esgoto tratado com adubação química e lodo higienizado não interferiram negativamente nos constituintes importantes do óleo essencial, mantendo-se a composição natural desta espécie de manjerição analisada.

O tratamento T5, irrigação com água de abastecimento e adubação com lodo higienizado, apresentou o início da floração em menor tempo após o plantio, ao passo que também contribuiu para um rendimento significativo de óleo essencial em comparação ao do tratamento T2, irrigado com água de abastecimento e adubado com NPK químico, o qual representa o tradicionalmente empregado. Sugere-se, portanto, uma redução entre o tempo de plantio, a colheita e a extração do óleo essencial, contribuindo para um manejo mais eficiente.

Em suma, pode-se reduzir a demanda por água, principalmente em regiões semiáridas, além de incrementar a economia local, reduzindo custos com fertilizantes químicos e colaborando com a economia circular, onde o reúso de produtos de valor agregado advindos do tratamento de esgotos cada vez ganham maior espaço.

A escassez de água, principalmente em regiões de semiárido, combinada com a crescente necessidade devido ao crescimento urbano contínuo e à alta demanda da agricultura intensiva, motiva e justifica a irrigação de culturas com esgotos tratados. No entanto, deve-se também garantir que as preocupações relacionadas com o ambiente e a saúde pública sejam plenamente atendidas. Sendo assim, recomenda-se estudos com proporções e manejos de irrigações variados, de forma que se possa otimizar custos e melhorar ainda mais a produção de óleo essencial.

REFERÊNCIAS

ABIDO, S. Além de aromatizantes: óleos essenciais e vegetais podem ajudar na saúde. **O Estado de São Paulo**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://emails.estadao.com.br/noticias/bem-estar,alem-de-aromatizantes-oleos-essenciais-e-vegetais-podem-ajudar-na-saude,70002131954>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

ARAUJO, I. R. C.; SAMPAIO, S. C.; PAZ-GONZALEZ, A.; VILAS-BOAS, M.A.; GONÇALVES JUNIOR, A. C.; SZEKUT, FLÁVIO D. 2019. Reforested soil under drip irrigation with treated wastewater from poultry slaughterhouse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 23(6), 439-445. Epub July 01, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p439-445>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13.969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. 60p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7181**: Solo — Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2018. 16p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA - ANA (Brasil); COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2011). Guia nacional de coleta de preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Brasília: ANA; São Paulo: CETESB, 326 p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA – ANA (Brasil); ATLAS IRRIGAÇÃO (2017). Uso da Água na Agricultura Irrigada. Brasília: ANA; 86 p. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrigacao-UsodaAguanaAgricaturalIrigada.pdf>>. Acesso em: 19 de janeiro de 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Uso da água**: Outros usos. 2021. Disponível em< <http://www3.ana.gov.br/porta/ANA/usuarios-da-agua/outros-usos> >. Acesso em: 19 de janeiro de 2023.

ALCALDE-SANZ L., GAWLIK B. M. Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - Towards a water reuse regulatory instrument at EU level, EUR 28962 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-77175-0, doi 10.2760/804116, PUBSY N°.109291

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Embrapa mandioca e fruticultura. 1ed. 2010. 234p.

ALMEIDA, J. P., VOLOTÃO, R. A. 2020. Produção nacional de fertilizantes: Estudo estratégico. Desenvolvimento Econômico. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. 26p.

ALVES, L. S., PAZ, V. P. S., SILVA, A. L. P., OLIVEIRA, G. X. S., OLIVEIRA, F.E.R., AMORIM, E. L. 2015. Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de plantas de manjerição submetidas ao estresse salino com NaCl. **Revista brasileira de plantas medicinais**, v 17. https://doi.org/10.1590/1983-084X/14_031.

APAC. 2023. **Climatologia**: Mapas de precipitação e outras informações. Disponível em <https://www.apac.pe.gov.br/climatologia/519-climatologia> >. Acesso em: 16 de janeiro de 2023.

APAC. **Notícias**: Apac divulga monitor de secas do mês de Março de 2021. 2021. Disponível em <<https://www.apac.pe.gov.br/noticias/23-noticias/meteorologia/645-apac-divulga-monitor-de-secas-do-mes-de-marco-de-2021>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2023.

APHA/ AWWA/ WEF (2017). Standard Methods for examination of water and wastewater. 23rd ed. American Public Health Association/ American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC, USA.

ARAÚJO MARQUES, M. V., TEIXEIRA DE MATOS, A., PINHEIRO DA SILVA, D. A., RIBEIRO SILVÉRIO, T. H. 2018. sodicidade e salinidade de solo submetido à fertirrigação com esgoto bruto aplicado em sulcos fechados. **Revista Engenharia Na Agricultura - REVENG**, 26(5), 464–472. <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i5.890>

ASFORA, M. C. LIMA, M. LACERDA, M. R. S. Diagnóstico da seca 2011-2016 em Pernambuco: impactos e políticas de mitigação. Parcerias estratégicas v. 22, n. 44, p. 247-274. Brasília, 2017.

AUGUSTO, L.G.S.; GURGEL, I.G.D.; CÂMARA NETO, H.F.; MELO, C.H.; COSTA, A.M. 2012. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Revista ciência e saúde coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1511-1522, 2012.

AURÉLIO. Dicio, Dicionário Online de Português. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/agua/>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2023.

AZIZ, F., FARISSI, M., 2014. Reuse of treated wastewater in agriculture: solving water deficit problems in arid areas (review). **Ann. West Univ. Timisoara Ser. Biol.** 17 (2), 95–110.

BARROS, K.K., DO NASCIMENTO C.W., FLORENCIO L. Nematode suppression and growth stimulation in corn plants (*Zea mays* L.) irrigated with domestic effluent. **Water Science & Technology**. 2012;66(3):681-8. doi: 10.2166/wst.2012.230. PMID: 22744702.

BARROS, K. K., CHERNICHARO, C. A. L., ANDREOLI, C. V., CHAMHUM-SILVA, L. A., BITTENCOURT, S., KATO, M, T.2021. Valoração e gerenciamento de subprodutos sólidos do tratamento do esgoto. Parte A: Higienização e uso de lodo no solo – Nota Técnica 1 – Tópicos de interesse. **Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 5-16, 2021.

BARREIRO, A. P. **Produção de biomassa, rendimento e composição do óleo essencial de manjeriço (*Ocimum Basilicum* L.) em função de reguladores vegetais**. 2006, 96p. Instituto de Biociências, Câmpus de Botucatu, UNESP (Dissertação de mestrado). UNESP, Botucatu, 2006.

BASTOS, R.K.X.; KIPERSTOK, A. CHERNICHARO, C.A.L.; FLORENCIO, L.; MONTEGGIA, L.O.; SPERLING, M.; AISSE, M.M.; BEVILAQUA, P.D.; PIVELI, R.P. Subsídios à regulamentação do reúso de águas no Brasil – Utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e piscicultura. *Revista DAE*, v. 177, n. 122. 2008. Disponível em: . Acesso em: 07 de fevereiro de 2023.

BEKIR, S.; ZOGHLAMI, R.I.; BOUDABBOUS, K.; KHELIL, M.N.; MOUSSA, M.; GHRIB, R.; NAHDI, O.; TRABELSI, E.; BOUSNINA, H. 2022. Soil Physicochemical Changes as Modulated by Treated Wastewater after Medium-and Long-Term Irrigations: A Case Study from Tunisia. **Agriculture** 2022, 12, 2139. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122139>

BERLYN, G.P.; MIKSCHE, J.P.P., *Botanical Microtechnique and Citochemistry*, Iowa: State University Press, 1976.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 5 ed. Viçosa: UFV Imprensa Universitária, 1989. 596p.

BETEMPS, C. 2018. Lodo de esgoto é ótimo componente de substrato para plantas. **Embrapa**. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/32485890/lodo-de-esgoto-e-otimo-componente-de-substratos-para-plantas>>. Acesso em: 14 de janeiro de 2023.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. UFRPE, 2011.

BITTENCOURT, S.; AISSE, M.M.; SERRAT, B. M. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.22 n.6 nov/dez 2017 [ISSN] 1129-1139/2017. Rio de Janeiro, 2017.

BITTENCOURT, S., MATOS, A. T., da SILVA, B. S., OLIVEIRA, F. C., CHAMHUM-SILVA, L. A., MIKI, M. K., BICO, A. K. 2021. Valoração e gerenciamento de subprodutos sólidos do tratamento do esgoto. Parte A: Higienização e uso de lodo no solo – Nota Técnica 6 – Uso agrícola de biossólido. *Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 2, n. 1, p. 75-87, 2021.

BIZZO, H. R., REZENDE, C. M. 2022. O mercado de óleos essenciais no brasil e no mundo na última década. **Química Nova**. Vol. 45, No. 8, 949-958. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170889>

BLANK, A. F.; CARVALHO FILHO, J. L. S.; SANTOS NETO, A. L.; ALVES, P. B.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; SILVA-MANN, R.; MENDONÇA, M. C. Caracterização morfológica e agrônômica de acessos de manjeriço e alfavaca. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n.1, p. 113-116, jan./mar. 2004.

BLOEM, E., HANEKLAUS S., HAENSCH R., SCHNUG E., EDTA application on agricultural soils affects microelement uptake of plants, **Science Total Environment**. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.153>.

BOWEN, H. J. M. Environmental chemistry of the elements. Academic Press, London. 1979. 333 p.

BRAGA, C. M. Histórico da Utilização de Plantas Medicinais. 24f. Monografia (Licenciatura em Biologia) – Universidade de Brasília e Universidade Federal de Goiás, Brasília, 2011.

BRANQUINHO, N. A. A. Avaliação de teor e composição química dos óleos essenciais de três espécies de *hyptis*, submetidas a diferentes velocidades e temperaturas de secagem. 2015. 103 f, Dissertação (Mestrado em Agroquímica), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2015.

BRASIL. Lei 6.894 de 16 de dezembro de 1980. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Distrito Federal. 1980.

BRASIL. (2005) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 375, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 18 mar. 2005.

BRASIL. (2009) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 30 dez. 2009.

BRASIL. (2020) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 498, de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de bio sólido em solos, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 21 ago. 2020.

BRESSAN, D. F. Água de reuso e seu efeito sobre parâmetros fisiológicos em manjerição (*Ocimum basilicum* L.). 2015. xiii, 129 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2015.

BRITO, S.S.B.; CUNHA, A.P.M.A.; CUNNINGHAM, C.C.; ALVALÁ, R.C.; MARENGO, J.A.; CARVALHO, M.A. 2018. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**. 2018, 38, 517–529.

CAMARGO, A. F. M.; PEREIRA, A. M. M. Qualidade da água em Áreas Urbanas. Recursos Hídricos e Planejamento Urbano Regional. Rio Claro: Deplan - IGCE – UNESP, 2003.

CAMBRAINHA, G. M. G. 2015. Modelo para decisões estratégicas em abastecimento de água no agreste de Pernambuco. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru.

CASTELO, A. V. M.; DEL MENEZZI, C. H. S.; RESCK, I. S. Rendimento e análises espectroscópicas (RMN ^1H , ^{13}C , IV) da composição química dos óleos essenciais de quatro plantas do Cerrado. **CERNE**, v. 16, n. 4, p. 573-584, 2010.

CEASAR, A. S. 2018. Feeding world population amidst depleting phosphate reserves: The role of biotechnological interventions. **Open Biotechnology Journal**, Volume 12, Pages 51 – 55.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES - CEPED. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012, 2nd ed.; Florianópolis: CEPED—UFSC; Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, Brazil, 2013; 130p.

CETESB. Identificação de Enterovírus - Método de Ensaio. Norma Técnica CETESB L5.504, 1985, 22p

CETESB. Método de concentração de lodo de esgoto para isolamento de enterovírus. Norma Técnica CETESB L5.506, 1988, 23p.

CETESB. Coliformes fecais - Determinação em amostras de água pela técnica de tubos múltiplos com meio A1 - Método de ensaio. Norma Técnica CETESB L5-406, 1992, 20 p.

CETESB. Fundamentos do controle de poluição das águas. Setor de Avaliação Ambiental de Sistemas de Tratamento de Efluentes. São Paulo, 2018. (Apostila).

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Norma P4.230: Aplicação de lodo de sistemas de tratamento biológico de efluentes líquidos sanitários em solo - diretrizes e critérios para projeto e operação. 53 p. São Paulo, 2021.

CIOATO, M.; BOLZAN, M.; HERRERA, A.; GUAZZELLI, A. C.; GAVA, M. 2022. **SOS Mata Atlântica**: Relatório anual 2021. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/sobre/relatorios-e-balancos/>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2023.

COSGROVE, C. E.; COSGROVE, W. J. 2012. The United Nations World Water Development Report—Nº 4—The Dynamics of Global Water Futures: Driving Forces 2011–2050. UNESCO.

DELATORE, L.S.S; ROYER, M. R. **Estudo das plantas aromáticas e medicinais como alternativa para uso e aprendizagem**. O professor PDE e os desafios da escola pública paranaense, Vol I, 21 p., 2010.

DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, A. R.; PAREDES-LÓPES. Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains—Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 173-289. <https://doi.org/10.1080/10408690091189257>

DEVILLER, G., LUNDY, L., FATTA-KASSINOS, D. 2020. Recommendations to derive quality standards for chemical pollutants in reclaimed water intended for reuse in agricultural irrigation. *Chemosphere*, Volume 240, 2020, 124911, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124911>.

DHALIWAL, S. S., NARESH, R. K., MANDAL, A., SINGH, R., DHALIWAL, M. K. 2019. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 1-2, 100007. doi:10.1016/j.indic.2019.100007

DINIZ, F. Parceria entre Embrapa e Givaudan buscará essências aromáticas no Cerrado. **Embrapa**. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/7011154/parceria-entre-embrapa-egivaudan-buscar-essencias-aromaticas-no-cerrado>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2023.

DRESSELHAUS, T.; HÜCKELHOVEN, R. 2018. Biotic and abiotic stress responses in crop plants. *Agronomy* 2018, 8, 267.

DUFOUR, A. P. 1977. *Escherichia Coli*: The Fecal Coliform. In A. W. Hoadley & B. J. Dutka (Eds.), *Bacterial indicators/health hazards associated with water* (pp. 48–58). Philadelphia, PA: ASTM.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997, 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de laboratórios: Solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos, Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 334p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas, SP, Ministério da Agricultura, 2010, 30 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Manjerição Cultivo e Utilização**. Fortaleza, CE, Ministério da Agricultura, 2011, 30 p.

ELSOKKARY I. H.; ABOUKILA A. F. (2020). Beneficial additive values of wastewater irrigation of two aromatic plants grown in low fertile soil, *Water Science*, 34:1, 132-142.

EOS. 2021. Conheça a situação do saneamento básico no nordeste. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/saneamento-basico-no-nordeste/>. Acesso em: 18 de janeiro de 2023.

FABER, M. **A importância dos rios para as primeiras civilizações**. [S.l.]: História ilustrada. 1. ed. V. 2. 2011. Disponível em: https://www.historialivre.com/antiga/importancia_dos_rios.pdf. Acesso em: 19 janeiro de 2023.

FABRI, E.G.; MAIA, N.B. 4º Curso prático de extração de óleos essenciais. Campinas: Centro de Horticultura, 2019. 48 p.

FAO/UTF/LEB/019/LEB. 2011. Guidelines for Wastewater Reuse in Agricultural Irrigation. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO/UTF/LEB/019/LEB, 2011).

FAO - Food and Agriculture Organization of United Nations. 2015, 18 de setembro. Codex committee on spices and culinary herbs.

FAVORITO, P. A., ECHER, M. M., OFFEMANN, L. C., SCHLINDWEIN, M. D., COLOMBARE, L. F., SCHNEIDER, R. P., HACHMANN, T. L. (2011). Características produtivas do manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função do espaçamento entre plantas e entre linhas. **Revista Brasileira De Plantas Medicinais**, 13(Rev. bras. plantas med., 2011 13(spe)). <https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000500013>.

FERREIRA, A. L. Fungos e Bactérias fazem plantas crescerem mais. EMBRAPA Notícias. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/12132485/fungos-e-bacterias-fazem-plantas-crescerem-mais#:~:text=Enquanto%20as%20bact%C3%A9rias%20fornecem%20o,f%C3%B3sforo%20e%20%C3%A1gua%22%2C%20explica.>> . Acesso em: 07 de fevereiro de 2023.

FERREIRA, A., CALEJA, C., BARROS, L., SANTOS-BUELGA, C., BARREIRO, M. F., RIBEIRO, A. 2017. Caracterização do perfil fenólico do extrato aquoso e hidroetanólico de *Rosmarinus officinalis* L. (Chemical characterization of the *Rosmarinus officinalis* L. aqueous and hydroethanolic extracts in terms of phenolic compounds). **Revista SCALP (Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal)**, 40(especial): 147-150. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA16232>.

FREITAS, A. Brasil perde 15% de superfície de água desde o começo dos anos 1990. CNN. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/brasil-perde-15-de-superficie-de-agua-desde-o-comeco-dos-anos-1990/>. Acesso em: 17 de janeiro de 2023.

GANJEGUNTE, G., ULERY, A., NIU, G., WU, Y., 2017. Effects of treated municipal wastewater irrigation on soil properties, switchgrass biomass production and quality under arid climate. **Industrial Crops and Products**. 99, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.01.038>.

GARCIA, A. A.; CARRIL, E. P.U. Metabolismo secundário de plantas. **Reduca (biología)**, v. 2, n. 3, 2009.

GENUCHTEN, M.T. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, p.892- 898, 1980.

GOOGLE MAPS. ETE Mangueira Recife-PE. 2023. Disponível em: <
[GUENTHER, E., *The Essential Oils*, 3 ed. New York: D. Van Nostrand Company, 1959.](https://www.google.com/maps/place/Esta%C3%A7%C3%A3o+de+Tratamento+de+Esgoto+-+Mangueira/@-8.0788151,-34.9261342,549m/data=!3m1!1e3!4m9!1m2!2m1!1sete+mangueira+recife!3m5!1s0x7ab1ec8b8c053e5:0x6711d1afdbba91e7!8m2!3d-8.078801!4d-34.9248055!15sChRldGUgbWFuZ3VlaXJhIHJlY2lmZZlBFnNld2FnZV90cmVhdG1lbnRfcGxhbnQ> Acesso em: 04 de janeiro de 2023.</p>
</div>
<div data-bbox=)

HALECKI, W.; BEDLA, D. 2022. Global Wheat Production and Threats to Supply Chains in a Volatile Climate Change and Energy Crisis. **Resources**, V 11, N 118. <https://doi.org/10.3390/resources11120118>

HANIF, M. A.; AL-MASKARI, M. Y.; AL-MASKARI, A.; AL-SHUKAILI, A.; AL-MASKARI, A. Y.; AL-SABAHI, J. N. (2011). Essential oil composition, antimicrobial and antioxidant activities of unexplored Omani basil. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 5, p. 771-757. doi.org/10.5897/JMPR.9000575.

IBEKWE, A.M., GONZALEZ-RUBIO, A., SUAREZ, D.L., 2018. Impact of treated wastewater for irrigation on soil microbial communities. **Science Total Environment**. V 760, 622–623, 1603–1610. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.039>

IBOURKI, M.; BOUZID, H. A.; BIJLA, L.; SAKAR, E. H.; ASDADI, A.; LAKNIFI, A.; HAMMADI, A. E.; GHARBY, S. 2022. Mineral Profiling of Twenty Wild and Cultivated Aromatic and Medicinal Plants Growing in Morocco. **Biological Trace Element Research** (2022) 200:4880–4889. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-03062-w>.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMI-ÁRIDO – INSA. 2019. O semi-árido brasileiro. Disponível em: < <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2023.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. 4ª ed. 2008. 1020 p.

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. 2017. Brasília. Disponível em:<https://www.ana.gov.br/arquivos/interaguas/MCID_Reuso_Produto3-CriteriosdeQualidadedaAguadeReuso.pdf> . Acesso em: 06 de fevereiro de 2023.

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 IV – PLANO DE AÇÕES / POLÍTICA DE REÚSO (RF). 2018. Brasília. Disponível

em:<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/interaguas/reuso/produto6_plano_de_acoes_e_politica_de_reuso.pdf > . Acesso em: 06 de fevereiro de 2023.

ISMAN, M.B., MIRESMAILLI, S., MACHIAL, C. 2011. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. **Phytochem. Rev.** 10, 197–204. <http://dx.doi.org/10.1007/s11101-010-9170-4>.

International Organization for Standardization. ISO 9235:2021. Aromatic natural raw materials – Vocabulary. International Organization for Standardization: Genebra, 2021.

JONES, C., OLSON-RUTZ, K., 2016. Plant nutrition and soil fertility. **Nutr. Manag.** Module 2, 4449–4452.

JRC (2014) Water Reuse in Europe. Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation. A synoptic overview. Joint Research Centre, European Commission Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-79-44399-2.

KACPRZAK, M.; NECZAJ, E.; FIJAŁKOWSKI, K.; GROBELAK, A.; GROSSER, A.; WORWAG, M.; RORAT, A.; BRATTEBO, H.; ALMÅS, Å.; SINGH, B. R. 2017. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. **Environmental Research**, v. 156, p. 39-46, 2017.

KEENAN-JONES, D., MOTTA, D., GARCIA, M.H., SIVAGURU, M., PERILLO, M., SHOSTED, R. K., FOUKE, B. W. 2022. Travertine crystal growth ripples record the hydraulic history of ancient Rome's Anio Novus aqueduct. **Scientific Reports**. v 12, n 1239. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05158-2>

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150 x 200cm. 1928.

KUMAR, N.; GHOSH, D.; CHAUDHARY, N; CHANOTIYA, C. S. 2022. Rainfall-induced premature senescence modulates biochemical and essential oils profiles in *Pelargonium graveolens* L'Hér. under sub-tropical climate. **Industrial Crops and Products**, Volume 178, 2022, 114630, ISSN 0926-6690, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114630>.

LEAL, R.M.P.; HERPIN, U.; FONSECA, A.F.; FIRME, L.P.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J. Sodcity and salinity in a Brazilian Oxisol cultivated with sugarcane irrigated with wastewater. *Agricultural Water Management*, v.96, n.2, p.307-316, 2009.

LEE, H.; SWAMIKANNU X.; RADULESCU D.; KIM, S. J.; STENSTRON, M. 2010. Design of stormwater monitoring programs. **Water Research**. v. 44, n.20, p.5973-5980. New York, 2010.

LINDSAY, W. L. Chemical equilibria in soils. New York: John Wiley and Sons. 1979. 449 p.

LÓPEZ-SERRANO, M.J.; VELASCO-MUÑOZ, J.F.; AZNAR-SÁNCHEZ, J.A.; ROMÁN-SÁNCHEZ, I.M. 2021. Economic Analysis of the Use of Reclaimed Water in Agriculture in Southeastern Spain, A Mediterranean Region. **Agronomy** 2021, 11, 2218. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112218>

LUBBE, A.; VERPOORTE, R. Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialty industrial materials. **Industrial Crops and Products**, v.34, p.785–801, 2011.

MACHADO, D. F. S. P. Fotossíntese e metabolismo de carboidratos em plantas jovens de cana-de-açúcar sob baixa temperatura e deficiência hídrica. 2014. 95p. Tese (Doutorado) Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agronômico, Campinas, São Paulo, 2014.

MALTA, T. S. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura: estudo do caso do município de Rio das Ostras - RJ**. 2001. 68 p. Dissertação (Mestrado) - Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2001.

MARQUELL, W. A. Tensiômetro para o controle de irrigação em hortaliças. **Circular Técnica 57. Brasília: Embrapa Hortaliças**, 2008.

MATOS, A. T. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão dos metais zinco, cádmio, cobre e chumbo em solos do município de Viçosa – MG. 110 f. Tese - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG 1995.

MATOS, F. J. A. Farmácias vivas. 3.ed. Fortaleza: UFC. 1998. 220 p.

MATOS, A. T.; BORTOLINI, R. L. R.; MORAES, B. A. B.; LEITE, W. R. M.; KATO, M. T. Parte A: Higienização e uso de lodo de esgoto no solo Nota Técnica 3 – Higienização de lodo via compostagem. In: **Cadernos Técnico Engenharia Sanitária e Ambiental V.2 n.1**. Rio de Janeiro, 2021. p. 1-101.

MATOS, A.T.; MATOS, M.P. Disposição de águas residuárias no solo e sistemas alagados construídos. 1ª ed. Viçosa ed., Editora UFV, 2017.

McBRIDE, M. Environmental chemistry of soils. Oxford University Press, Inc. 1994, 406 p.

McNAIR, H. M.; MILLER, J.M. Basic gas chromatography. 2º Edição. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2009. 239p.

MENDONÇA, F. P. T. **Atividade antimicrobiana de óleo essencial de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) contra bactérias patogênicas e deterioradoras relacionadas a alimentos**. 2018. 54 p. Trabalho de conclusão de curso (Departamento de Biologia), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

MESSIAS, A. S.; SILVA, D. J.; FREIRE, F.J.; SILVA, M. C. L. Fertilizantes. *In*: CAVALCANTI, F. J. A. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: segunda aproximação**. Recife: IPA 2ed.rev., 1998. p. 83-97.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Recursos Hídrico (CERH) nº65. Diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários (ETE) de sistemas públicos e privados. **Diário Oficial do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte/MG, 2020.

MOGHADDAM, M.; PIRBALOUTI, A.G.; MEHDIZADEH, L.; PIRMORADI, M.R. 2015. Changes in composition and essential oil yield of *Ocimum ciliatum* at different phenological stages. **European Food Research & Technology**, Verlag Berlin Heidelberg, v. 200, n. 1, p. 199-2004, jan. 2015.

MoE. 2001. Lebanese standards for wastewater treatment and release. Decision issued by the Ministry of Environment: Decision 8/1 on January 30, 2001.

MOLLEDA, P., BLANCO, I., ANSOLA, G., DE LUIS, E. 2008. Removal of wastewater pathogen indicators in a constructed wetland in Leon Spain. *Ecological Engineering*, 33(3–4), 252–257.

MORALES, M. R.; SIMON, J. E. 'Sweet Dani': a new culinary and ornamental lemon basil. **HortScience**, v. 32, n.1, p.148-149, 1997.

MOTA, F. S. B; VON SPERLING, M. (coord.). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428p. (ISBN: 978-85-7022-164-3).

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, v.12, n.3, p.513-522, 1976.

MURÁRIKOVÁ, A.; TAZKY, A.; NEUGEBAUEROVÁ, J.; PLANKOVÁ, A.; JAMPÍLEK, J.; MUCAJI, P.; MIKUS, P. (2017). Characterization of essential oil composition in different basil species and pot cultures by a GC-MS method. **Molecules**, v. 22: 1221. doi.org/10.3390/molecules22071221.

NRMM-EPHC-AHMC, Natural Resource Management Ministerial Council, Environment Protection and Heritage Council an Australian Health Ministers Conference. NRMM-EPHC-AHMC, 2006. Australian guidelines for water recycling: Managing health and environment risks (phase1).

NUNES FILHO, J.; SÁ, V. A. L. Instituto Agrônomo de Pernambuco. 2021. **Irrigação e drenagem**. Recife, 2021. Disponível em: <<http://www.ipa.br/resp54.php>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2023.

OFORI, S. PUSKÁCOVÁ, A. RUZICKOVÁ, I. WANNER, J. 2021. Treated wastewater reuse for irrigation: pros and cons. **Science of the Total Environment**. 760. 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS (2011) Water Quality: Guidelines, Standards and Health. Assessment of risk and risk management for water-related infectious disease. IWA Publishing, London, UK. ISBN: 1 900222 28 0.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS (2006). WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater volume II, Wastewater use in agriculture. Policy and regulatory aspects.

OSAKI, F. Calagem e adubação. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991. 503 p.

OTTO, R.; FERRAZ-ALMEIDA, R.; SOARES, J. R.; CARNEIRO, TP. V.; COSER, T. R.; HOROWITZ, N.; SOARES, L. C.; NOVAES, G. B.; VARGAS, V. P.; HOLZSCHUH, M. J. 2023. Nitrogen fertilizer management on cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield and quality in two tropical soils, **European Journal of Agronomy**, Volume 142, 2023, 126672, ISSN 1161-0301, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126672>.

PANDEY, A. K.; SINGH, P.; TRIPATHI, N. N. 2014. Chemistry and bioactivities of essential oils of some *Ocimum* species: an overview, **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, Volume 4, Issue 9, 2014, Pages 682-694, ISSN 2221-1691, <https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C77>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2221169115300897>).

PAPES, A. C. Jornal da Paraíba: **Águas residuais são utilizadas na irrigação da mamona em Campina Grande**. 2006. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/noticias/mamona/aguasresiduais-utilizadas-irrigacaomamona-cg-20-09-06.htm>. Acesso em: 04 de janeiro de 2023.

PRATES, F. B. S.; SAMPAIO, R. A.; SILVA, W. J.; FERNANDES, L. A.; JUNIO, G. R.; SATURNINO, H. M. 2011. Crescimento e teores de macronutrientes em pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 101-112, abr.-jun., 2011. ISSN 1983-2125.

RAIJ, B. V.; GHEYI, H.R.; BATAGLIA, O.C. Determinação da condutividade elétrica e de cátions solúveis em extratos aquosos de solos. In Raij, B. van; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001, p. 277-284.

RAP, E., DE BONT, C., MOLLE, F., BOLDING, A., ISMAIL, A. 2022. Radical reassemblages: The life history of a Nile Delta pumping collective. **Environment and Planning E: Nature and Space**, v 0, n 0. <https://doi.org/10.1177/25148486221123701>

REETZ, Harold F.; JR. Fertilizantes e seu Uso Eficiente. ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos, São Paulo, SP, v. 31, n. 455, p. 135-250, set./2017.

RESENDE, R. F. **Produção de biomassa e óleo essencial de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em diferentes épocas, ambientes de cultivo e tipos de**

adubação. 2010, 41p.Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, 2010.

RICHARDS, L.A. (ed.) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Salinity Laboratory. Agriculture Handbook, 60. p160, 1954.

ROBERTO, P. M. Nutrientes e compostos bioativos de alecrim, manjerição e hortelã frescos, desidratados e de suas infusões quente e gelada. 2018. 153 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2018.

RODRIGUES, V. G. S.; GONZAGA, D. S. O. M. Plantas Medicinais. In: **Instalação de horto-matriz de plantas medicinais em Porto Velho**, EMBRAPA Rondônia, 2001.

SAAB, M. T. A., ZAGHRINI, J., MAKHLOUF, H., FAHED, S. , ROMANOS, D., KHAIRALLAH, Y., HAJJAR, C., , ABI SAAD, R., SELLAMI, M. H., TODOROVIC, M. 2020. Table grapes irrigation with treated municipal wastewater in a Mediterranean environment. **Water and Environment Journal**. V 35, issue 2, <https://doi.org/10.1111/wej.12656>.

SALVI, P.; AGARRWAL, R.; KAJAL; GANDASS, N.; MANNA, M.; KAUR, H.; DESHMUKH, R. 2022. Sugar transporters and their molecular tradeoffs during abiotic stress responses in plants. **Physiol. Plant** 2022, 174, e13652.

SANTOS, A. S.; ALVES, S. M.; FIGEIRÊDO, F. J. C.; ROCHA NETO, O. G. 2004. Descrição de Sistema e de Métodos de Extração de Óleos Essenciais e Determinação de Umidade de Biomassa em Laboratório. Comunicado Técnico 99. Belém, PA. ISSN 1517-2244.

SANTOS, Maureen; GLASS, Verena (Org.). Atlas do agronegócio: fatos e números sobre as corporações que controlam o que comemos. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll, 2018.

SCHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M.E.P.; MEDEIROS, Y.D.P. 2014. Viabilidade do reuso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente e sociedade**. São Paulo, v.XVII, n.2, p.17-32, 2014.

SCHENKELS, L., SAEYS, W., LAUWERS, A., DE PROFT, M. P. 2020. Green light induces shade avoidance to alter plant morphology and increases biomass production in *Ocimum basilicum* L., **Scientia Horticulturae**, Volume 261, 2020, 109002, ISSN 0304-4238, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109002>.

SERRANO, R.; GAXIOLA, R. 1994. Microbial models and salt stress tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v. 13, p. 121-138.

SHAH, R.; AL-ISMAILI, S. H.; AL-SIABY, S. S.; AL-NASIRI, A. M.; AL-MASKARI, T. H.; AL-SABAHI, J.; AL-RUQAISHI, H. Determination of chemical composition of essential oils extracted from conventional and organically grown basil (*Ocimum*

Basilicum) from different geographical regions. **Sarhad Journal of Agriculture**, v. 38, p. 532-539. doi.org/10.17582/journal.sja/2022/38.2.532.539.

SHASANK S. SWAIN, SUDHIR K. PAIDSETTY, RABINDRA N. PADHY, TAHZIBA HUSSAIN, Nano-technology platforms to increase the antibacterial drug suitability of essential oils: A drug prospective assessment, **OpenNano**, Volume 9, 2023, 100115, ISSN 2352-9520, <https://doi.org/10.1016/j.onano.2022.100115>.

SHELLIE, R.; MONDELLO, L.; MARRIOTT, P.; DUGO, G. (2002). Characterisation of lavender essential oils by using gas chromatography–mass spectrometry with correlation of linear retention indices and comparison with comprehensive two-dimensional gas chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 970, p. 225-234. doi.org/10.1016/S0021-9673(02)00653-2.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA N. F. A. Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos. 2 ed. São Paulo: Varela, 2001, p. 149-150.

SILVA, S. R.; MONTEIRO; A. B.; FRANÇA, A. E. O gerenciamento das águas subterrâneas no estado de Pernambuco. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1999, Belo Horizonte. **Anais [...]** Minas Gerais, 1999, p.?

SILVA, M. L. S.; TREVIZAM, A. R. Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas. *Informações agronômicas* n° 149. 2015.

SILVA, T.R.B.F.; SANTOS, C.A.C.D.; SILVA, D.J.F.; SANTOS, C.A.G.; DA SILVA, R.M.; DE BRITO, J.I.B. 2022. Climate Indices-Based Analysis of Rainfall Spatiotemporal Variability in Pernambuco State, Brazil. **Water** . v 14, 2190. <https://doi.org/10.3390/w14142190>

SILVA, W. J. S., SANTOS, M. G. A., LISBOA, C. C. 2020. Caracterização físico-química de folhas de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) provenientes de cultivo orgânico. Congresso Internacional da Agroindústria. <https://doi.org/10.31692/ICIAGRO.2020.0049>

SILVA, M. V., CHAER, G. M., LELES, P. S. S., RESENDE, A. S., SILVA, E. V., BARROS, T. O. C. 2020. Uso de biossólido em plantios de espécies da Mata Atlântica. *Scientia Forestalis*, 48(126), e2728. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n126.16>

da SILVA I. J. S., da ROCHA M. C., da SILVA M. M., FRANÇA E. J., GOMES M. J. F., da SILVA K. K. B., KATO M. T. 2022. Microwave-assisted digestion for mineral determination in beans, basil, and mint by ICP OES and FAES: an eco-friendly alternative. In: 20º ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA ANALÍTICA, 2022, Bento Gonçalves. *Anais...* Bento Gonçalves: Sociedade Brasileira de Química, 2022.

SILVERSTEIN, J. E., LITTMAN, R. J., BAGDI, S. A., ELTALHAWY, E. F., MASHALY, H. A., MOHAMED, E. H., GABR, M. 2022. A Nilometer from Graeco-Roman Thmouis: Hydrographical, Historical and Ideo-Political Significance in Hellenistic Egypt. **Journal of Mediterranean Archaeology**, v. 35, n 1, 56–84. <https://doi.org/10.1558/jma.23769>

SIMON, J. E.; JAMES QUINN; RENEE G. MURRAY. Basil: a source of essential oils. In: JANICK, J.; SIMON, J. E. (Ed.). Advances in new crops. Portland: Timber, 1990. p. 484-489.

SINGH, S.; SINGH, M.; SINGH, A.K.; KALRA, A.; YADAV, A.; PATRA, D. Enhancing productivity of indian basil (*Ocimum basilicum* L.) through harvest management under rainfed conditions of Subtropical North Indian Plains. **Industrial Crops and Products**, v.32, p.601-606, 2010.

SIQUEIRA, D. P.; BARROSO, D. G.; CARVALHO, G. C. M. W.; ERTHAL, R. M.; RODRIGUES, M. C. C.; MARCIANO, C. R. 2019. Lodo de esgoto tratado na composição de substrato para produção de mudas de *Plathymenia reticulata* Benth. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 728-739, abr./jun. 2019 ISSN 1980-5098 DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509827297>

SOBRAL, L. F.; BARRETTO, M. C. V.; SILVA, A. J.; ANJOS, J. L. 2015. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. Embrapa Tabuleiros Coateiros, ISSN 1678-1953, 206. Aracaju, 2015.

SPARKS, D. L. Environmental soil chemistry. London: Academic Press, 2003, 352 p.

SREELATHA SARANGAPANI. 2022. Next-Generation Metabolomic Profiling of Basil Leaves in Senescence by Mass Spectrometry with a Combined Approach by Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Hyperspectral Reflectance. **ACS Agricultural Science & Technology**. 2022, 2, 901–907. <https://doi.org/10.1021/acsagascitech.2c00128>.

STAN TUDORA, C.; NENCIU, F.; MUSCALU, A.; VL ̂ADUT, , V.N.; BURNICHI, F.; POPESCU, C.; GATEA, F.; BOIU-SICUIA, O.A.; ISRAEL-ROMING, F. 2022. Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Effects of Essential Oils Extracted from Two New *Ocimum basilicum* L. **Varieties. Diversity** 2022, 14, 1048. <https://doi.org/10.3390/d14121048>

STRANGE, K.2004. Cellular volume homeostasis. Advances in Physiology Education, v. 28, p. 155-159.

SUN, R., WANG, D., GUO, Z., HUA, K., GUO, X., CHEN, Y., LIU, B., CHU, H. 2023. Combined application of organic manure and chemical fertilizers stabilizes soil N-cycling microflora. **Soil ecology letters**. 5, 220165 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42832-022-0165-z>.

SZUMNY, A.; FIGIEL, A.; GUTIERREZORTIZ, A.; CARBONELL-BARRACHINA, A. A. 2010. Composition of rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis*) as affected by drying method. **Journal of Food Engineering**, v.97, n.2, p.253–260, 2010.

TACO. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO 4ª edição revisada e ampliada. NEPA – UNICAMP. - 4. ed. rev. e ampl. -- Campinas: NEPA- UNICAMP, p. 161, 2011.

TAIBI, K.; TAIBI, F.; ABDERRAHIM, L. A.; ENNAJAH, A.; BELKHODJA, M.; MULET, J. M. 2016. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. **South African Journal of Botany**, v. 105, p. 306–312, 2016.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F.; STENSEL, H. D. Treatment, Reuse, and Disposal of Solids and Biosolids. In: Metcalf & Eddy. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th ed. McGraw-Hill series in Civil and Environmental Engineering. McGraw-Hill Higher Education, 2003. p. 1451-1628.

TEOBALDELLI M, BASILE B, GIUFFRIDA F, ROMANO D, TOSCANO S, LEONARDI C, RIVERA CM, COLLA G, ROUPHAEL Y. Analysis of Cultivar-Specific Variability in Size-Related Leaf Traits and Modeling of Single Leaf Area in Three Medicinal and Aromatic Plants: *Ocimum basilicum* L., *Mentha* Spp., and *Salvia* Spp. **Plants (Basel)**. 2019 Dec 20;9(1):13. doi: 10.3390/plants9010013. PMID: 31861772; PMCID: PMC7020212.

THORNTON, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton. Climatology, New Jersey, v. 8, n. 1, 1955.

TIRILLINI, B.; MAGGI, F. 2021. Compostos Orgânicos Voláteis dos Trichomes Glandulares de *Ocimum basilicum* e Artefatos durante a Destilação das Folhas. **Applied Sciences**. 2021, 11, 7312. [https://doi.org/ 10.3390/app11167312](https://doi.org/10.3390/app11167312)

TOLKIEN, J.R.R. **O Senhor dos Anéis: A Sociedade do Anel**. Tradução: Ronald Kyrmse. Rio de Janeiro: HarperCollins, 2019.

TONCER, O.; KARAMAN, S.; DIRAZ, E.; TANSI, S. 2017. Essential oil composition of *Ocimum basilicum* L. at different phenological stages in semi-arid environmental conditions. **Fersenius Environmental Bulletin**, Turquia, v. 26, n. 8, p. 5441-5446, ago. 2017.

UENOJO, M.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R.; PASTORE, G. M. 2007. Carotenoides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. **Química Nova**, Vol. 30, No. 3, 616-622, 2007.

US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 2019. Basil, fresh. Disponível em: < <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/172232/nutrients>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2023.

US Environmental Protection Agency. Environmental Regulations and Technology - Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage). 2003. Under 40 CFR Part 503. Appendix F: Sample Preparation for fecal coliform test and Salmonella sp Analysis, p. 137, EPA/625/R-92/013, 2003. www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs.

US Environmental Protection Agency. Environmental Regulations and Technology - Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage). Under 40 CFR Part 503. Appendix H - Method for the recovery and assay

of total culturable viruses from sludge, p. 150, EPA/625/R-92/013, 2003.
www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs.

US Environmental Protection Agency. Environmental Regulations and Technology - Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage). Under 40 CFR Part 503. Appendix I -Test Method for Detecting, Enumerating, and Determining the Viability of *Ascaris* Ova in Sludge, p. 166, EPA/625/R-92/013, 2003. www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Guidelines for water reuse. Washington, DC, USA. 2012

VENTURA, D., CONSOLI, S., BARBAGALLO, S., MARZO, A., VANELLA, D., LICCIARDELLO, F., CIRELLI, GL, 2019. How to overcome barriers for wastewater agricultural reuse in Sicily (Italy)? **Water**. V 11, n 2, 1–12.
<https://doi.org/10.3390/w11020335>

VERGINE, P., LONIGRO, A., SALERNO, C., RUBINO, P., BERARDI, G., POLLICE, A., 2017. Nutrient recovery and crop yield enhancement in irrigation with reclaimed wastewater: a case study. **Urban Water J.** 14 (3), 325–330.
<https://doi.org/10.1080/1573062X.2016.1141224>.

VIEIRA, R.M.D.; TOMASELLA, J.; BARBOSA, A.A.; MARTINS, M.A.; RODRIGUEZ, D.A.; REZENDE, F.S.; CARRIELLO, F.; SANTANA, M.D. 2021. Desertification risk assessment in Northeast Brazil: Current trends and future scenarios. **Land Degradation & Development**. 2021, 32, 224–240.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2011. 4^a ed. 452 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).

WANG, X. J.; ZHANG, J. Y.; SHAHID, S.; GUAN, E. H.; WU, Y. X.; GAO, J.; HE, R. M. 2016. Adaptation to climate change impacts on water demand. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 21, n. 1, p. 81-99.

WARAIC, E. A., AHMAD, R., HALIM, A., e AZIZ, T. 2012. Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 2012, 221-244

WETZEL, R. [Ed.] 1983. Periphyton of freshwater ecosystems. Develop. Hydrobiol. 17. Dr. W. Junk BY Publ., The Hague. 346 p.

WINPENNY, J.; HEINZ, I.; KOO-OSHIMA, S. 2010. The wealth of waste: the economics of wastewater use in agriculture. FAO Water Reports. Roma.

YARANUTRE. 2022. **Fertilizantes químicos: o que são, tipos e funções**. Disponível em: < <https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/fertilizantes-quimicos/#:~:text=Existem%20tr%C3%AAs%20tipos%20de%20fertilizantes,org%C3>

%A2nicos%20ou%2C%20ainda%2C%20organominerais.>. Acesso em: 18 de janeiro de 2023.

ZENGİN, M., ÖZCAN, M.M., ÇETİN, Ü. AND GEZGİN, S. 2008. Mineral contents of some aromatic plants, their growth soils and infusions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 88: 581-589. <https://doi-org.ez16.periodicos.capes.gov.br/10.1002/jsfa.3120>

APÊNDICE A - PARÂMETROS MORFOLÓGICOS DO MANJERICÃO

Parâmetros	Unidade	T1	T2	T3	T4	T5
Comprimento da folha	cm	3,02±0,44 B*	6,12±1,42AB	5,20±1,92AB	7,22±1,29A	6,94±1,13A
Massa fresca	g	2,05±1,12 D	76,00±20,74B	30,00±7,91C	114,00±9,62A	46±8,94C
Massa seca	g	0,36±0,19 C	16,40±4,73AB	3,47±1,14C	17,67±2,64A	9,99±2,46B
Diâmetro do caule	mm	1,31±0,19 C	6,20±0,44AB	4,49±0,53B	6,84±0,94A	5,73±1,63AB
Comprimento da raiz	cm	1,70±0,27 B	7,40±2,63A	3,31±0,93AB	5,70±2,11AB	6,39±2,05A
Altura da planta	cm	14,4±2,16 D	70,50±2,85AB	57,10±4,13C	74,30±4,30A	66,8±01,15B
Número de folhas	-	11,40±4,28 C	282,8±64,4A	117,8±17,3BC	332,4±102,7A	218,6±50,0AB
Início da Floração	DAS ¹	NF ²	63,8±3,83B	77,2±2,95A	66±2,83B	60,40±3,21B

Fonte: A autora (2023)

¹Dias após semeadura (DAS); ²Plantas que não floresceram (NF); *Letras maiúsculas representam teste de significância a 1% ($p < 0,01$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,01$, pelo teste F.

APÊNDICE B - PARÂMETROS NUTRICIONAIS DO MANJERICÃO

Parâmetros	Unidade	T1	T2	T3	T4	T5
Umidade	%	- ¹	78,44±1,71C*	88,60±1,20A	84,54±1,38B	78,41±1,35C
Cinzas	%	- ¹	1,75±0,11 ^{ns}	1,66±0,6 ^{ns}	1,88±0,27 ^{ns}	1,91±0,11 ^{ns}
Clorofila a	µg g ⁻¹ MF	- ¹	11,11±2,57BC	21,58±2,84A	14,46±2,87B	7,42±1,25C
Clorofila b	µg g ⁻¹ MF	- ¹	5,10±1,11B	9,66±1,85A	6,08±1,12B	3,90±0,53B
Clorofila total	µg g ⁻¹ MF	- ¹	16,20±3,67BC	31,23±4,67A	20,54±3,79B	11,32±1,78C
Carotenoides	µg g ⁻¹ MF	- ¹	4,18±0,69B	5,38±0,54A	4,22±0,37AB	3,86±0,40B
Proteína solúvel	mg g ⁻¹ MF	- ¹	7,92±1,67b**	11,78±2,40a	12,11±1,97a	9,00±1,98ab
Proteína Bruta	% mg mg ⁻¹	0,13±0,01 ^{ns}	0,15±0,01 ^{ns}	0,14±0,02 ^{ns}	0,14±0,06 ^{ns}	0,21±0,07 ^{ns}
Nitrogênio NTK	g kg ⁻¹	8,40±2,45 ^{ns}	6,91±1,42 ^{ns}	8,63±1,79 ^{ns}	7,23±2,08 ^{ns}	5,69±1,84 ^{ns}
Carboidrato solúvel	g 100g ⁻¹	- ¹	5,46±2,47AB	1,83±0,38B	7,94±2,53A	10,06±2,21A

Fonte: A autora (2023)

-¹ Biomassa foliar insuficiente para realização de ensaio; * Letras maiúsculas representam teste de significância a 1% ($p < 0,01$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,01$, pelo teste F; ** Letras minúsculas representam teste de significância a 5% ($p < 0,05$). Médias seguidas por letras diferentes apresentam diferença significativa a $p < 0,05$, pelo teste F. ^{ns} Não significativo pelo teste F.

**APÊNDICE C - RENDIMENTO DE EXTRAÇÃO E DENSIDADE DO ÓLEO
ESSENCIAL DO MANJERICÃO**

Parâmetros	Unidade	T2	T3	T4	T5
Rendimento de extração	%	2,41±0,97ab**	1,48±0,98b	3,06±0,60a	2,19±0,66ab
Densidade	g mL ⁻¹	0,57±0,13 ^{ns}	0,41±0,30 ^{ns}	0,57±0,08 ^{ns}	0,64±1,6 ^{ns}

Fonte: A autora (2023)

** Médias que não compartilham uma letra minúscula são significativamente diferentes, $p < 0,05$ para o teste de Tukey; ^{ns} Não significativo pelo teste F

ANEXO A – PRINCIPAIS LEIS, NORMAS E REGULAMENTOS FEDERAIS DENTRO DAS QUAIS A ESTRUTURA REGULADORA DE REÚSO PRECISARIA OPERAR

TABELA 10. PRINCIPAIS LEIS, NORMAS E REGULAMENTOS FEDERAIS DENTRO DAS QUAIS A ESTRUTURA REGULADORA DE REÚSO PRECISARIA OPERAR

Relevância	Leis, Normas e Regulamentos Federais		Promulgada por:	Competência Principal para Implementação e / ou Regulamentação	Notas
Uso da água	Lei nº 9.433/1997 (Lei das Águas) ⁽¹⁾	<i>"Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos,..."</i>	Presidência da República	MMA/ANA (nível Federal) e agências e órgãos gestores estaduais de recursos hídricos	O controle quantitativo e qualitativo de demanda dos usos de água e o exercício dos direitos de acesso à água é realizado por meio de outorga de uso de recursos hídricos, concedido por meio de ato da autoridade competente do Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal. Os usos que dependem de outorga incluem derivação ou captação de água, extração de água de aquífero, e lançamento em corpo de água de esgotos. As outorgas não são permanentes. As outorgas são concedidas de forma exclusiva à entidade/pessoa que solicitou a outorga.
	Resolução CNRH nº 140/2012	<i>"Estabelece critérios gerais para outorga de lançamento de efluentes com fins de diluição em corpos de água superficiais..."</i>	MMA/CNRH	ANA e gestores estaduais de recursos hídricos	A análise de vazão outorgada para diluição leva em conta características quantitativas e qualitativas dos usos e corpo receptor, incluindo a classe em que o corpo de água estiver enquadrado ou às metas intermediárias formalmente instituída.
Abastecimento de água e gestão de recursos hídricos	Lei nº 9.433/1997 (Lei das Águas) ⁽¹⁾	<i>"Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos..."</i>	Presidência da República	MMA/ANA (nível Federal) e agências e órgãos gestores estaduais de recursos hídricos	Os regulamentos de abastecimento de água / gestão de recursos hídricos relevantes para o reúso seriam aqueles que condicionam o fornecimento (incluindo restrições de uso de água, metas de eficiência hídrica, obrigatoriedade de uso de água reciclada para certas aplicações etc.). Parte da implementação da Lei das Águas.
	Resolução CNRH nº 54/2005 e Resolução CNRH nº 121/2010	<i>"Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências" e "Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal"</i>	MMA/CNRH	SINGREH, porém não definido especificamente	
Qualidade do descarte de efluente e proteção dos corpos hídricos	Resolução CONAMA nº 357/2005 ⁽²⁾	<i>"Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento..."</i>	MMA/CONAMA	MMA/ANA (nível Federal), agências e órgãos gestores estaduais e locais, e comitês de bacia.	A resolução define as classes e procedimentos de enquadramento e estabelece padrões e parâmetros para a descarga de efluente. O Estado pode impor padrões mais restritivos. A classe de cada corpo hídrico é definida em nível de bacia hidrográfica (comitê de bacia), estado ou federação (ANA) por meio de um processo iterativo, seguindo o procedimento estabelecido na resolução. Os corpos hídricos que não possuem classe estabelecida são considerados como Classe II.
	Resolução CONAMA nº 430/2011	<i>"Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA"</i>			
	Resolução CONAMA nº 396/2008 ⁽¹⁾	<i>"Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências..."</i>	MMA/CONAMA	Agências e órgãos gestores estaduais de recursos hídricos e comitês de bacia	A resolução define as classes e procedimentos de enquadramento "O enquadramento dos corpos de água em classes dar-se-á segundo as características hidrogeológicas dos aquíferos e os seus respectivos usos preponderantes, a serem especificamente definidos." Nesse sentido, de acordo com a Resolução, a classificação se inicia com a avaliação do impacto, seguida das condições dos padrões de qualidade e uso(s) destinado(s).
	Resolução CNRH nº 153/2013	<i>"Estabelece critérios e diretrizes para implantação de Recarga Artificial de Aquíferos no território Brasileiro..."</i>	MMA/CNRH	Agências e órgãos gestores estaduais de recursos hídricos	Embora a resolução não disponha claramente sobre a utilização de efluentes, pode-se entender que a recarga artificial possa ser feita a partir de água de efluente tratada a um nível de tratamento compatível com as exigências de qualidade de água dos aquíferos em consideração.
Qualidade do solo e água	Resolução CONAMA nº 420/2009	<i>"Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas"</i>	MMA/CONAMA	Órgãos de controle ambiental	Art. 5º Os critérios para prevenção, proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas observarão a legislação específica. Implantar programa de monitoramento de qualidade do solo e das águas subterrâneas na área do empreendimento e, quando necessário, na sua área de influência direta e nas águas superficiais;
	Resolução CONAMA nº 274/2000	<i>"Revisa os critérios de Balneabilidade em Águas Brasileiras"</i>	MMA/CONAMA	Órgãos de controle ambiental	Estabelece critérios de balneabilidade e classifica as águas como própria (excelente, muito boa ou satisfatória) ou imprópria de acordo com indicadores microbiológicos

Relevância	Leis, Normas e Regulamentos Federais	Promulgada por:	Competência Principal para Implementação e / ou Regulamentação	Notas
Proteção da vegetação nativa / Uso do solo	Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) e Lei Complementar nº 140/2011 "Estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos Produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais" "Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora"	Presidência da República	Órgãos e entidades que constituem o SISNAMA	Essas leis seriam relevantes caso exigissem que os novos empreendimentos adotassem planos de manejo sustentável da água, o que pode encorajar o reúso de água, ou tornar o reúso um pré-requisito para novos desenvolvimentos. Apresenta potencial sobreposição com "regulamentos de abastecimento de água.
Padrão de potabilidade de água	Portaria MS nº 2.914/2011	MS ⁽³⁾	MS (competência dos municípios; os estados e a nação complementam)	O Estado ou os governos locais podem impor padrões mais restritivos do que aqueles estabelecidos na lei Federal.
Serviço de água e esgoto	Lei nº 11.445/2007 (Lei Federal do Saneamento)	Presidência da República	MCidades, Funasa e municípios	Atualmente, a lei/decreto dispõem que a admissão da prática de reúso (não especificada como potável ou não potável) deve ser autorizada pela autoridade competente, sem definir quem é a agência responsável. ⁽⁴⁾
	Decreto nº 7.217/2010	Presidência da República	MCidades, Funasa e municípios	
	NBR nº 13.969/97	ABNT	N/A	Coloca reúso como alternativa à disposição final dos efluentes essencialmente domésticos de tanque séptico.

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas ; SINGREH = Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

1: E suas atualizações e complementações, se existirem.

2: Alterada pelas Resoluções nº 370, de 2006, nº 397, de 2008, nº 410, de 2009, e nº 430, de 2011. Complementada pela Resolução nº 393, de 2009.

3: A competência legal do MS deriva do Decreto Federal nº 79.367/1977.

4: Decreto nº 7.217/2010 (Decreto regulamentador da Lei nº 11.445/2007): "§ 4º Serão admitidas instalações hidráulicas prediais com objetivo de reúso de efluentes ou aproveitamento de água de chuva, desde que devidamente autorizadas pela autoridade competente".