

RAFAELA MAGALHÃES DOS SANTOS

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO NA CULTURA DA ALFACE CRESPA
(*Lactuca sativa* VAR. CRISPA) COM BASE NOS PRINCÍPIOS DA AGRICULTURA
REGENERATIVA**

Botucatu

2025

RAFAELA MAGALHÃES DOS SANTOS

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO NA CULTURA DA ALFACE CRESPA
(*Lactuca sativa* VAR. CRISPA) COM BASE NOS PRINCÍPIOS DA AGRICULTURA
REGENERATIVA**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP
Câmpus de Botucatu, para obtenção do
título de Doutora em Engenharia Agrícola.

Orientador: Profº Dr. Hélio Grassi Filho

Botucatu

2025

S237m Santos, Rafaela Magalhães
Manejo de irrigação e adubação na cultura da alface
crespa (*Lactuca sativa* var. Crispa) com base nos
princípios da agricultura regenerativa / Rafaela
Magalhães Santos. -- Botucatu, 2025
71 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
(UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: Hélio Grassi Filho

1. fertilidade do solo. 2. matéria orgânica. 3. retenção
de água no solo. 4. biologia do solo. 5. tensiometria. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados
fornecidos pelo autor(a).

Impacto potencial desta pesquisa

Embora a agricultura brasileira receba o título de "celeiro do mundo", considerando os principais aspectos que favorecem sua designação no território nacional, tais como: a extensa área de plantio e o clima predominantemente tropical, o nosso solo é tido como pobre em nutrientes, este fato acarreta nas necessidades nutritivas das principais *commodities* produzidas no país, como a soja, o milho e a cana-de-açúcar. Portanto, a escassez de nutrientes é compensada pelo emprego de fertilizantes importados. Assim, é importante destacar que somos fortemente dependentes da importação de adubos minerais advindos de outros países, tais como Rússia, China, Marrocos e Canadá. Devido a esta dependência elevada, ficamos à mercê da volatilidade do mercado, sentindo a alta dos preços dos adubos quando ocorre algum acontecimento que influencia nos preços de tais produtos, como, por exemplo, o cenário de guerra entre Ucrânia e a Rússia em 2022. Portanto, surgem outros caminhos para reduzir a dependência de fertilizantes importados, com o desenvolvimento da pesquisa com foco na busca por fontes alternativas que possam complementar ou reduzir a adubação mineral. Neste sentido, adubos de origem orgânica são possibilidades que, além de diminuir os impactos negativos das altas nos preços dos adubos minerais, atuam na ciclagem de nutrientes e na destinação inteligente de resíduos nutricionalmente ricos que são essenciais para as plantas.

Potential Impact of this research

Although Brazilian agriculture has received the title of "breadbasket of the world", considering the main aspects that favor this designation in the national territory, such as the extensive planting area and the predominantly tropical climate, our soil is considered poor in nutrients. This fact affects the nutritional needs of the main commodities produced in the country, such as soybeans, corn and sugar cane. For that reason, this shortage of nutrients is compensated by the importment of fertilizers. Therefore, it is important to highlight that we are heavily dependent on the import of mineral fertilizers from other countries, like Russia, China, Morocco and Canada. Due

to this high dependence, we are at the mercy of market volatility, feeling the rise in fertilizer prices when an event occurs that influences values of such products, such as the scenario of war between Ukraine and Russia in 2022. Thus, other ways emerge to reduce dependence on this products, with the development of research focusing on the search for alternative sources that can complement or reduce mineral fertilizers. In this sense, fertilizers of organic origin are possibilities that, in addition to reducing the negative impacts of increases in the prices of mineral fertilizers, acting nutrient cycling and the intelligent disposal of waste rich in essential nutrients for plants.

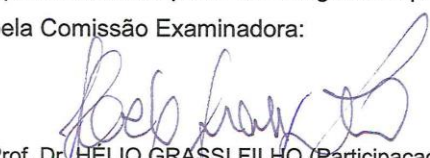
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: MANEJO DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO NA CULTURA DA ALFACE CRESPA (*Lactuca sativa* VAR. CRISPA) COM BASE NOS PRINCÍPIOS DA AGRICULTURA REGENERATIVA

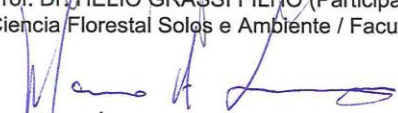
AUTORA: RAFAELA MAGALHÃES DOS SANTOS

ORIENTADOR: HÉLIO GRASSI FILHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Engenharia Agrícola, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO (Participação Presencial)
Ciência Florestal Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP



Prof. Dr. MÁRCIO HENRIQUE LANZA (Participação Presencial)
Agronomia / Centro Universitário UNEDuval de Avaré



Prof.ª Dr.ª ANA PAULA RUSSO SCHMIDT JEFERY (Participação Presencial)
Agronomia / Centro Universitário UNEDuval de Avaré



Pesquisador TAMIRES LIMA DA SILVA (Participação Presencial)
Centro de Ciências para o Desenvolvimento em Agricultura Digital / Embrapa - Agricultura digital, Campinas-SP



Profa. Dra. DENISE NAKADA NOZAKI (Participação Presencial)
Agronomia / Centro Universitário UNEDuval de Avaré

Botucatu, 28 de maio de 2025

*A quem jamais soltou minha mão,
meu amado esposo, Gabriel Fabian Siciliano,
dedico*

“Os países em desenvolvimento têm duas opções: a ciência ou a miséria.”

Bernardo Houssay

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora Aparecida por consagrar esta realização.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 830841/1999-7.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP de Botucatu-SP, pela minha aprovação no Programa.

Ao meu professor e orientador, Hélio Grassi Filho, pela orientação, disposição e prontidão em sempre apoiar minhas ideias, por transmitir muita calma e sabedoria em nossas reuniões, me permitindo explorar um curso de Doutorado com segurança.

Ao meu melhor amigo, o qual eu tenho a sorte, a honra e a benção de ter como meu esposo, Gabriel Fabian Siciliano, por todo amor e dedicação. Olhar para a nossa história e ver como evoluímos juntos, é sagrado. E este é só o começo.

Ao meu coordenador e amigo Marcio Henrique Lanza, por me incentivar e orientar no ingresso da pós-graduação, por acreditar no meu trabalho e proporcionar a minha entrada na docência no ensino superior na Faculdade Eduvale, a qual tenho tamanho carinho e admiração, onde me formei e hoje sigo como professora. Deixo aqui minha gratidão.

Aproveito este espaço para agradecer a pessoa que é fonte de entusiasmo, felicidade e força, o meu filho, Cesar Magalhães Siciliano (9 anos). Cursar o Doutorado sendo mãe, é uma missão desafiadora, mas que vale muito a pena!

Agradecer também a minha família pelo companheirismo e orações, aos funcionários do Departamento, pela grande ajuda e amigos que me apoiaram nesta jornada.

RESUMO

A agricultura regenerativa tem como objetivo principal a melhoria qualitativa e quantitativa do solo, reduzindo o uso de pesticidas, herbicidas e fertilizantes minerais. O húmus de minhoca e o lodo de esgoto tratado são compostos que podem ser utilizados como fonte de fertilizantes, promovendo diversos benefícios na constituição física e química do solo, proporcionando um ambiente úmido e fértil para as plantas. Dentre as suas vantagens, destaca-se a destinação adequada dos materiais orgânicos que são vastamente descartados nos lixões, provocando problemas ambientais como a contaminação dos aterros sanitários. O presente estudo teve como objetivo quantificar a eficiência do uso da água e nutricional utilizando diferentes doses de húmus de minhoca e lodo de esgoto tratado da alface cresspa. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação num delineamento inteiramente casualizado, com 3 tratamentos e 7 repetições, sendo na primeira pesquisa: T1 – controle; T2 – 10% húmus de minhoca; T3 – 50% húmus de minhoca. No experimento do capítulo 2, seguiu da seguinte forma: T1 – controle; T2 – 10% lodo de esgoto tratado; T3 – 50% lodo de esgoto tratado, totalizando 35 parcelas experimentais. Cada parcela foi composta por 2 plantas. Para o tratamento estatístico dos dados foi utilizado o programa AgroEstat, utilizando o teste de Tukey ($p < 0,05$). O uso do lodo de esgoto proporcionou eficiência no uso das águas de irrigação de até 52,7%, o húmus de minhoca aumentou a eficiência do uso da água em 47,62%. O valor nutricional do lodo possui condições satisfatórias na produção da alface.

Palavras-chave: fertilidade do solo; matéria orgânica; retenção de água no solo; biologia do solo.

ABSTRACT

Regenerative agriculture has as its main objective the qualitative and quantitative improvement of the soil, reducing the use of pesticides, herbicides and fertilizers. Earthworm humus and treated sewage sludge are compounds that can be used as a source of organic fertilizers, promoting several benefits in the physical and chemical constitution of the soil, providing a humid and fertile environment for plants. Among its advantages, a key point is the proper disposal of organic materials that are largely discarded in landfills, causing environmental problems such as contamination of sanitary landfills. The aim of this study was to quantify the efficiency of water and nutrient usage using different doses of worm humus and treated sewage sludge on curly lettuce. The experiments were carried out in a greenhouse with a completely randomized design, with 3 treatments and 7 repetitions. In the first experiment: T1 – control; T2 – 10% worm humus; T3 – 50% worm humus. In the experiment of chapter 2, it followed as: T1 – control; T2 – 10% treated sewage sludge; T3 – 50% treated sewage sludge, totaling 35 experimental plots. Each plot consisted of 2 plants. The statistical treatment of the data was performed using the AgroEstat program, applying the Tukey test ($p < 0.05$). The use of sewage sludge provided an irrigation water efficiency of up to 52.7%, while worm humus increased water use efficiency by 47.62%. The nutritional value of the sludge showed satisfactory conditions for lettuce production.

Keywords: soil fertility; organic matter; soil water retention; soil biology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 1 – Manejo de adubação e irrigação da alface crespa (*Lactuca sativa* var. *crispa*) utilizando húmus de minhoca da califórnia (*Lumbricus rubellus*) como fonte de matéria orgânica

Figura 1 - Distribuição global da diversidade de minhocas.....	28
Figura 2 - Fisiologia da minhoca.....	28
Figura 3 - Fecundação das minhocas.....	29
Figura 4 - Localização da casa de vegetação.....	32
Figura 5 - Croqui da área experimental.....	32
Figura 6 - Lâmina ($L.h^{-1}$) coletadas dos emissores do sistema de irrigação.....	34
Figura 7- Tensão de retenção da água no solo (kPa) durante o ciclo da cultura (dias).....	38
Figura 8 - Distribuição da umidade relativa do ar (UR%), temperatura máxima, mínima e média (C°) durante o ciclo da cultura (dias).....	39
Figura 9 - Eficiência do uso da água nos diferentes tratamentos.....	39
Figura 10 - Resultado da análise química dos tratamentos – Parte I.....	40
Figura 11 - Resultado da análise química dos tratamentos – Parte II.....	40
Figura 12 - Análise química do húmus de minhoca.....	41
Figura 13 - Desenvolvimento do sistema radicular dos tratamentos submetidos a doses de húmus de minhoca.....	42
Figura 14 - Teores totais de macro e micronutrientes no tecido foliar.....	43

Capítulo 2 – Manejo de adubação e irrigação da alface crespa (*Lactuca sativa* var. *crispa*) utilizando lodo de esgoto tratado como fonte de matéria orgânica

Figura 1 - Funcionamento do abastecimento e tratamento de água.....	50
Figura 2 - Prestadores de serviços de esgotamento sanitário no Brasil: população e municípios atendidos.....	51
Figura 3 - Tratamento de esgoto na região Metropolitana de São Paulo.....	52
Figura 4 - Localização da casa de vegetação.....	53

Figura 5 - Croqui da área experimental.....	54
Figura 6 - Lâmina ($L.h^{-1}$) coletada dos emissores do sistema de irrigação.....	56
Figura 7 - Eficiência do uso da água nos diferentes tratamentos.....	60
Figura 8 - Tensão de retenção da água no solo (kPa) durante o ciclo da cultura (dias).....	60
Figura 9 - Distribuição da umidade relativa do ar (UR%), temperatura máxima, mínima e média (C°) durante o ciclo da cultura.....	61
Figura 10 - Resultado da análise química dos tratamentos – Parte I.....	62
Figura 11 - Resultado da análise química dos tratamentos – Parte II.....	62
Figura 12 - Desenvolvimento do sistema radicular dos tratamentos submetidos a doses de lodo de esgoto tratado.....	64
Figura 13 - Desenvolvimento do sistema radicular dos tratamentos submetidos a doses de húmus de minhoca.....	64

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 – Manejo de adubação e irrigação da alface crespa (*Lactuca sativa* var. *crispa*) utilizando húmus de minhoca da califórnia (*Lumbricus rubellus*) como fonte de matéria orgânica

Tabela 1 – Parâmetros biométricos foliar avaliados aos 35 DAT.....41

Tabela 2 – Parâmetros biométricos radicular avaliados aos 35 DAT.....42

Capítulo 2 – Manejo de adubação e irrigação da alface crespa (*Lactuca sativa* var. *crispa*) utilizando lodo de esgoto tratado como fonte de matéria orgânica

Tabela 1 – Parâmetros biométricos foliar avaliados aos 35 DAT.....63

Tabela 2 – Parâmetros biométricos radicular avaliados aos 35 DAT.....63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MOS	Matéria Orgânica do Solo
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
pH	Potencial Hidrogeniônico
M.O.	Matéria orgânica
P _{resina}	Fósforo lábil
Al ³⁺	Alumínio
H+Al	Acidez total ou potencial
Na	Sódio
K	Potássio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
SB	Soma de bases
CTC	Capacidade de troca catiônica
V%	Proporção da CTC do solo que é preenchida pelas bases trocáveis.
S	Enxofre
B	Boro
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Mn	Manganês
Zn	Zinco
L/h	Litro por hora
CV	cavalo-vapor
CUC	Coeficiente de Uniformidade de Christiansen
CUD	Coeficiente de Uniformidade de Distribuição
S/cm	Siemens por centímetro
ANOVA	Análise de variância
kPa	Kilopascal

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	25
CAPÍTULO 1 - MANEJO DE ADUBAÇÃO E IRRIGAÇÃO DA ALFACE CRESPA (<i>LACTUCA SATIVA</i> VAR. CRISPA) UTILIZANDO HÚMUS DE MINHOCAS DA CALIFORNIA (<i>LUMBRICUS RUBELLUS</i>) COMO FONTE DE MATÉRIA ORGÂNICA.....	27
1.1 INTRODUÇÃO	27
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	31
1.2.1 LOCALIZAÇÃO EXPERIMENTAL	31
1.2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	32
1.2.3 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	33
1.2.4 GERENCIAMENTO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO	34
1.2.5 ANÁLISE QUÍMICA DOS SUBSTRATOS	35
1.2.6 PLANTIO.....	35
1.2.7 CONDUÇÃO EXPERIMENTAL.....	36
1.2.8 ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE	36
1.2.9 ANÁLISE DE LEITURA INDIRETA DE CLOROFILA	36
1.2.10 ANÁLISE DE DIAGNOSE FOLIAR	37
1.2.11 ANÁLISES DO SISTEMA RADICULAR	37
1.2.12 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	37
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
1.4 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS	45
CAPÍTULO 2 - MANEJO DE ADUBAÇÃO E IRRIGAÇÃO DA ALFACE CRESPA (<i>LACTUCA SATIVA</i> VAR. CRISPA) UTILIZANDO LODO DE ESGOTO TRATADO COMO FONTE DE MATÉRIA ORGÂNICA	49
2.1 INTRODUÇÃO	49
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	53
2.2.1 LOCALIZAÇÃO EXPERIMENTAL	53
2.2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	53
2.2.3 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	54
2.2.4 GERENCIAMENTO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO	56
2.2.5 ANÁLISE QUÍMICA DOS SUBSTRATOS	57

2.2.6	PLANTIO	57
2.2.7	CONDUÇÃO EXPERIMENTAL	57
2.2.8	ANÁLISES DE PRODUTIVIDADE.....	58
2.2.9	ANÁLISE DE LEITURA INDIRETA DE CLOROFILA	58
2.2.10	ANÁLISE DE DIAGNOSE FOLIAR.....	58
2.2.11	ANÁLISES DO SISTEMA RADICULAR.....	59
2.2.12	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	59
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
1.4	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	66
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS	71

INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura regenerativa foi um termo criado por Robert Rodale em 1983, advindo da terminologia “agricultura orgânica”, tal termo tem por finalidade descrever o desenvolvimento de uma agricultura que visa principalmente a saúde do solo, a qualidade dos cultivos juntamente com uma produtividade rentável (Instituto Rodale, 2025).

Do ponto de vista regenerativo de um ecossistema, esta definição tem como princípios básicos a melhoria qualitativa e quantitativa do solo, reduzindo o uso de pesticidas, herbicidas e fertilizantes (EMBRAPA, 2024). Ao destacarmos práticas de manejo tradicionais, cujo objetivo é somente a produtividade no campo a qualquer custo, nota-se que tais práticas trazem algum tipo de degradação ao solo e no ambiente, como o desmatamento, processos erosivos, retiradas de minerais do solo de forma contínua, compactação das partículas do solo, utilização elevada de inseticidas, resistência de organismos nocivos às plantas, perda da biodiversidade, dentre outras práticas que acabam por diminuir o tempo de vida produtiva no campo (Lutzenberger, 2001).

Na década de 1970, os debates sobre “agricultura orgânica” ganharam espaço no Brasil, dando margem para que alguns dos grandes proprietários adquirissem essa inovação da época em partes de suas terras. Por conseguinte, tais práticas mostraram-se mais eficientes e menos custosas, uma vez que os produtores utilizaram menos insumos químicos, e obtiveram produtividade semelhante às anteriores, obtendo maior lucratividade (Viola, E.; Mendes, 2022).

Porém na década de 1980, com as severas degradações realizadas nos solos continuamente durante anos, produtores de grandes culturas como milho e soja do Centro-Oeste enfrentaram sérios problemas econômicos devido ao declínio da saúde do solo. Tal situação forçou os mesmos a adquirir o plantio sob a palhada da cultura anterior, eliminando os trabalhos com os arados, numa tentativa de reabilitação biológica natural dos solos. Neste ínterim, notou-se então a melhoria na saúde do solo e consequentemente na produtividade das culturas (Gheler-Costa, C.; Lopes, J.; Mota da Cruz, G, 2023).

Com o passar dos anos, foi percebido que as consequências causadas nas lavouras, advindas de práticas da agricultura não conservacionistas, estavam

comprometendo a saúde e fertilidade natural das áreas de plantio, então alguns pesquisadores passaram a ter um olhar diferente para os solos e os ecossistemas em geral, a partir de então, iniciaram-se pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos para solucionar ou diminuir tais impactos (Lutzenberger, 2001)..

Assim, a abordagem holística da agricultura regenerativa baseia-se nos princípios da agricultura orgânica combinados com práticas de saúde do solo e o gerenciamento da terra que, por sua vez, transcrevem os comportamentos da natureza (Gheler-Costa, C.; Lopes, J.; Mota da Cruz, G, 2023).

Neste contexto, existem práticas de manejo que seguem esta perspectiva, como rotação de culturas ou cultivo sucessivo de mais de uma espécie na mesma área, adoção de plantas de cobertura, redução de arado no solo, produção de mais de um alimento na mesma área (Integração-Lavoura-Pecuária-Floresta), diminuição do uso de fertilizantes e defensivos, promoção do bem-estar animal e práticas justas de trabalho para os agricultores (PATERNIANI, 2001) .

De acordo com o exposto, a utilização de substratos alternativos como fonte de matéria orgânica favorece as características físicas, químicas e biológicas do solo, pois sua presença proporciona principalmente maior armazenamento de carbono no interior do mesmo, influenciando positivamente nos processos biogeoquímicos, atua na eficiência do uso da água, uma vez que as moléculas de água ficam retidas mais facilmente na matéria orgânica do solo (MOS), atuando também na eficácia do uso de nutrientes pelas plantas e, portanto, atingindo maiores produtividades nas lavouras (EMBRAPA, 2023).

Portanto, a matéria orgânica advinda de diferentes fontes como o lodo de esgoto doméstico tratado e o húmus de minhocas, surgem como alternativa para a diminuição do uso de fertilizantes químicos e redução do uso da água, tornando as necessidades de irrigação e adubação mineral menores.

Assim, a presente tese de doutorado tem como objetivo identificar a eficiência do uso da água e a necessidade de adubação da cultura da alface crespa, utilizando substratos com diferentes doses de lodo de esgoto tratado e húmus de minhoca.

CAPÍTULO 1

MANEJO DE ADUBAÇÃO E IRRIGAÇÃO DA ALFACE CRESPA (*Lactuca sativa* VAR. CRISPA) UTILIZANDO HÚMUS DE MINHOCAS DA CALIFORNIA (*Lumbricus rubellus*) COMO FONTE DE MATÉRIA ORGÂNICA

1.1 INTRODUÇÃO

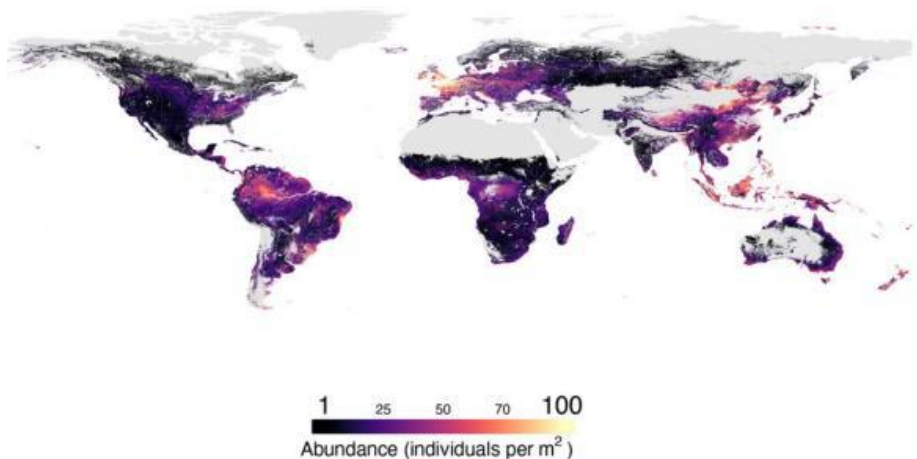
As minhocas são seres fundamentais para a agricultura, sendo geralmente utilizadas para atividades de pesca, como fonte de alimento para criadores de peixes ou rãs e além do comércio que trabalha com a venda dos anelídeos vivos, as minhocas possuem também outras finalidades comumente utilizadas, principalmente por pequenos produtores, como a geração de húmus para adubar canteiros.

Uma vez que tais anelídeos constroem galerias subterrâneas (túneis), que permitem o livre caminho das águas, o solo é mantido úmido por mais tempo. Esta característica apresenta grandes benefícios à agricultura, possibilitando a economia da água de irrigação, permitindo a diminuição da lâmina aplicada.

O fator climático influencia diretamente na ocorrência dos anelídeos, como, por exemplo, a incidência de chuvas, que provoca o aumento do potencial de evapotranspiração, elevando também a diversidade de plantas, e, por consequência, a quantidade de minhocas tende a diminuir. Fatores como as propriedades do solo também influenciam na incidência destes vermes, como, por exemplo a quantidade de matéria orgânica e o teor de nutrientes (Phillips *et al.*, 2020).

Maiores variedades de espécies foram tipicamente encontradas em latitudes médias, como o sul da América do Sul, as regiões no sul da Austrália e Nova Zelândia, e Europa, particularmente no Reino Unido, França e Alemanha. No entanto, houve algumas exceções, como a África Central (Figura 1).

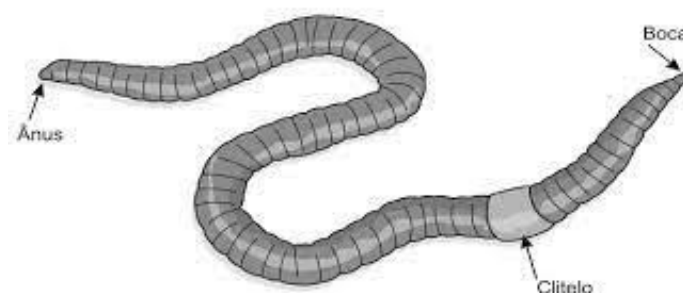
Figura 1 – Distribuição global da diversidade de minhocas



Fonte: Phillips et al. (2020).

As minhocas são anelídeos oligoquetos, vermes cilíndricos, pertencentes ao Filo annelida (annelus = pequeno anel), cujo corpo é ligeiramente afilado nas extremidades e composto de segmentos em forma de anel. Em sua extremidade anterior situa-se a cabeça, não distinta do resto do corpo, e na extremidade posterior encontra-se o ânus. Não possuem olhos, tentáculos ou apêndices. São animais formados por nervos, músculos e órgãos dos aparelhos excretor, circulatório e reprodutor (Figura 2) (Vieira, 1989).

Figura 2 – Fisiologia da minhoca



Fonte: Rodrigues (1997).

O sistema circulatório é fechado, possuindo vasos sanguíneos que possuem ramos laterais em cada segmento (anel). A respiração se dá através da epiderme (cutânea). O sistema excretor é formado por um par de nefrídeos presente em cada segmento. (Martinez, 1995).

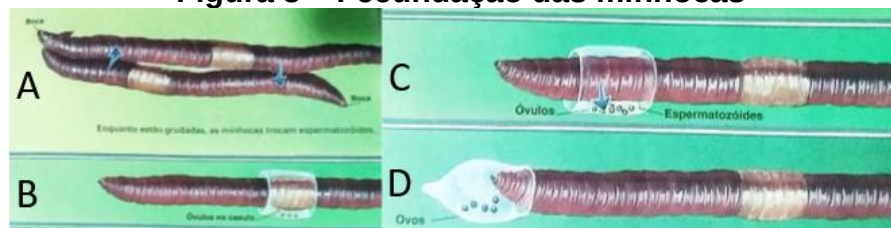
O ambiente ideal para o desenvolvimento das minhocas possui algumas características, que quando não são atendidas, elas tendem a fugir deste ambiente e procurar outro local. Fatores como a temperatura, umidade, vento, acidez, água e alimentação são fundamentais para o bom desenvolvimento e procriação (Bartz *et al.*, 2010).

A temperatura do ambiente interno em que vivem as minhocas, para melhor atender seu desenvolvimento, situa-se entre 16 e 22°C. O teor de umidade indicado está entre 70 e 85%. Outro fator muito importante é a qualidade da água presente no ambiente, que deve apresentar um pH próximo de 7,0 ou entre 6 e 8, e estar em condições de água abundantemente limpa, doce e conter no máximo 0,5% de sal e 0,3% de cálcio (Vieira *et al.*, 1989).

As minhocas são hermafroditas incompletas, isto é, não conseguem se autofecundar, sendo assim necessitam de outro parceiro para ocorrer a geração de novos indivíduos. Com o ambiente estando com as condições favoráveis à elas, conseguem se reproduzir facilmente.

A fecundação ocorre quando duas minhocas adultas, possuindo uma estrutura chamada clitelo, sendo esse o local onde ficam os espermatozoides e os óvulos, se cruzam. Uma gruda na outra, permanecendo assim por cerca de cinco horas, após o acasalamento elas se separam e cada uma formará seus ovos. Primeiramente a minhoca solta os óvulos no casulo produzido pelo clitelo, o casulo então escorrega pelo corpo até chegar ao anel onde estão os espermatozoides recebidos do parceiro, estes saem do anel e entram no casulo. Assim, a estrutura separa-se do corpo finalizando o processo (Figura 3).

Figura 3 – Fecundação das minhocas



A: Troca de espermatozóides; B: Óvulo no casulo; C: Bolsa sendo direcionada para a boca; D: Bolsa sendo depositada no solo.

Fonte: Rodrigues (1997).

Em 1 m² de superfície de solo podem existir cerca de 50 mil minhocas. Em um ano de condições favoráveis, estas podem gerar cerca de 50 cápsulas, as quais podem produzir cerca de 200 filhotes. Assim, englobando todas as gerações, em um ano cada uma pode gerar de 1000 a 1500 descendentes (LONGO, 1995).

Para que se reproduzam com maior eficácia, estes anelídeos devem ter uma alimentação que favoreça seu desempenho, para isso devem estar num ambiente rico em material orgânico em decomposição.

As minhocas consomem qualquer resíduo orgânico, tanto animal quanto vegetal, como restos de alimentos, cascas de frutas, folhas de verduras e resíduos de gramados, porém, em algumas situações, elas podem recusar o alimento e fugir do local, caso os resíduos possuam algum elemento tóxico, como sal ou vinagre, podendo até mesmo mata-las (EMBRAPA, 2011). Devido ao fato de as minhocas não possuírem aparelho bucal mastigador, os alimentos são consumidos úmidos. No inverno a alimentação diminui. (MARTINEZ, 1995).

A alimentação das minhocas ocorre através do trato digestivo, sendo este tubular e completo, percorrendo todo o comprimento do corpo, desde a boca até o ânus. Quando o alimento é ingerido, produz-se uma secreção “saliva” onde os ácidos orgânicos são neutralizados pelo carbonato de cálcio, que são produzidos pelas glândulas calcíferas existentes no esôfago, explicando, assim, o motivo pelo qual estes anelídeos são capazes de produzir um fertilizante com o pH neutro, permitindo a absorção direta dos nutrientes através do sistema radicular quando em contato com a solução do solo (MARTINEZ, 1995).

O húmus é o produto orgânico, inodoro, leve, solto, macio, asséptico, rico em sais minerais assimiláveis pelas plantas, estável, com pH neutro. Sua composição naturalmente varia de acordo com os tipos de materiais que as minhocas digerem (AQUINO, 1992).

Em uma análise de húmus foi detectado a seguinte composição presente na formação do húmus: 54,76% de umidade, pH (potencial hidrogeniônico) 7,9, 17,45% de matéria orgânica, 0,76% de nitrogênio, 1,24% de anidro fosfórico, 1,80% de óxido de potássio e 3,22% de carbono. Porém tais valores se distinguem dependendo do tipo de material que as minhocas se alimentaram (SCHIEDECK, 2006).

Além de melhorar as estruturas físicas, as minhocas também enriquecem a fertilidade do solo, fornecendo às culturas os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento e consequente aumento de produtividade e rentabilidade, uma vez

que se torna possível a diminuição do uso de fertilizantes químicos advindos das indústrias.

Atualmente as grandes lavouras de alface utilizam adubos químicos para realizar o manejo de adubação e nutrição de plantas, com a finalidade de corrigir o solo, atendendo as necessidades nutricionais da cultura desejada. A utilização de tais adubos acaba por aumentar os gastos com a lavoura e diminuir a lucratividade do produtor.

Tendo em vista os benefícios que o produto da vermicompostagem é capaz de proporcionar às plantas, o presente estudo tem como objetivo principal analisar a efetividade da economia da água de irrigação na cultura da alface crespa, e quantificar a necessidade nutricional das plantas de alface submetidas ao substrato com adição de diferentes concentrações de húmus de minhoca.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Localização experimental

O trabalho experimental foi instalado e conduzido numa casa de vegetação localizada no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Botucatu-SP (Figura 4). O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas latitude 22°50'48" S, longitude 48°26'07" W, e altitude 817 m.

De acordo com o método proposto por Köppen (1918) e adaptado por Setzer (1966), o clima de Botucatu-SP foi identificado com Aw, com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos (FRANCO *et al.*, 2023).

Figura 4 – Localização da casa de vegetação

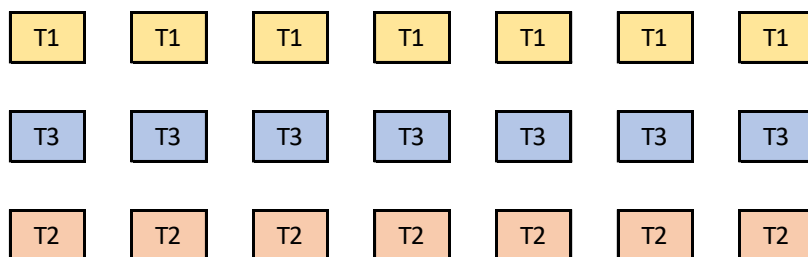


Fonte: Google Earth, 2024.

1.2.2 Delineamento experimental

O experimento foi instalado em vasos de plástico com capacidade de 20 litros. O delineamento experimental utilizado foi em formato DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado, contendo 3 tratamentos e 7 repetições, totalizando 21 parcelas experimentais (Figura 5), cada parcela experimental foi formada por 2 plantas.

Figura 5 – Croqui da área experimental



Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2025.

Cada tratamento foi descrito da seguinte forma: Tratamento 1: Controle (o vaso foi preenchido com solo em sua totalidade – 100%); Tratamento 2: 50% húmus de minhoca (o vaso foi preenchido com húmus de minhoca em 50% e 50% solo) e Tratamento 3: 10% de húmus de minhoca (o vaso foi preenchido com 10% de húmus de minhoca e 90% de solo).

O húmus de minhoca utilizado foi adquirido da empresa Produtos Holanda, localizada na Rua 5B, nº 321. Cidade Nova, Rio Claro/SP.

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho distrófico, de textura franco argilosa. Os tratamentos consistiram nesta distribuição devido ao fato de alguns autores como Mesquita *et al.* (2017), Araújo *et al.*, (2019) e Cruz *et al.*, (2016) trabalharem com doses parecidas ao do presente estudo, porém com localizações e resultados que evidenciam a possibilidade de novas pesquisas, sendo, portanto, testadas no presente trabalho nas dosagens descritas e no município de Botucatu-SP.

1.2.3 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi composto por 3 mangueiras gotejadoras com emissores fixados internamente. Cada mangueira foi conectada a um registro individual, possibilitando o controle da lâmina de irrigação de cada tratamento separadamente. Os emissores possuem espaçamento de 60 cm entre si, com vazão de 1,2 L.h. Todo o sistema estava ligado a um sistema de bomba hidráulica de 4 CV.

A metodologia para avaliação da uniformidade do sistema de irrigação foi baseada nos índices do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen - CUC (CHRISTIANSEN, 1942) (Equação 1) e Coeficiente de Uniformidade de Distribuição - CUD (MERRIAN e KELLER, 1978).

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Q_i - Q|}{n Q} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Em que:

CUC = Coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

Q_i = Vazão coletada em cada gotejador, em L.h⁻¹;

Q = Média das vazões coletadas de todos os gotejadores, em L.h⁻¹;

n = Número de gotejadores analisados.

$$CUD = \left(\frac{Q_{25\%}}{Q_{média}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

CUD = Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, em %;

$Q_{(25\%)}$ = Média de 25% do total de gotejadores com as menores vazões, em $L.h^{-1}$;

$Q_{média}$ = Média das vazões coletadas nos gotejadores na subárea, em $L.h^{-1}$.

Os valores das lâminas aplicadas pelos emissores (Figura 6) foram coletados e utilizados no cálculo dos coeficientes de uniformidade, por meio das equações de CUC e CUD.

Figura 6 - Lâminas ($L.h^{-1}$) coletadas dos emissores do sistema de irrigação

T1 - Controle	T2 - 50% HM	T3 - 10% HM
1,59	1,5	1,74
1,5	1,56	1,86
1,59	1,74	1,92
1,65	1,68	1,8
1,71	1,68	1,68
1,56	1,62	1,68
1,65	1,62	1,74
HM: Húmus de minhoca		

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2025.

De acordo com os dados obtidos através das respectivas lâminas dos emissores das mangueiras gotejadoras, e submetidos as fórmulas de CUC e CUD, obteve-se os seguintes resultados:

CUC = 80,32%

CUD = 87,87%

Conforme a metodologia utilizada, tais resultados demonstram que o sistema atende a classificação de “bom” para os parâmetros de CUC, e excelente para os parâmetros de CUD, sinalizando parâmetros tecnicamente satisfatórios para o sistema de irrigação (CHRISTIANSEN, 1942; MERRIAN e KELLER, 1978).

1.2.4 Gerenciamento da água de irrigação

A metodologia da tensiometria (Bernardo, *et al.*, 2019), combinada com o método das pesagens (Klar *et al.*, 1966), foi utilizada no gerenciamento das águas de irrigação.

Aparelhos de tensiômetro foram instalados na profundidade de 15 cm, correspondente ao tamanho do sistema radicular efetivo da cultura. A tensão do solo no ponto de capacidade de campo (CC) é de 6 kPa, conforme EMBRAPA (2010).

Foram instalados 3 tensiômetros por tratamento. O monitoramento dos valores da tensão do solo (kPa) foi realizado utilizando um tensímetro digital móvel (marca Tensimeter), todos os dias, às 7 horas da manhã.

Para que não configure estresse hídrico em uma planta, existe um limite de água, denominado fator f ou água facilmente disponível para as plantas (AFD), que abrange a fração máxima de água disponível no solo que a planta é capaz de absorver. Tal fração, situa-se entre 30% e 70% da capacidade de água disponível (CAD) (FRIZONE, 2017).

Desta forma, a irrigação foi realizada de acordo com a leitura de 30 kPa da tensão do solo, representando (60% da CAD), repondo a água dos vasos de forma que a tensão retornasse a 6 kPa (CC) (EMBRAPA, 2017).

1.2.5 Análise química dos substratos

Após a instalação experimental, foram coletadas amostras de 150 g de cada um dos três tratamentos. As amostras foram homogeneizadas, secas, peneiradas e devidamente ensacadas. Em seguida, foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Químicas do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas para posterior avaliação (EMBRAPA, 2017).

1.2.6 Plantio

Foram utilizadas mudas de alface (*Lactuca sativa* L.) variedade crespa itapuã super (028), que tem como característica folhas do tipo crespa, de coloração verde clara e tenras. Esta variedade apresenta plantas grandes, sendo indicada para cultivo o ano todo, principalmente em semeaduras de primavera e verão. Pode ser colhida aos 60-70 dias após a semeadura.

O plantio foi realizado às 17h do dia 12 de abril de 2024. Foram transplantadas 2 mudas por vaso, totalizando 2 plantas por parcela experimental, sendo 3 tratamentos e 7 repetições, totalizando 42 plantas úteis.

1.2.7 Condução experimental

Após o plantio da cultura, foi realizado o manejo da irrigação, com a coleta dos dados de tensão de água no solo (kPa) para cada tratamento. Também foi feito o monitoramento da cultura, visando o controle de possíveis danos causados por pragas e doenças, bem como a avaliação da produtividade ao final do ciclo.

1.2.8 Análise de produtividade

Aos 35 dias após o transplantio (DAT), as plantas foram submetidas a análises de produção, tais como massa fresca (g), massa seca (g), peso fresco individual (g), índice de área foliar (LAI) da maior folha (cm^2/cm^2), número de folhas por planta (unidades), produção de massa fresca (t/ha), produção de massa seca (t/ha), composição nutricional da massa seca (%) e eficiência do uso da água (EUA), calculada pela razão entre a produtividade e a lâmina de irrigação aplicada em cada tratamento.

1.2.9 Análise de leitura indireta de clorofila

Com o clorofilômetro, modelo SPAD-502, aparelho desenvolvido pela Minolta no Japão (MINOLTA, 1989), foram realizadas as análises não destrutivas com medições instantâneas do valor correspondente ao teor de clorofila na folha. Tal equipamento utiliza fotodiodos emissores em três comprimentos de onda: dois emitem dentro da banda do vermelho, próximos aos picos de cada tipo de clorofila (= 635 nm e 660 nm) e um outro no infravermelho próximo (= 880 nm). O equipamento foi utilizado conforme o manual do medidor eletrônico de teor clorofila (FALKER, 2008).

1.2.10 Análise de diagnose foliar

Após a coleta de dados de produtividade, as amostras foram submetidas ao procedimento de secagem em estufa de ventilação induzida a 65°C, para encaminhamento a análise nutricional feita no laboratório. Tal análise permitiu a avaliação do estado nutricional das plantas, a identificação de deficiências ou toxidez de nutrientes e a avaliação da necessidade de adubos ou ajustes na adubação.

1.2.11 Análises do sistema radicular

O sistema radicular foi retirado do solo cuidadosamente, escavando o solo a aproximadamente 0,20 - 0,25 m ao redor do caule e 0,30 m em profundidade, assim, o sistema radicular foi exposto e o excesso do solo removido. As raízes foram imersas em recipiente com água e detergente neutro, na concentração de 5%, para limpeza do sistema radicular. Após a limpeza, as raízes foram submetidas ao método WinRHIZO, que consiste em um sistema de software de digitalização operado pelo scanner Epson Expression 10.000 XL (Epson America, Inc., Los Alamitos, CA, EUA), no qual o sistema radicular da planta é colocado para que o software meça automaticamente suas variáveis. Foram avaliadas as seguintes variáveis: comprimento total (cm); área superficial radicular (cm²); volume da raiz (cm³); diâmetro radicular médio (mm) e número de ramificações.

1.2.12 Análises estatísticas

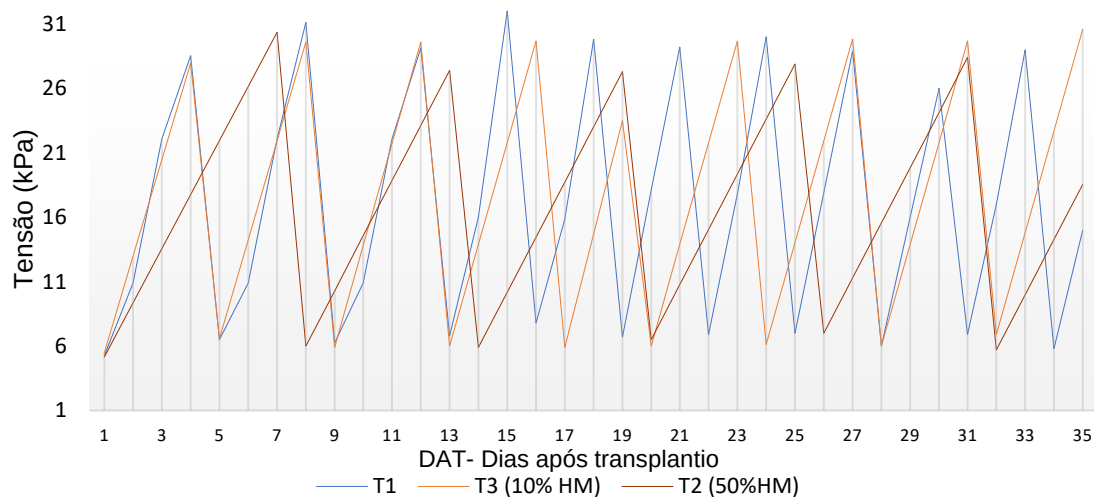
A análise de variância para os dados referentes a cada análise, foi conduzida de acordo com o delineamento inteiramente casualizado. A estatística foi realizada usando o software AgroEstat (Barbosa e Maldonado-Junior, 2010) e as médias, comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi observado efeito significativo na eficiência do uso da água nos substratos contendo húmus de minhoca, quando comparado ao tratamento controle. A necessidade de irrigação foi diminuída ao passo em que se aumentou a dose de húmus no solo. De acordo com o Comunicado Técnico 172 da EMBRAPA (2007), a presença de húmus de minhoca aumenta a retenção de água no solo.

A necessidade de irrigação para repor a água na CC no T1 (controle) foi 10,51 vezes durante o ciclo, com intervalo médio de 3,33 dias, onde foram repostos 12.612 ml de água. Já em T3, a irrigação se fez necessária 9,83 vezes, com intervalo médio de 3,56 dias, com uma lâmina de 11.796 ml de água no ciclo. Em T2, a aplicação da lâmina de irrigação foi realizada 5,55 vezes, com intervalo médio de 6,3 dias, sendo aplicado 6.660 ml no ciclo (Figura 7).

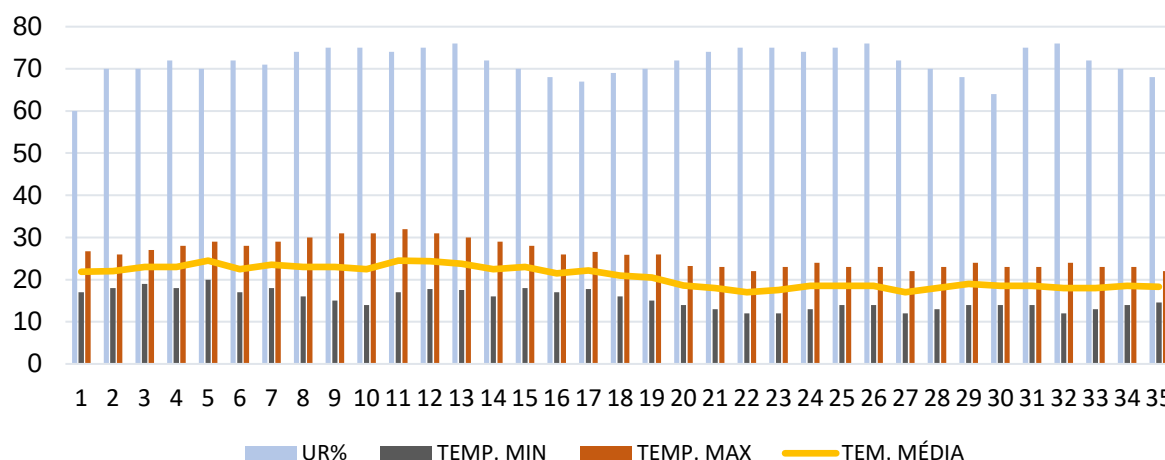
Figura 7 – Tensão de retenção de água no solo (kPa) durante o ciclo da cultura (dias)



Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2025.

A forma como os valores das tensões do solo se apresentou durante o DAT (Dias após transplantio – eixo “x”) está diretamente relacionado com as condições climáticas local (Figura 8), influenciando a evapotranspiração das plantas no interior da casa de vegetação.

Figura 8 – Distribuição da umidade relativa do ar (UR%), temperatura máxima, mínima e média (C°) durante o ciclo da cultura (dias).



Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2025.

Com os tratamentos aplicados, obteve-se uma economia nas águas de irrigação de 6,43% em T3 e 47,62% em T2, comparação ao T1. A maior eficiência do uso da água foi em T2, contudo o T3 obteve valor próximo (Figura 9), resultados similares foram encontrados por Mesquita *et al.*, (2017), que verificaram maior eficiência no uso da água no tratamento com adubação com húmus de minhoca a base de esterco bovino na dose estimada de 11,7% do volume do vaso.

Figura 9 – Eficiência do uso da água nos diferentes tratamentos

Tratamento	Produtividade (g)	Lâmina/ciclo (L)	Intervalo médio entre irrigação (dias)	Irrigações no ciclo	Eficiência do uso da água (g/L)
T1: Controle	14,09	12,612	3,33	10,51	1,11
T2: 50% HM	15,85	6,660	6,30	5,55	2,40
T3: 10% HM	25,48	11,796	3,56	9,83	2,16

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2025.

Em trabalho desenvolvido no município de Lagoa, no estado da Paraíba, foi observado que conforme ocorreu incrementos nos tores de matéria orgânica no solo, houve aumentos na eficiência do uso da água, proporcionando maior crescimento das plantas de girassol (Cruz *et al.*, 2016).

Os teores nutricionais dos elementos essenciais presentes nos tratamentos (Figura 10 e 11) proporcionaram influências similares no desenvolvimento das plantas (Tabela 1).

Figura 10 – Resultado da análise química dos tratamentos – Parte I

Tratamentos	pH	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	Na	K	Ca	Mg	SB	CTC
	CaCl	H ₂ O	g/dm ³	mg/dm ³	----- mmolc/dm ³ -----							
	2			3								
T1: Controle	5,7	-	13	72	0	18	-	0,9	42	14	56	74
T2: 50% HM	5,1	-	27	132	0	29	-	2,9	50	56	180	193
T3: 10% HM	5,4	-	16	82	0	13	-	1,6	47	14	64	93

Fonte: Laboratório de análises químicas – FCA

Mesmo com as concentrações de 10% e 50% de húmus de minhoca, todos os elementos estão em quantidades insuficientes para a cultura, na qual seria necessário a complementação com adubação mineral em todos os tratamentos para alcançar o teto produtivo comercial, sendo em T1: 30 kg ha⁻¹ de N, 120 kg ha⁻¹ de P, 120 kg ha⁻¹ de K, 1 kg ha⁻¹ de B, 0,5 kg ha⁻¹ de Cu e 0,5 kg ha⁻¹ de Zn; em T2: 30 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P, 80 kg ha⁻¹ de K, 1 kg ha⁻¹ de B, 0,5 kg ha⁻¹ de Cu e 0,5 kg ha⁻¹ de Zn; e em T3: 30 kg ha⁻¹ de N, 120 kg ha⁻¹ de P, 80 kg ha⁻¹ de K, 1 kg ha⁻¹ de B, 0,5 kg ha⁻¹ de Cu e 0,5 kg ha⁻¹ de Zn (Cantarella *et al.*, 2022).

Figura 11 – Resultado da análise química dos tratamentos – Parte II

Tratamentos	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
					mg/dm ³		
T1: Controle	76	8	0,29	1,2	34	4,6	2,6
T2: 50% HM	93	15	0,26	1,5	52	6,1	2,9
T3: 10% HM	69	6	0,24	1,4	68	4,5	2,3

Fonte: Laboratório de análises químicas - FCA

O húmus de minhoca possui a característica de neutralidade do pH, devido a estrutura de glândulas calcíferas presente no esôfago desses anelídeos, as quais são capazes de neutralizar os ácidos orgânicos da matéria orgânica presente no meio. Os valores de pH tiveram um decréscimo conforme o teor de húmus de minhoca aumentou (Figura 10), este fato tem implicações direta na absorção nutricional das plantas. Lopes (1989) destaca no Manual de Fertilidade do Solo que a maioria dos solos produtivos variam seus valores de pH entre 4,0 e 9,0, sendo necessário a correção via calagem quando tais valores estiverem fora da faixa ideal.

Contudo, para substratos de base orgânica, recomenda-se que o pH esteja entre 5,2 e 5,5 (Schmitz *et al.*, 2002). Meios de cultivo com pH menor do que 5,0 estão associados à deficiência de nutrientes nas plantas. Por outro lado, quando o pH ultrapassa 6,5, podem ocorrer problemas na disponibilidade de fósforo (P) e de

micronutrientes, como ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) (KÄMPF, 2005).

O pH do solo mede a atividade do íon hidrogênio (H^+) e é expresso em termos logarítmicos, isto é, cada unidade de mudança no pH do solo significa uma mudança de dez vezes no grau de acidez ou alcalinidade. Tal característica ajuda a explicar a ausência de influência significativa nos parâmetros de área foliar e intensidade de clorofila da parte aérea das plantas submetidas a maiores teores de húmus de minhoca no solo (Tabela 1), mesmo este contendo maior reserva nutricional. Resultados similares foram obtidos por Souza et al. (2010) em que doses de adubação utilizando húmus de minhoca não influenciaram no crescimento e características comerciais do girassol cultivar Embrapa BRS Oásis.

Tabela 1 – Parâmetros biométricos foliar avaliados aos 35 DAT

Tratamento	Peso médio da parte aérea (g)	Folhas por pé (un)	Área foliar (cm ²)	Medida Indireta de Clorofila
T1: Controle	14,09 b	13,14 b	83,53 a	19,27 a
T2: 50% HM	15,85 b	14,71 b	76,53 a	19,51 a
T3: 10% HM	25,48 a	7,14 a	83,53 a	18,54 a

médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2025.

Nos parâmetros relacionados ao peso da parte aérea e folhas por pé, houve diferença estatística, com a maior média de produção por pé sendo observada para o T3 com 25,48 g (Tabela 5). Resultados diferentes foram encontrados por Mello Filho *et al.* (2015), que observaram a maior produtividade com a aplicação de 50% de húmus de minhoca. No entanto, o pH do húmus utilizado por esses autores era de 7,38, valor superior ao pH do húmus empregado na presente pesquisa, igual a 5,3 (Tabela 6), o que pode explicar a diferença na produtividade observada.

Figura 12 – Análise química do húmus de minhoca

pH CaCl ₂	pH H ₂ O	M.O. g/dm ³	P _{resina} mg/dm ³	Al ³⁺	H+Al	Na	K	Ca	Mg	SB	CTC
				-----mmol _c /dm ³ -----							
				--							
5,3	-	79	216	0	44	-	3,5	57	22	82	126

Fonte: Laboratório de análises químicas - FCA, 2023.

Nos resultados obtidos através do sistema radicular das plantas de alface, observou-se que o uso da dose do húmus de minhoca em 10% favoreceu o desenvolvimento das raízes quanto ao comprimento das raízes (cm), área superficial radicular (cm²), volume radicular (cm³) e o número de ramificações, quando comparado à dose de 50% ao controle (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros biométricos radicular avaliados aos 35 DAT

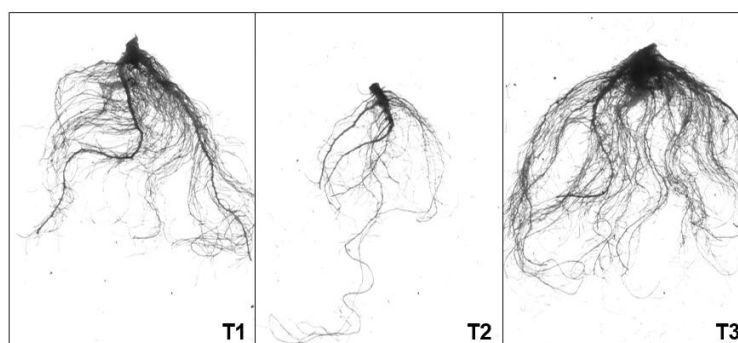
Tratamento	Comprimento das raízes (cm)	Área superficial radicular (cm ²)	Volume radicular (cm ³)	Número de ramificações
T1: Controle	547,54 a	76,62 b	0,85 b	4720,42 b
T2: 50% HM	410,19 b	56,72 c	0,64 c	3299,14 c
T3: 10% HM	557,95 a	101,24 a	1,15 a	5029,57 a

médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2025.

Nota-se que o tratamento 2 apresentou o menor desenvolvimento radicular (Tabela 2; Figura 13). Esse resultado pode estar relacionado ao valor de pH observado nesse tratamento, tendo em vista o comprometimento da absorção dos nutrientes, pois os demais parâmetros como CTC, M.O., V% se encontram em valores adequados (Figura 10 e 11) (Cantarella, 2022).

Figura 13 – Desenvolvimento do sistema radicular dos tratamentos submetidos a doses de húmus de minhoca.



Fonte: WinRHIZO, 2024.

Araújo et al. (2020) trabalhando com o desenvolvimento de rabanete na região Nordeste do Brasil utilizando diferentes doses de húmus de minhoca,

observaram que a adubação orgânica ocasionou um incremento no peso e no diâmetro dos tubérculos na dosagem de 40% de húmus e 60% de solo.

Tais diferenças podem ter sido influenciadas pelo tipo de solo utilizado, pelos valores de pH de cada substrato e pelas condições climáticas da região, classificada como As — tropical quente e úmido, segundo Köppen (1948). Esse clima difere do de Botucatu-SP, classificado como Aw — com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos (Franco *et al.*, 2023), pois fatores como temperatura, umidade e a fertilidade do solo, influenciam diretamente o desenvolvimento da cultura.

Na análise do tecido foliar foi possível observar as quantidades nutricionais absorvidas durante o ciclo da cultura (Figura 14).

Figura 14 – Teores totais de macro e micronutrientes no tecido foliar

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					
T1: Controle	22	4,2	45	12	4,5	1,6	35	6	94	70	35
T2: 50% HM	25	5,5	63	11	3,7	2,6	37	9	179	101	61
T3: 10% HM	20	4,0	51	12	3,5	1,7	28	7	111	59	39

Fonte: Laboratório de análises químicas - FCA, 2023

De acordo com Malavolta *et al.* (1997), as quantidades dos macronutrientes absorvidos pela cultura da alface durante o seu ciclo de desenvolvimento são, N: 30 g/kg; P: 3,5 g/kg; K: 50 g/kg; Ca: 12,5 g/kg; Mg: 3,5 g/kg; S: 2,5 g/kg. Contudo, na presente pesquisa, observou-se que alguns nutrientes não foram absorvidos em quantidades adequadas. O nitrogênio apresentou déficit nutricional de 26,66% no tratamento T1, 16,66% no T2 e 33,33% no T3. O potássio esteve 10% abaixo do teor recomendado em T1; o cálcio apresentou deficiência de 12% em T2; e o enxofre apresentou déficit de 36% em T1 e 22% em T3.

A não absorção potencial do N pode estar relacionada com os processos biogeoquímicos que envolvem diferentes formas iônicas de nitrogênio, como amonificação, desnitrificação e nitrificação. No caso dos nutrientes K, Ca e Mg, a absorção foi prejudicada em função das inter-relações que esses elementos possuem entre si. De acordo com Bull e Rosolem (1989), recomenda-se que o cálcio represente de 60 a 70% da CTC, o magnésio de 10 a 20%, e o potássio de 3 a 5%. Considerando essas recomendações, o tratamento que apresentou a composição

mais adequada foi o T3, no qual os teores de Mg e K foram de 15,05% e 3,11%, respectivamente, enquanto o Ca apresentou 50,53%.

1.4 CONCLUSÃO

As melhores produtividades foram obtidas na presença de húmus de minhoca em 10%.

O valor de pH do húmus de minhoca pode sofrer variação dependendo da qualidade do húmus, sendo recomendado analisar o pH do produto obtido antes de utilizá-lo com a finalidade de adubação.

O húmus de minhoca em 50% é capaz de reter a umidade do solo (até 30 kPa) por até 6 dias nas condições climáticas de Botucatu-SP.

A economia das águas de irrigação utilizando húmus de minhoca foi de 47,62% em T2 e 6,43% em T3, em comparação com a testemunha.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, A.M.; Almeida, D.L.; Silva, V.F. **Utilização de minhocas na estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem**. Comunicado técnico Embrapa, dezembro de 1992.
- ARAÚJO, R.G.V.; Lima, J.R.B.; Silva, A.B.; Santos, G.T.; Silva, J.M.; Paes, R.A. **Desenvolvimento de tubérculos de rabanete em função de diferentes doses de húmus de minhoca**. Revista Ciência Agrícola, Rio Largo, v. 18, n. 3, p. 1-5, 2020.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. AgroEstat – **Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos**, versão 1.0, Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2010.
- BARTZ, M. L. C.; Costa, A. C. S.; Tormena, C. A.; Souza Jr., I. G.; Brown, G. G. **Sobrevivência, produção e atributos químicos de coprólitos de minhocas em um Latossolo Vermelho distroférrico (Oxisol) sob diferentes sistemas de manejo**. Acta Zoológica Mexicana, 2010.
- BERNARDO, S.; Mantovani, E. C.; Silva, D. D.; Soares, A. A. **Manual de Irrigação**. 9ª edição, Viçosa, MG; ed UFV, 2019.
- BULL, L. T.; Rosolem, C. A. **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. Botucatu, São Paulo, 1989.
- CANTARELLA, H.; Quaggio, J. A.; Mattos Jr., D.; Boaretto, R. M.; van Raij, B. **Boletim 100: recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Instituto Agrônomo de Campinas-SP, 2022.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 212p. Bulletin 670.
- CRUZ, M. P.; Andrade, L.O.; Pereira Cruz, K.R.; Pessoa, A.M.; Souza, J.T.A.; Soares, E.B.S.; Carvalho, M.G.; Andrade Junior, R.A. **Crescimento do girassol ornamental submetido à substratos orgânicos em diferentes volumes de águas**. Revista: Scientia Agraria Paranaensis. Parana, v. 15, n. 3, jul./set., p. 312-319, 2016.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária). **Alimentação em minhocários**. Pagina rural, 2011.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição, Brasília-DF, 2017.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária). **Uso da Tensiometria no Manejo da Irrigação**. Documento 235, 2010.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária). BAMBERG, A.L.; GRECCO, M.F.; SILVEIRA, C.A.P.; MARTINAZZO, R.; POTES, M.L.; LOUZADA, R. **Uso de colunas de lixiviação para a determinação da dinâmica de liberação de nutrientes a partir de rochas moídas**. Workshop insumos para agricultura sustentável. Embrapa Clima Temperado, 2017. Pelotas, RS.

FALKER. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre, 2008. 33p. Disponível em: <<http://www.falker.com.br/produto-clorofilog-medidor-clorofila.php>>. Acesso em: 20. mai. 2024.

FRANCO, J. R.; Dal Pai, E.; Calça, M. V. C.; Raniero, M. R. Dal Pai, A.; Sarnighausen, V. C. R.; Sánchez-Román, R. M. **Atualização da normal climatológica e classificação climática de Köppen para o município de Botucatu-SP**. Irriga, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 77-92, janeiro-março, 2023.

FRIZZONE, J.A. **Necessidade de água para irrigação**. ESALQ/USP, 2017. LEB 1571 - Irrigação Curso de Graduação em Engenharia Agrônoma – ESALQ/USP Piracicaba – SP. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Frizzzone/LEB_1571/TEXTOS_COMPLEMENTAR_2_-_NECESSIDADE_DE_AGUA_PARA_IRRIGACAO.pdf. Acesso em: 28.mai.2024.

Kämpf, A.N. **Preparo do substrato para a produção de plantas ornamentais**. Produção comercial de plantas ornamentais. Guaíba: Agropecuária, 2005. p.45-88.

Klar, A. E.; Villa Nova, N.A.; Marcos, Z. Z.; Cervellini, A. **Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens**. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Vol XXIII, Piracicaba-SP, 1966.

KÖPPEN, W. **Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf**. Petermanns Mitt, Gotha, v. 64, p. 193-203, 1918.

KOEPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Mexico, DF: Fondo de Cultura Económica, 478p, 1948.

LONGO, A.D. **Minhoca de Fertilizadora do solo a fonte alimentar**. São Paulo – SP, 1995

LOPES, A. S.; **Manual de Fertilidade do solo**. São Paulo, 1989.

MALAVOLTA, E.; Cesar Vitti, G.; Oliveira, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª edição. Piracicaba, São Paulo, 1997.

MARTINS, R.R. **A vida da minhoca**. São Paulo: Moderna, 1997.

MARTINEZ, A.A. **A grande e poderosa minhoca - Manual prático do minhocultor**. 3ªed. Jaboticabal – SP, 1995.

MARTINEZ, A. A. **Minhocultura**. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/artigos/2006_2/minhocultura/index.htm. Acesso em: 26/2/2024

MELO FILHO, J.S.; Araújo, D.L.; Vêras, M.L.M.; Irineu, T.H.S.; Andrade, R. **Produção de mudas de caju (*Anacardium occidentale* L.) sob aplicação de biofertilizante em dois volumes de substratos**. Revista Terceiro Incluído v.5, n.2, 2015.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan; Utah State University, 1978, 271p.

MESQUITA, E. F.; Silva Sá, F. V.; Suassuna, C. F.; Souza, F. M.; Andrade, L. R.; Santos, G. J. F. **Fitomassa e eficiência do uso da água da mamoneira brs gabriela irrigada sob adubação orgânica**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.11, nº.3, p. 1458-1467. Fortaleza, CE., 2017.

MINOLTA CAMERA Co. Ltd. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka: Minolta Radiometric Instruments, 1989. 22p.

NEIVERTH, C.A.; Dedeczek, R.A.; Curcio, G.R. **Estudo da lixiviação de fósforo em colunas de solos de subsuperfície de três pedossequências do Paraná**. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 28 de julho a 02 de agosto de 2013, Florianópolis-SC. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90950/1/Gustavo-CBCS-Estudo.pdf>. Acesso em: 09.abr.2024.

PHILLIPS, H.R.P.; Guerra, C.A.; Bartz, M.L.C.; Briones, M. J. I.; Brown, G.; Crowther, T.W.; Ferlian, O.; Gongalsky, K.B.; van den Hoogen, J.; Krebs, J.; Orgiazzi, A.; Routh, D.; Schwarz, B.; Bach, E.M.; Bennett, J.M.; Brose, U.; Decaëns, T.; König-Ries, B.; Loreau, M.; Mathieu, J.; Mulder, C.; van der Putten, W.H.; Ramirez, K.S.; Rillig, M.C.; Russell, D.; Rutgers, M.; Thakur, M. P.; Vries, F.T.; Wall, D.H.; Wardle, D.A.; Arai, M.; Ayuke, F.O.; Baker, G.H.; Beauséjour, R.; Bedano, J.C.; Birkhofer, K.; Blanchart, E.; Blossey, B.; Bolger, T.; Bradley, R.L.; Callahan, M.A.; Capowiez, Y.C.; Caulfield, M.E.; Choi, A.; Crotty, F.V.; Crumsey, J.M.; Dávalos, A.; Diaz Cosin, D.J.; Dominguez, A.; Duhour, A.E.; van Eekeren, N.; Emmerling, C.; Falco, L.B.; Fernández, R.; Fonte, S.J.; Fragoso, C.; Franco, A.L.C.; Fugère, M.; Fusilero, A.T.; Gholami, S.; Gundale, M.J.; López, M.G.; Hackenberger, D.K.; Hernández, L.M.; Hishi, T.; Holdsworth, A.R.; Holmstrup, M.; Hopfensperger, K.N.; Lwanga, E.H.; Huhta, V.; Hurisso, T.T.; Iannone, B.V.; Iordache, M.; Joschko, M.; Kaneko, N.; Kanianska, R.; Keith, A.M.; Kelly, C.A.; Kernecker, M.L.; Klaminder, J.; Koné, A.W.; Kooch, Y.; Kukkonen, S.T.; Lalthanzara, H.; Lammel, D.R.; Lebedev, I.M.; Li, Y.; Lidon, J.B.J.; Lincoln, N.K.; Loss, S.R.; Marichal, R.; Matula, R.; Moos, J.H.; Moreno, G.; Morón-Ríos, A.; Muys, B.; Neirynck, J.; Norgrove, L.; Novo, M.; Nuutinen, V.; Nuzzo, V.; Rahman, M.; Pansu, J.; Paudel, S.; Pérès, G.; Pérez-Camacho, L.; Piñeiro, R.; Ponge, J.F.; Rashid, M.I.; Rebollo, S.; Rodeiro-Iglesias, J.; Rodríguez, M.A.; Roth, A.M.; Rousseau, G.X.; Rozen, A.; Sayad, E.; van Schaik, L.; Scharenbroch, B.C.; Schirrmann, M.; Schmidt, O.; Schröder, B.; Seeber, J.; Shashkov, M.; Singh, J.; Smith, S.M.; Steinwandter, M.; Talavera, J.A.; Trigo, D.; Tsukamoto, J.; Valença, A.W.; Vanek, S.J.; Virto, I.; Wackett, A.A.; Warren, M.W.;

WEHR, N.H.; Whalen, J.K.; Wironen, M.B.; Wolters, V.; Zenkova, I.V.; Zhang, W.; Cameron, E.K.; Eisenhauer, N. **Distribuição global da diversidade das minhocas**. Revista Ciência, Julho de 2020.

RODRIGUES, R.M. **A vida das minhocas**. São Paulo, 1997.

SCHIEDECK, G.; Gonçalves, M. M.; Schwengber, J. E.; Schiavon, G. A. Comunicado Técnico 172 – **Minhocultura em camadas: um manejo para otimizar o minhocário na propriedade familiar**. EMBRAPA. Pelotas, RS, 2007.

SCHIEDECK, G.; Gonçalves, M.M.; Schwengber, J.E. **Minhocultura e produção de húmus para a agricultura familiar**. Circular Técnica 57, Pelotas – RS, dezembro de 2006.

SCHMITZ, J.A.K. et al. **Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes**. Revista Ciência Rural, v.32, n.6, p.937-944, 2002.

SETZER, J. **Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai, 1966.

SOUZA, R.M.; Nobre, R.G.; Raij Gheyi, H.; Dias, N.S.; Soares, F.A.L. **Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol**. Revista Caatinga, vol. 23, núm. 2. Mossoró, Brasil, 2010.

VIEIRA, M.I. **Criação de minhocas Comercialização Reprodução Produção Instalações Bons Lucros**. São Paulo – SP, 1989.

CAPÍTULO 2

MANEJO DE ADUBAÇÃO E IRRIGAÇÃO DA ALFACE CRESPA (*Lactuca sativa* VAR. CRISPA) UTILIZANDO LODO DE ESGOTO TRATADO COMO FONTE DE MATÉRIA ORGÂNICA

2.1 INTRODUÇÃO

Saneamento é uma medida que tem por objetivo preservar e ou modificar as condições do meio ambiente, para a prevenção de doenças, promoção da saúde e melhoria da qualidade de vida da população (Instituto Trata Brasil, 2012).

A “Lei do Saneamento Básico”, define saneamento básico como sendo o conjunto de serviços que compreendem: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (BRASIL, 2007).

Sendo o saneamento básico um direito garantido pela Constituição brasileira (BRASIL, 2007), é correto afirmar que todos os indivíduos devem ter acesso ao abastecimento de água de qualidade e na quantidade necessária para suprir todas e quaisquer necessidades humanas, além da coleta e tratamento adequado do esgoto e do lixo gerado pela população.

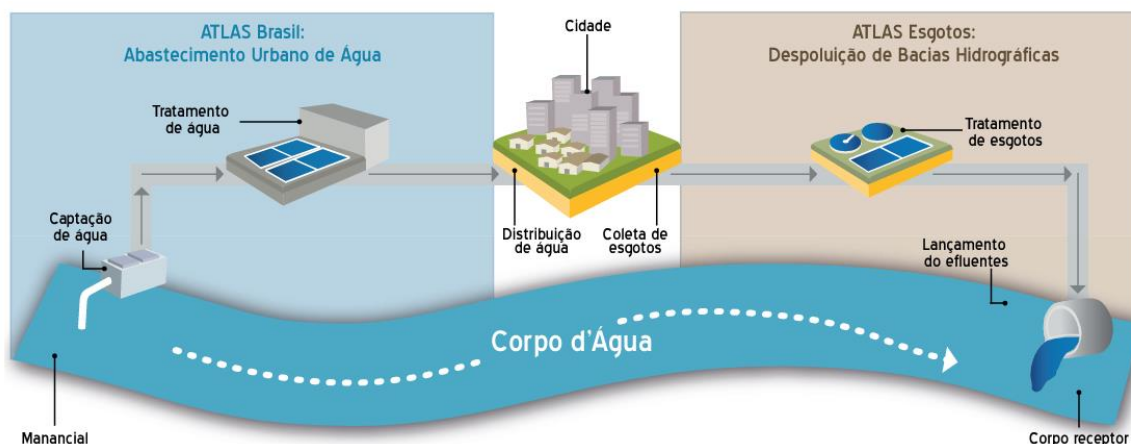
Com o intuito de gerenciar, regularizar e fiscalizar os recursos hídricos brasileiros, a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) foi criada no ano 2000, sendo uma entidade federal, responsável pela gestão dos recursos hídricos brasileiros (BRASIL, 2000).

Por conseguinte, os serviços de saneamento básico em um município podem ser realizados de forma indireta, quando ocorre a delegação da prestação dos serviços para autarquia municipal, companhia estadual ou concessionária privada, ou de forma direta, sem prestador de serviço institucionalizado (ANA, 2017).

Entre os serviços que compõem o saneamento básico, destacam-se o abastecimento de água potável e o esgotamento sanitário, que por sua vez se dão basicamente da captação das águas dos mananciais, e esta recebe o tratamento adequado para atender aos padrões de potabilidade (BRASIL, 2021), em seguida, é feita sua distribuição através de sistemas de tubulações internas, e após esta distribuição, a água é utilizada, e então suas características naturais são alteradas, sendo então direcionada para a tubulação coletora de esgoto, onde passará por

tratamento apropriado para ser lançada adequadamente no corpo receptor (Figura 1).

Figura 1 - Funcionamento do abastecimento e tratamento de água

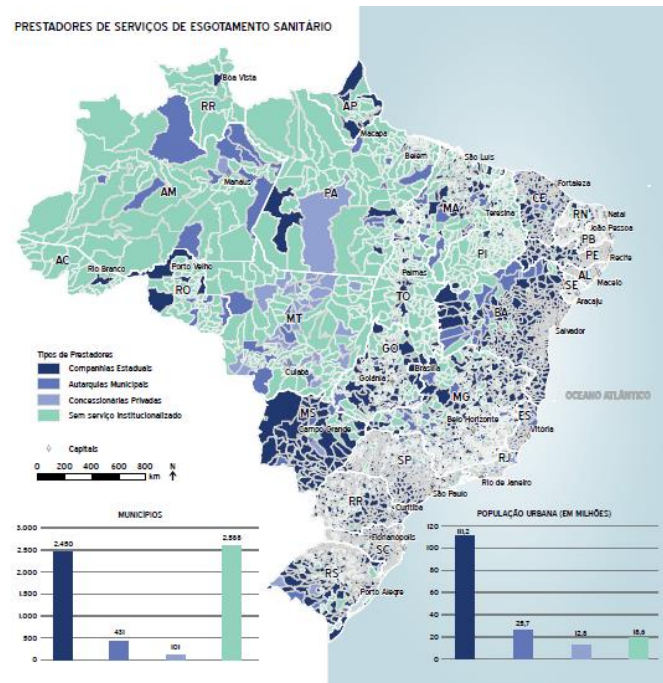


Fonte: ANA, 2017.

Entretanto, o direito constitucional ao saneamento básico não é garantido para a população em sua totalidade, tendo em vista o grande desafio que abrange questões institucionais, socioculturais e econômicas. Um dos itens mais precários do saneamento básico é a coleta e tratamento do esgoto, que compromete significativamente a saúde da população local, uma vez que os dejetos humanos podem desencadear diversas doenças, tais como febre tifóide e paratifóide, diarreias infecciosas, amebíase, ancilostomíase, esquistossomose, teníase, ascaridíase, dentre outras (Instituto Trata Brasil, 2012).

De acordo com a Agência Senado (2022), aproximadamente 35 milhões de pessoas no Brasil vivem sem água tratada e mais de 100 milhões não têm acesso à coleta de esgoto (Figura 2). Apenas 55% do esgoto gerado no Brasil é coletado e destes, apenas 28% são tratados (IBGE, 2010).

**Figura 2 - Prestadores de serviços de esgotamento sanitário no Brasil:
população e municípios atendidos**



Fonte: ANA, 2017.

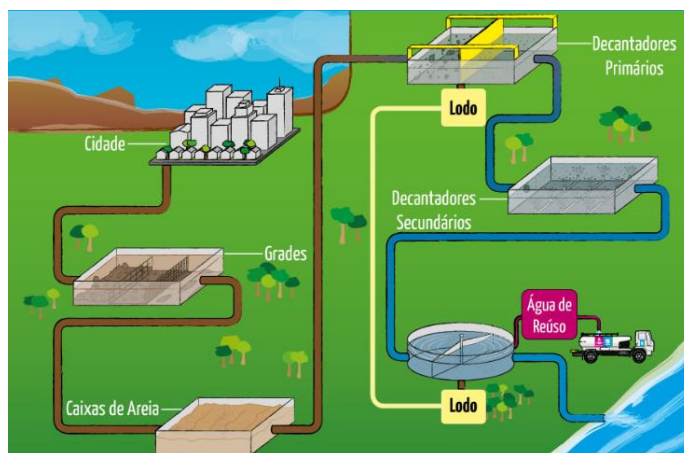
Do montante do esgoto gerado no Brasil, apenas 45% recebe o devido tratamento. Os 55% restantes, equivalente a 5,2 bilhões de metros cúbicos por ano de esgoto são lançados diretamente na natureza sem tratamento algum (G1, 2018).

Tendo em vista a expressiva quantidade de poluentes que são lançados diretamente na natureza sem o devido tratamento, comprometendo diretamente a saúde de milhares de brasileiros, que por sua vez é um direito garantido pela Constituição Brasileira, o Brasil assumiu como meta, em 2015, o compromisso de garantir o acesso à água e ao esgotamento sanitário a toda a população até 2030, conforme estabelecido nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) (Portal APEOP, 2019; O GLOBO, 2018; TRATA BRASIL, 2020).

De acordo com o exposto, a porcentagem do esgoto que recebe, de fato, um tratamento adequado, passará por algumas etapas a fim de remover os poluentes destas águas. O tipo de tratamento utilizado dependerá das características físicas, químicas e biológicas do esgoto. Na região Metropolitana de São Paulo, o método

empregado é por lodos ativados, na qual ocorre a separação da fase líquida e da fase sólida (SABESP) (Figura 3).

Figura 3 - Tratamento de esgoto na região Metropolitana de São Paulo



Fonte: SABESP, 2024.

Lodo Ativado é um método biológico utilizado nas estações de maior capacidade de tratamento. O processo remove a matéria orgânica com uma eficiência de aproximadamente 90% e separa o material em duas partes: a líquida e a sólida. Após o processo de depuração da matéria orgânica nos tanques de aeração, e do processo de sedimentação das partículas sólidas que ocorre nos decantadores secundários, o efluente clarificado é devolvido ao meio ambiente.

A fase sólida diz respeito ao tratamento e disposição da massa biológica, chamada de lodo, gerada durante o tratamento. Nesta etapa, são adicionados produtos químicos ao lodo para condicionamento e desaguamento em centrífugas ou filtros-prensa para aumentar o teor de sólidos para transporte e disposição final em aterros sanitários aprovados pelo órgão ambiental (SABESP).

Considerando a expressiva quantidade de lodo tratado gerada nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), volume este, que tende a aumentar à medida que os serviços de saneamento básico sejam ampliados em todo o Brasil, conforme previsto na Constituição Federal, é de suma importância que os lodos tratados possuam um destino alternativo, com a finalidade de desafogar os aterros sanitários, tal como promover o uso sustentável destes dejetos e proporcionar economia de fertilizantes químicos, tendo em vista o grande potencial que o uso de lodo de

esgoto tratado possui para a agricultura (EMBRAPA, 2018; Bittencourt. *et al*, 2017; SANEPAR&PROSAB, 1999).

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização experimental

O trabalho experimental foi instalado e conduzido em casa de vegetação, localizada no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Botucatu-SP (Figura 4). O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas latitude 22°50'48" S, longitude 48°26'07" W, e altitude 817 m.

De acordo com o método proposto por Köppen (1918) e adaptado por Setzer (1966), o clima de Botucatu-SP foi identificado com Aw, com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos (Franco *et al.*, 2023).

Figura 4 - Localização da casa de vegetação



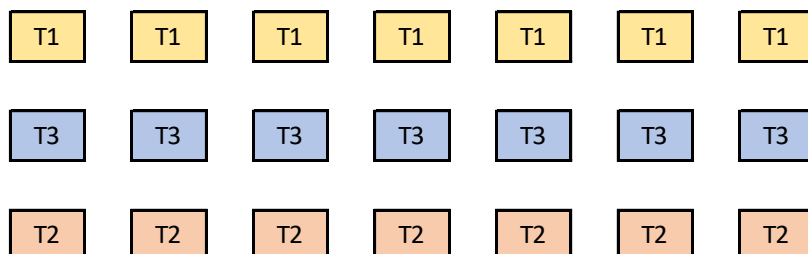
Fonte: Google Earth, 2024.

2.2.2 Delineamento experimental

O experimento foi instalado em vasos de plástico com capacidade de 20 litros. O delineamento experimental utilizado foi em formato DIC – Delineamento

Inteiramente Casualizado, contendo 3 tratamentos e 7 repetições, totalizando 21 parcelas experimentais, cada parcela experimental foi formada por 2 plantas.

Figura 5 - Croqui da área experimental



Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2025.

Cada tratamento foi descrito da seguinte forma: Tratamento 1: Controle (o vaso foi preenchido com solo em sua totalidade – 100%); Tratamento 2: 50% lodo de esgoto tratado - LET (o vaso foi preenchido com LET em 50% e 50% solo) e Tratamento 3: 10% de LET (o vaso foi preenchido com 10% de LET e 90% de solo).

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho distrófico de textura franco argilosa. Os tratamentos consistiram nesta distribuição devido ao fato de alguns autores como Faustino *et al.* (2005), Afáz *et al.* (2016) e Lopes *et al.* (2005) trabalharem com doses similares aos do presente estudo, porém com localizações e resultados que evidenciam a possibilidade de novas pesquisas, sendo, portanto, testadas no presente trabalho nas dosagens descritas e no município de Botucatu-SP.

O lodo de esgoto tratado utilizado no presente experimento foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) localizada na Fazenda Lageado – UNESP de Botucatu-SP, onde já se encontrava devidamente compostado de acordo com a metodologia proposta por Silvia *et al.* (2017), atendendo todas as exigências e parâmetros estabelecidos pela Instrução Normativa Nº 61, de 08 de julho de 2020, (MAPA, 2020).

2.2.3 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi composto por três mangueiras gotejadoras, com emissores fixados internamente. Cada mangueira foi conectada a um registro individual, possibilitando o controle da lâmina de irrigação de cada

tratamento separadamente. Os emissores apresentavam espaçamento de 60 cm entre si, com vazão de 1,2 L.h. Todo o sistema estava acoplado a uma bomba hidráulica de 4 CV.

A metodologia para avaliação da uniformidade do sistema de irrigação foi baseada nos índices do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen - CUC (Christiansen, 1942) (Equação 1) e Coeficiente de Uniformidade de Distribuição - CUD (Merriam e Keller, 1978).

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Q_i - Q|}{n Q} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Em que:

CUC = Coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

Q_i = Vazão coletada em cada gotejador, em L.h⁻¹;

Q = Média das vazões coletadas de todos os gotejadores, em L.h⁻¹;

n = Número de gotejadores analisados.

$$CUD = \left(\frac{Q_{25\%}}{Q_{média}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

Em que:

CUD = Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, em %;

$Q_{(25\%)}$ = Média de 25% do total de gotejadores com as menores vazões, em L.h⁻¹;

$Q_{média}$ = Média das vazões coletadas nos gotejadores na subárea, em L.h⁻¹.

Os valores das lâminas aplicadas pelos emissores (Tabela 1) foram coletados e utilizados no cálculo dos coeficientes de uniformidade, por meio das equações de CUC e CUD.

Figura 6 - Lâmina ($L.h^{-1}$) coletada dos emissores do sistema de irrigação

T1 - Controle	T2 - 50% LET	T3 - 10% LET
1,59	1,32	1,8
1,5	1,8	1,95
1,59	1,68	1,2
1,65	1,8	1,62
1,71	1,56	1,38
1,56	1,68	1,56
1,65	1,56	1,38

LET: Lodo de esgoto tratado

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2025.

De acordo com os dados obtidos através das respectivas lâminas dos emissores das mangueiras gotejadoras, e conseguinte submissão nas fórmulas de CUC e CUD obteve-se os seguintes resultados:

CUC = 80,32%

CUD = 87,87%

Conforme a metodologia utilizada, tais resultados demonstram que o sistema atende a classificação de “bom” para os parâmetros de CUC, e excelente para os parâmetros de CUD, sinalizando índices tecnicamente satisfatórios para o uso do sistema de irrigação (Christiansen, 1942; Merrian e Keller, 1978).

2.2.4 Gerenciamento da água de irrigação

A metodologia da tensiometria (Bernardo, *et al.*, 2019), combinada com o método das pesagens (Klar *et al.*, 1966), foi utilizada no gerenciamento das águas de irrigação.

Aparelhos de tensiômetro foram instalados na profundidade de 15 cm, correspondente ao tamanho do sistema radicular efetivo da cultura. A tensão do solo no ponto de capacidade de campo (CC) é de 6 kPa, conforme EMBRAPA (2010).

Foram instalados 3 tensiômetros por tratamento. O monitoramento dos valores da tensão do solo (kPa) foi realizado utilizando um tensímetro digital móvel (marca Tensimeter), todos os dias, às 7 horas da manhã.

Para que não configure estresse hídrico em uma planta, existe um limite de água, denominado fator f ou água facilmente disponível para as plantas (AFD), que abrange a fração máxima de água disponível no solo que a planta é capaz de absorver. Tal fração, situa-se entre 30% e 70% da capacidade de água disponível (CAD) (FRIZONE, 2017).

Desta forma, a irrigação foi realizada de acordo com a leitura de 30 kPa da tensão do solo, representando (60% da CAD), repondo a água dos vasos de forma que a tensão retornasse a 6 kPa (CC) (EMBRAPA, 2017).

2.2.5 Análise química dos substratos

Após a instalação experimental, foram coletadas amostras de 150 g de cada um dos três tratamentos. As amostras foram homogeneizadas, secas, peneiradas e devidamente ensacadas. Em seguida, foram encaminhadas ao Laboratório de Análises Químicas do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas para posterior avaliação (EMBRAPA, 2017).

2.2.6 Plantio

Foram utilizadas mudas de alface (*Lactuca sativa* L.) variedade crespa itapuã super (028), que tem como característica folhas do tipo crespa, de coloração verde clara e tenras. Esta variedade apresenta plantas grandes, sendo indicada para cultivo o ano todo, principalmente em semeaduras de primavera e verão. Pode ser colhida aos 60-70 dias após a semeadura.

O plantio foi realizado às 17h do dia 12 de abril de 2024. Foram transplantadas 2 mudas por vaso, totalizando 2 plantas por parcela experimental. Como foram utilizados 3 tratamentos e 7 repetições, obteve-se 42 plantas úteis.

2.2.7 Condução experimental

Após o plantio da cultura, foi realizado o manejo da irrigação, com a coleta dos dados de tensão de água no solo (kPa) para cada tratamento. Também foi feito

o monitoramento da cultura, visando o controle de possíveis danos causados por pragas e doenças, bem como a avaliação da produtividade ao final do ciclo.

2.2.8 Análises de produtividade

Aos 35 dias após o transplântio (DAP), as plantas foram submetidas a análises de produção, tais como massa fresca (g), massa seca (g), peso fresco individual (g), índice de área foliar (LAI) da maior folha (cm^2/cm^2), número de folhas por planta (unidade), produção de massa fresca (t/ha), produção de massa seca (t/ha), composição nutricional da massa seca (%) e eficiência do uso da água (EUA), obtido através da razão entre a produtividade e a lâmina de utilizada no tratamento.

2.2.9 Analise de leitura indireta de clorofila

Com o clorofilômetro, modelo SPAD-502, aparelho desenvolvido pela Minolta no Japão (MINOLTA, 1989), foram realizadas análises não destrutivas com medições instantâneas do valor correspondente ao teor de clorofila na folha. Tal equipamento utiliza fotodiodos emissores em três comprimentos de onda: dois emitem dentro da banda do vermelho, próximos aos picos de cada tipo de clorofila (= 635 nm e 660 nm) e um outro no infravermelho próximo (= 880 nm). O equipamento foi utilizado conforme o manual do medidor eletrônico de teor clorofila (FALKER, 2008).

2.2.10 Análise de diagnose foliar

Após a coleta de dados de produtividade, as amostras serão submetidas ao procedimento de secagem em estufa de ventilação induzida a 65°C, para encaminhamento a análise nutricional feita no laboratório. Tal análise permitiu a avaliação do estado nutricional das plantas, a identificação de deficiências ou toxidez de nutrientes e a avaliação da necessidade de adubos ou ajustes no programa de adubação.

2.2.11 Análises do sistema radicular

O sistema radicular foi retirado do solo cuidadosamente, escavando o solo a aproximadamente 0,20 - 0,25 m ao redor do caule e 0,30 m em profundidade, assim, o sistema radicular foi exposto e o excesso do solo removido. As raízes foram imersas em recipiente com água e detergente neutro, na concentração de 5%, para limpeza do sistema radicular. Após a limpeza, as raízes foram submetidas ao método WinRHIZO, que consiste em um sistema de software de digitalização operado pelo scanner Epson Expression 10.000 XL (Epson America, Inc., Los Alamitos, CA, EUA), no qual o sistema radicular da planta é colocado para que o software meça automaticamente suas variáveis. Foram avaliadas as seguintes variáveis: comprimento total (cm); área superficial radicular (cm²); volume da raiz (cm³); diâmetro radicular médio (mm) e número de ramificações.

2.2.12 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise estatística, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, quando o valor de F foi significativo. As análises foram realizadas com o auxílio do software AgroEstat (Barbosa e Maldonado-Junior, 2010).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se um efeito significativo na eficiência do uso da água nos substratos contendo LET (Figura 7), em comparação ao tratamento controle. Verificou-se que a necessidade de irrigação diminuiu à medida que a dose de LET aplicada ao solo foi aumentada. De acordo com Bettiol e Camargo (2006), o biossólido, denominado lodo de esgoto, promove o melhoramento das condições físicas do solo, aumentando a retenção de água em solos arenosos e melhorando a permeabilidade e infiltração de água nos solos argilosos, mantendo uma boa estrutura e estabilidade dos agregados na superfície.

Figura 7 – Eficiência do uso da água nos diferentes tratamentos

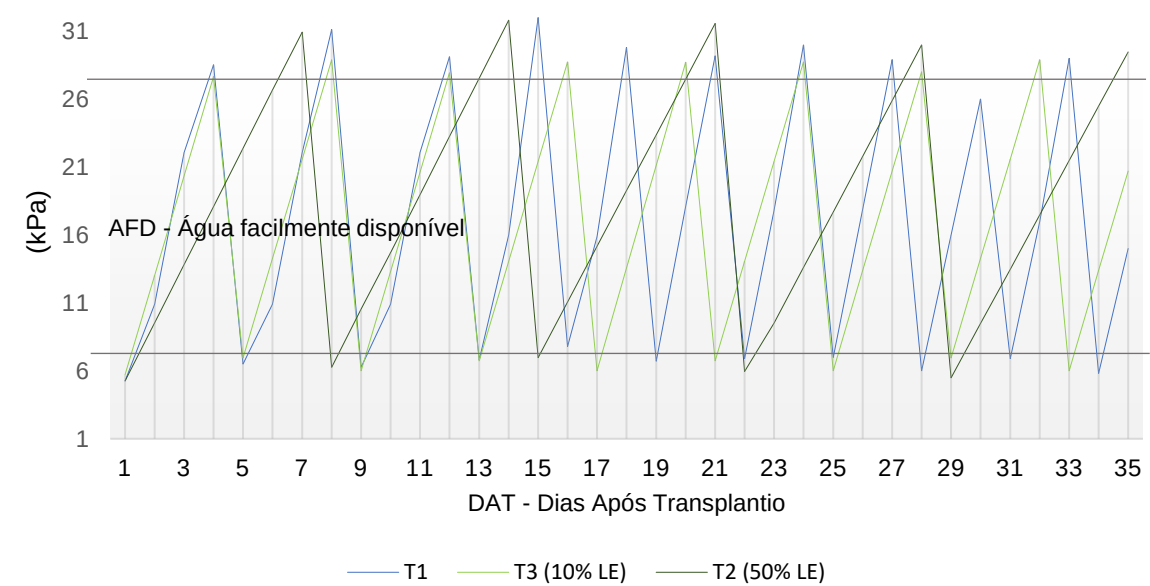
Tratamento	Produtividade (g)	Lâmina/ciclo (L)	Intervalo médio entre irrigação (dias)	Irrigações no ciclo	Eficiência do uso da água (g/L)
T1: Controle	14,09	12,61	3	10	01,11
T2: 50% LET	75,42	05,96	7	04	12,65
T3: 10% LET	59,90	10,24	4	08	05,87

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2025.

A necessidade de irrigação para repor a água na CC no T1 (controle) foi 10 vezes durante o ciclo, com intervalo médio de 3 dias, onde foram repostos 12,61 L de água. Já em T3, a irrigação se fez necessária 8 vezes, num intervalo médio de 4 dias, com uma lâmina de 10,24 L. Em T2, a aplicação da lâmina de irrigação foi realizada apenas 4 vezes durante o ciclo, sendo aplicado 5,96 L num intervalo médio de 7 dias (Figura 7).

O tratamento T2 apresentou a melhor eficiência no uso da água. Resultados semelhantes foram observados por Sampaio *et al.* (2012), que, ao trabalharem com lodo de esgoto em áreas de Neossolo Quartzarênico, constataram que o biossólido é capaz de promover uma melhor retenção de água, em função de maiores doses aplicadas em solos degradados.

Figura 8 - Tensão de retenção da água no solo (kPa) durante o ciclo da cultura (dias)

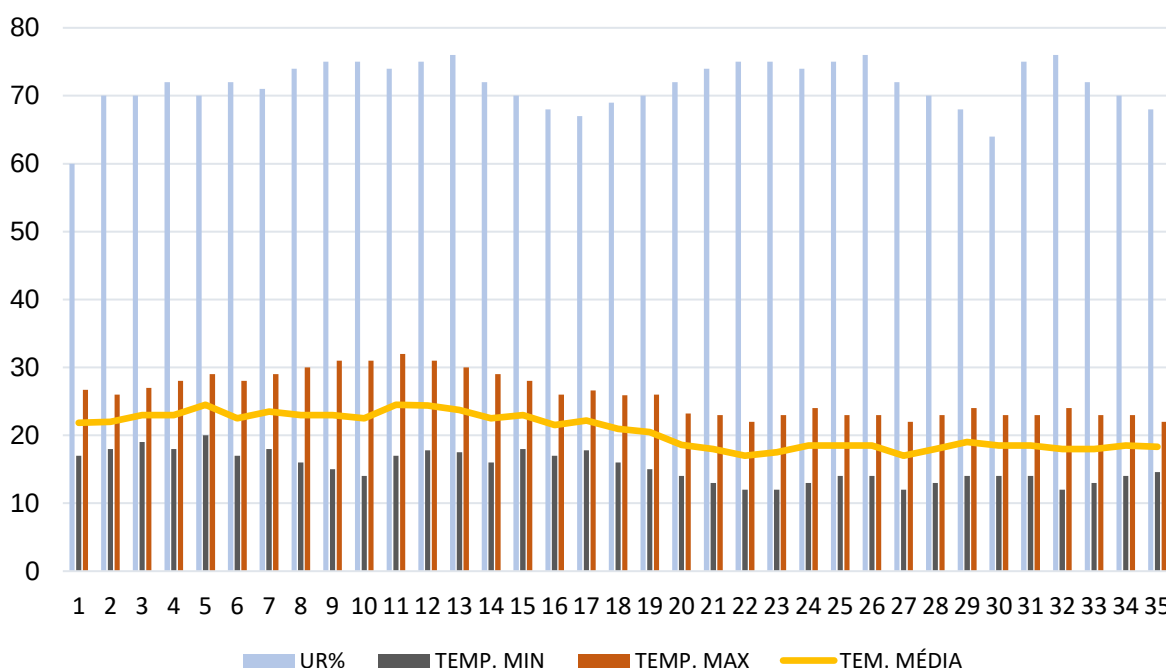


Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2025.

Com os tratamentos aplicados obteve-se uma economia nas águas de irrigação de 19,05% em T3 e 52,70% em T2. Sampaio (2012), explica que o efeito da aplicação do lodo na retenção de água depende do tipo de solo e da quantidade aplicada. Segundo Marciano *et al.* (2001), quando o solo originalmente possui boa estrutura, podem não ocorrer melhorias nos atributos físicos, mesmo com a aplicação de grande quantidade de lodo.

A variação dos valores das tensões (Figura 8) do solo está diretamente relacionada às condições climáticas locais (Figura 9), as quais influenciaram a evapotranspiração das plantas no interior da casa de vegetação.

Figura 9 - Distribuição da umidade relativa do ar (UR%), temperatura máxima, mínima e média (C°) durante o ciclo da cultura.



Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2025.

Os teores nutricionais dos elementos essenciais presentes nos tratamentos (Figura 10 e 11) proporcionaram influências significativas no desenvolvimento das plantas (Tabela 1). De acordo com as concentrações de 50% e 10% de LET, os elementos precisariam ser repostos realizando a complementação com adubação mineral em todos os tratamentos para alcançar o teto produtivo comercial, sendo em T1: 30 kg ha⁻¹ de N, 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 120 kg ha⁻¹ de K₂O, 1 kg ha⁻¹ de B, 0,5 kg ha⁻¹ de Cu e 0,5 kg ha⁻¹ de Zn; em T2: 30 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 80 kg ha⁻¹

¹ de K₂O, 1 kg ha⁻¹ de B e 0,5 kg ha⁻¹ de Cu; e em T3: 30 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 120 kg ha⁻¹ de K₂O, 1 kg ha⁻¹ de B e 0,5 kg ha⁻¹ de Cu (Cantarella et al., 2022).

Figura 10 - Resultado da análise química dos tratamentos – Parte I

Tratamentos	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	Na	K	Ca	Mg	SB	CTC
	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmolc/dm ³ -----							
Controle	5,7	13	72	0	18	-	0,9	42	14	56	74
50% LET	5,2	25	480	0	44	-	1,6	56	11	61	105
10%LET	5,3	14	249	0	23	-	1,0	54	5	68	91

Fonte: Laboratório de análises químicas - FCA, 2024

Ao passo em que se aumentou a dosagem dos tratamentos, a quantidade de adubo mineral recomendado para a cultura diminuiu. Resultados similares foram encontrados por Backes *et al.* (2013), em estudos com tapetes de grama esmeralda, onde a utilização do biossólido proporcionou vantagens no peso dos tapetes de grama.

Figura 11 - Resultado da análise química dos tratamentos – Parte II

Tratamentos	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		-----mg/dm ³ -----					
Controle	76	8	0,29	1,2	34	4,6	2,6
50% LET	58	293	0,35	1,2	85	12,4	27,3
10%LET	75	123	0,31	1,1	56	8,3	15,6

Fonte: Laboratório de análises químicas - FCA, 2024.

Os valores de pH tiveram um decréscimo conforme o teor de LET aumentou (Figura 10), este fato implica na absorção nutricional, Lopes (1989) destaca no Manual de Fertilidade do Solo que a maioria dos solos produtivos variam seus valores de pH entre 4,0 e 9,0, sendo necessária a correção via calagem quando tais valores estiverem fora da faixa ideal.

Contudo, para substratos de base orgânica, recomenda-se que o pH esteja entre 5,2 e 5,5 (Schmitz *et al.*, 2002). Meios de cultivo com pH menor do que 5,0 estão associados à deficiência de nutrientes nas plantas. Por outro lado, quando o pH ultrapassa 6,5, podem ocorrer problemas na disponibilidade de fósforo (P) e de micronutrientes, como ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) (KÄMPF, 2005).

Tais valores de pH, CTC, V% e quantidades nutricionais dos tratamentos (Figuras 10 e 11) explicam a efetiva absorção de nutrientes pelo sistema radicular

das plantas, proporcionando um desenvolvimento superior do peso da parte aérea, do número de folhas por planta e da área foliar, conforme o incremento das doses aplicadas (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros biométricos foliar avaliados aos 35 DAT

Tratamento	Peso médio da parte aérea (g)	Folhas por pé (un)	Área foliar (cm ²)	Medida Indireta de Clorofila
T1: Controle	14,09 c	13,14 b	83,53 c	19,27 b
T2: 50% LET	75,42 a	21,14 a	198,25 a	26,67 a
T3: 10% LET	59,90 b	24,28 a	142,67 b	20,61 b

médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2024.

A medida indireta da clorofila variou de forma significativa em relação às doses de LET. O clorofilômetro determina indiretamente a concentração de clorofila pela intensidade de coloração verde das folhas. Vários estudos têm demonstrado correlação entre a leitura do aparelho SPAD-502 e o teor de N na folha. Tais valores mostram alta correlação com a dose de nitrogênio aplicado via lodo de esgoto tratado em T2.

Nos resultados obtidos para o sistema radicular das plantas de alface, observou-se que o uso da dose de lodo de esgoto em 50% favoreceu o desenvolvimento das raízes quanto ao comprimento das raízes (cm), área superficial radicular (cm²), volume radicular (cm³) e o número de ramificações, quando comparado à dose de 10% e ao controle (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros biométricos radicular avaliados aos 35 DAT

Tratamento	Comprimento das raízes (cm)	Área superficial radicular (cm ²)	Volume radicular (cm ³)	Número de ramificações
T1: Controle	547,54 a	76,62 b	0,85 b	4720,42 c
T2: 50% LET	634,41 a	134,03 a	1,54 a	6329,71 a
T3: 10% LET	725,46 a	139,23 a	1,82 a	5663,00 b

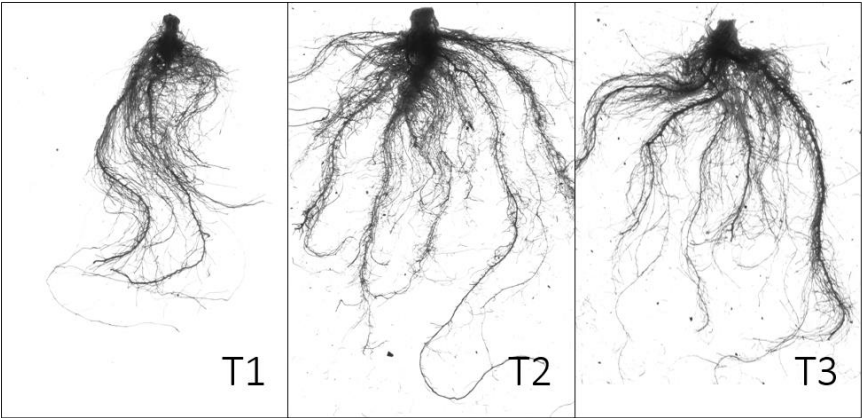
médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2024.

Nota-se que os tratamentos T2 e T3 obtiveram melhor desenvolvimento radicular (Tabela 2; Figura 12). Tal resultado está relacionado à eficiência no uso

dos nutrientes presentes no lodo compostado, que, por sua vez, ativa enzimas que estimulam a absorção e a quelação de alguns elementos, além de fornecer moléculas orgânicas promotoras do crescimento vegetal e modificar positivamente as características físico-químicas da maioria dos solos (Zandonadi *et al.*, 2014).

Figura 12 – Desenvolvimento do sistema radicular dos tratamentos submetidos a doses de lodo de esgoto tratado.



Fonte: WinRHIZO, 2024.

Na análise do tecido foliar foi possível observar as quantidades nutricionais absorvidas durante o ciclo da cultura (Figura 13).

Figura 13 – Teores totais de macro e micronutrientes no tecido foliar

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
T1: Controle	22	4,2	45	12	4,5	1,6	35	6	94	70	35
T2: 50% LET	26	3,5	14	15	4,1	1,9	36	9	104	386	216
T3: 10% LET	21	3,7	22	13	5,2	1,7	27	6	81	83	74

Fonte: Laboratório de análises químicas - FCA, 2023

De acordo com Malavolta *et al.* (1997), as quantidades dos macronutrientes absorvidos pela cultura da alface durante o seu ciclo de desenvolvimento são, N: 30 g/kg; P: 3,5 g/kg; K: 50 g/kg; Ca: 12,5 g/kg; Mg: 3,5 g/kg; S: 2,5 g/kg. Contudo, os nutrientes que não foram absorvidos em quantidades adequadas foram o nitrogênio, estando em déficit nutricional em 26,66% em T1; 13,33% em T2 e 30% em T3; o potássio em T1 com 10% abaixo do teor recomendado, 72% em T2 e 56% em T3; e

o enxofre, apresentando déficit deste elemento em 36% em T1, 24% em T2 e 32% em T3.

A não absorção potencial do N pode estar relacionada com os processos biogeoquímicos que envolvem diferentes formas iônicas de nitrogênio, como amonificação, desnitrificação e nitrificação. Com relação ao K, a absorção nutricional pode ter sido comprometida devido a relação de antagonismo que existem entre o K, Ca e Mg, sendo recomendado uma quantidade de 60 a 70% da CTC de Ca, de 10 a 20% da CTC de Mg e de 3 a 5% da CTC de K (Bull e Rosolem, 1989). Tendo em vista as análises, o tratamento que possui a relação de K, Ca e Mg mais adequadas é o T3, onde os teores de K, Ca e Mg estão com 1,09, 61,53 e 12,08% respectivamente. Contudo, com o aumento da dose, aumentou-se também a produtividade da cultura, podemos atribuir isto ao aumento no teor de N e aos benefícios físico-químicos trazidos pelo incremento de material orgânico no solo, elevando a produtividade em 76,47% em T3 e 81,31% em T2.

1.4 CONCLUSÃO

As melhores produtividades foram obtidas na presença de lodo de esgoto tratado em 50%.

O lodo de esgoto em 50% e 10% é capaz de reter a umidade do solo (até 30 kPa) por 7 e 4 dias respectivamente, nas condições climáticas de Botucatu-SP.

A economia das águas de irrigação utilizando lodo de esgoto, foi de 52,7% em T2 e 19,05% em T3.

REFERÊNCIAS

AFÁZ, D. C. S.; Bertolazi, K. B.; Viani, R. A. G.; Souza, C. F. **Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto**. Revista Ambiente e Água, vol. 12 n. 1 Taubaté-SP, 2017.

Agencia Senado. **Estudo aponta que falta de saneamento prejudica mais de 130 milhões de brasileiros**. 2022. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2022/03/estudo-aponta-que-falta-de-saneamento-prejudica-mais-de-130-milhoes-de-brasileiros>. Acesso em: 02.abr.2024.

ANA (Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico). **Atlas esgotos – Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Brasília – DF, 2017.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. AgroEstat – **Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos**, versão 1.0, Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2010.

BACKES, C.; Santos, A. J. M.; Godoy, L. J. G.; Villas Bôas, R. L.; Oliveira, M. R.; Oliveira, F. C. **Doses de lodo de esgoto compostado em produção de tapete de grama esmeralda imperial**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

BERNARDO, S.; Mantovani, E. C.; Silva, D. D.; Soares, A. A. **Manual de Irrigação**. 9ª edição, Viçosa, MG; ed UFV, 2019.

BETTIOL, W.; Camargo, O. A. **A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola**. EMBRAPA, Capítulo em livro científico – CPMA, 2006.

BITTENCOURT, S.; Mansur Aisse, M.; Monte S. B. **Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil**. Revista: Engenharia Sanitária e Ambiental v.22 n.6 nov/dez 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/jSf4HxFmndFtpHHPkHjnmHP/?lang=pt#>. Acesso em: 02.abr.2024.

BRASIL. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Dispõe sobre o estabelecimento das diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2007.

BRASIL. Lei Nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2000.

BRASIL. Portaria gm/ms nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2021.

BULL, L. T.; Rosolem, C. A. **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. Botucatu, São Paulo, 1989.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 212p. Bulletin 670.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Lanzetta, P. **Lodo de esgoto é ótimo componente de substratos para plantas**. 13/03/18. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/32485890/lodo-de-esgoto-e-otimo-componente-de-substratos-para-plantas>. Acesso em: 02.abr.2024.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária). **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª edição, Brasília-DF, 2017.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária). **Uso da Tensiometria no Manejo da Irrigação**. Documento 235, 2010.

FALKER. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. Porto Alegre, 2008. 33p. Disponível em: <<http://www.falker.com.br/produto-clorofilog-medidor-clorofila.php>>. Acesso em: 20. mai. 2024.

FAUSTINO, R.; Kato, M. T.; Florêncio L.; Gavazza, S. **Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de Senna siamea Lam**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, p.278-282, 2005 Campina Grande, PB.

FRANCO, J. R.; Dal Pai, E.; Calça, M. V. C.; Raniero, M. R. Dal Pai, A.; Sarnighausen, V. C. R.; Sánchez-Román, R. M. **Atualização da normal climatológica e classificação climática de Köppen para o município de Botucatu-SP**. Irriga, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 77-92, janeiro-março, 2023.

FRIZZONE, J.A. **Necessidade de água para irrigação**. ESALQ/USP, 2017. LEB 1571 - Irrigação Curso de Graduação em Engenharia Agrônômica – ESALQ/USP Piracicaba – SP. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Frizzzone/LEB_1571/TEXTOS_COMPLEMENTAR_2_-_NECESSIDADE_DE_AGUA_PARA_IRRIGACAO.pdf. Acesso em: 28.mai.2024.

Instituto Trata Brasil. **O Manual do Saneamento Básico: Entendendo o saneamento básico ambiental no Brasil e sua importância socioeconômica**. 2012.

KÄMPF, A.N. **Preparo do substrato para a produção de plantas ornamentais**. Produção comercial de plantas ornamentais. Guaíba: Agropecuária, 2005. p.45-88.

KLAR, A. E.; Villa Nova, N.A.; Marcos, Z. Z.; Cervellini, A. **Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens**. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Vol XXIII, Piracicaba-SP, 1966.

KÖPPEN, W. **Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf**. Petermanns Mitt, Gotha, v. 64, p. 193-203, 1918.

LOPES, A. S.; **Manual de Fertilidade do solo**. São Paulo, 1989.

LOPES, J. C.; Ribeiro, L.G.; Araújo, M.G.; Beraldo, M. R. B. S. **Produção de Produção de alface com doses de lodo de esgoto**. Horticultura Brasileira, Brasília, v.23. 2005.

MALAVOLTA, E.; Cesar Vitti, G.; Oliveira, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª edição. Piracicaba, São Paulo, 1997.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) Secretaria de Defesa Agropecuária, Instrução Normativa nº 61, de 08 de julho de 2020.

MARCIANO, C.R.; Moraes, S.O.; Oliveira, F.C. & Mattiazzo, M.E. **Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um Latossolo Amarelo saturado e não saturado**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2001.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan; Utah State University, 1978, 271p.

MINOLTA CAMERA Co. Ltd. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka: Minolta Radiometric Instruments, 1989. 22p.

NEIVERTH, C.A.; Dedeczek, R.A.; Curcio, G.R. **Estudo da lixiviação de fósforo em colunas de solos de subsuperfície de três pedossequências do Paraná**. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 28 de julho a 02 de agosto de 2013, Florianópolis-SC. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90950/1/Gustavo-CBCS-Estudo.pdf>. Acesso em: 09.abr.2024.

Portal APEOP. **É urgente universalizar o saneamento no Brasil**. 11 de abril de 2019. Disponível em: <http://www.portal.apeop.org.br/e-urgente-universalizar-o-saneamento-no-brasil/>. Acesso em: 02.abr.2024.

Portal G1. **Saneamento avança, mas Brasil ainda joga 55% do esgoto que coleta na natureza, diz estudo**. 18/04/2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/saneamento-avanca-mas-brasil-ainda-joga-55-do-esgoto-que-coleta-na-natureza-diz-estudo.ghtml>. Acesso em: 02.abr.2024.

Portal O GLOBO. Dimitrius Dantas. **Brasil reduz investimento em saneamento e deixa 100 milhões sem coleta de esgoto**. 18/04/2018. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/politica/brasil-reduz-investimento-em-saneamento-deixa-100-milhoes-sem-coleta-de-esgoto-22603400>. Acesso em 02.abr.2024.

Portal TRATABRASIL. **Ranking mostra grande distância para cumprimento das metas de saneamento básico**. 11/03/2020. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/outros/geral/ranking-metas-saneamento-basico/>. Acesso em: 02.abr.2024.

SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). **Tratamento de esgotos**. Disponível em:

<https://www.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=49>. Acesso em: 02.abr.2024.

SAMPAIO, T. F.; Guerrini, I. A.; Backes, C.; Athanázio Heliodoro, J. C.; Ronchi, H. S.; Tanganelli, K. M.; Carvalho, N. C.; Oliveira, F. C. **Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2012.

SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná); PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico). **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba-PR, 1999.

SCHMITZ, J.A.K. et al. **Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes**. Revista Ciência Rural, v.32, n.6, p.937-944, 2002.

SETZER, J. **Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai, 1966.

SILVIA, A. L.; Lourenço, C. L.; Villas Boas, R. L.; Tápia, M.; DAndréa Mateus, C. M. **Nova tecnologia com função mista para secagem e compostagem de lodo de tratamento de esgoto e atendimento aos parâmetros legais de disposição agrícola**. Congresso ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp. 2017.

ZANDONADI, D. B.; Santos, M. P.; Medici, L. O.; Silva, J. **Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças**. Revista Horticultura Brasileira, 2014.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal analisar a eficiência do uso da água utilizando duas fontes distintas de material orgânico, húmus de minhocas e lodo de esgoto tratado, em dosagens diferentes e avaliar o desenvolvimento produtivo das plantas de alface crespa a partir de doses nutricionais advinda destas mesmas fontes orgânicas, nas dosagens de 10 e 50%.

Após a condução experimental, foi comprovado a eficiência de ambas fontes de material orgânico, tanto o húmus de minhoca, quanto o lodo de esgoto compostado, onde o húmus de minhoca apresenta melhores condições nutricionais na dose de 10%. Com relação a retenção de água no solo, a umidade a nível de capacidade de campo se manteve durante 6 dias na dose de 50%.

O lodo de esgoto na dose de 50% proporcionou melhores valores produtivos devido ao teor nutricional e manteve a umidade do solo em capacidade de campo por 7 dias.

Se tratando de fontes de materiais orgânicos alternativos, é importante ressaltar a necessidade da destinação correta dos resíduos orgânicos domésticos, onde a vermicompostagem é uma opção ambientalmente correta, tendo em vista que tais resíduos, que seriam depositados nos aterros sanitários, contaminando este com o chorume produzido, recebem uma destinação adequada, produzindo adubos orgânicos, com muitos benefícios para a agricultura, assim como comprova a presente pesquisa.

O lodo de esgoto compostado utilizado na agricultura também é uma alternativa ambientalmente correta e de impacto potencialmente escalonável, tendo em vista que o Brasil coleta apenas 55% de todo o esgoto produzido, e destes, apenas 28% recebe, de fato, o tratamento adequado. Desta forma, é nítido a necessidade que o Brasil possui de coletar e tratar esgoto, e posteriormente realizar sua destinação de forma inteligente para que não sature cada vez mais os aterros sanitários.

Portanto a utilização de fontes alternativas de material orgânico propõe diversos benefícios ao solo, ao uso da água na agricultura, a nutrição de plantas, ao meio ambiente e proporciona também maior lucratividade ao produtor, uma vez que tal utilização acarretará na diminuição do uso de fontes de adubos minerais.

REFERÊNCIAS

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Agricultura regenerativa – o que significa, o que regenerar**. Pesquisa Desenvolvimento e Inovação, junho de 2024.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Benefícios da matéria orgânica dos solos em sistemas integrados**. Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação. Dezembro de 2023.

Gheler-Costa, C.; Lopes, J.; Mota da Cruz, G. **Agricultura regenerativa no Brasil: desafios e oportunidades**. Rio de Janeiro, 2023.

Instituto Robet Rodale. **Agricultura Orgânica Regenerativa**. 2025

LUTZENBERGER, J. A. **O absurdo da agricultura**. Estudos avançados, 2001.

PATERNIANI, E. **Agricultura sustentável nos trópicos**. Estudos avançados, 2001.

Viola, E.; Mendes, V. **Agricultura 4.0 e mudanças climáticas no Brasil**. Ambiente & Sociedade. São Paulo. Vol. 25, 2022.