

KARL AUGUSTE LEROY

**REUSO DE EFLUENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO
TRATADO EM FILTROS ANAERÓBIOS VERTICAIS APLICADO NA ALFACE
IRRIGADA POR GOTEJAMENTO**

Botucatu

2022

KARL AUGUSTE LEROY

**REUSO DE EFLUENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO
TRATADO EM FILTROS ANAERÓBIOS VERTICAIS APLICADO NA ALFACE
IRRIGADA POR GOTEJAMENTO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador(a): Prof. Dr. Rodrigo M. Sánchez Román

Botucatu

2022

L619r	<p>Leroy, Karl Auguste</p> <p>Reuso de efluente de estação de tratamento de esgoto tratado em filtros anaeróbios verticais aplicado na alface irrigada por gotejamento / Karl Auguste Leroy. -- Botucatu, 2022</p> <p>121 p. : il., tabs., fotos</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu</p> <p>Orientador: Rodrigo Máximo Sánchez Román</p> <p>1. água de irrigação. 2. agricultura. 3. contaminação. 4. hortaliças. 5. reutilização da água. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: REUSO DE EFLUENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO TRATADO EM FILTROS ANAERÓBIOS VERTICAIS APLICADO NA ALFACE IRRIGADA POR GOTEJAMENTO

AUTOR: KARL AUGUSTE LEROY

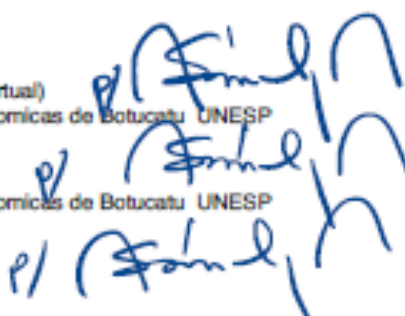
ORIENTADOR: RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu UNESP

Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu UNESP

Dr. JOÃO GABRIEL THOMAZ QUELUZ (Participação Virtual)
Química Inteligência Ambiental



Botucatu, 09 de junho de 2022

*Às pessoas mais importantes
de minha vida, meus amados pais,
Gertrude Marie Estriplet e Auguste Leroy,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Jeová, o grande Arquiteto do universo, pela saúde, coragem, determinação, bem como pela motivação e pela paciência que sempre me permitiu ter para realizar este trabalho.

Meus sinceros agradecimentos vão de maneira especial ao meu orientador científico, Prof. Dr. Rodrigo M. Sánchez Román, que concordou em me orientar e dirigir meu trabalho de pesquisa. A sua competência, paciência, disponibilidade e o seu rigor científico foram um suporte fundamental para que esta dissertação fosse um sucesso. Os meus agradecimentos dirigem-se de forma especial aos meus pais, pelo apoio ao longo do meu percurso acadêmico.

Meus agradecimentos são dirigidos de forma muito especial ao meu Prof. Dr. João Carlos Cury Saad por seus valiosos conselhos.

Os meus agradecimentos também aos docentes da FCA/UNESP e em particular aos do Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia por terem contribuído grandemente para a minha formação.

Gostaria de expressar minha gratidão às minhas irmãs (Marie André LEROY, Marie Roseline LEROY, Armande LEROY e Christine ESTRIPLET), à minha amiga Olphiara Rodolpheza Alexandre, aos meus amigos e colegas Letícia Thália Machado, Dolcin Djimy, João de Jesus Guimarães e Kevim Muniz pelo apoio que me deram para superar obstáculos difíceis.

O meu apreço e a minha gratidão vão para os meus camaradas do Programa de Bolsas Brasil PAEC OAS-GCUB (2020-2022).

Agradeço também a República Federativa do Brasil pela bolsa de estudo que me ofereceu e por me permitir obter meu mestrado em Irrigação e Drenagem.

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

RESUMO

A escassez dos recursos hídricos e a deterioração de sua qualidade são um grande desafio do século XXI. Nesse contexto, a busca por alternativas sustentáveis para manter e ampliar a produção agrícola global torna-se essencial para enfrentar esse reto. O reaproveitamento de águas residuárias tratadas é uma das possíveis soluções locais a serem implementadas para enfrentar os desafios específicos relacionados a escassez hídrica ou para adaptar-se às pressões sazonais sobre a água, sejam elas quantitativas ou qualitativas. Esta solução pode ser utilizada em conjunto com outras medidas de gestão equilibrada dos recursos hídricos. Mediante o exposto, objetivou-se, neste trabalho, avaliar os efeitos da disposição da água residuária tratada em filtros anaeróbios verticais em diferentes proporções na irrigação por gotejamento de um sistema solo / alface. O experimento foi conduzido em campo no Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia (DERS), da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), no município de Botucatu-SP, em delineamento inteiramente ao acaso, sendo constituído por cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram compostos por cinco diferentes proporções de lâmina de irrigação preparadas a partir de duas fontes de água, sendo uma de abastecimento (AA) e outra residuária tratada (ART), resultando em: T1 – 100%ART, T2 - 75%ART + 25%AA, T3 - 50%ART + 50%AA, T4 - 25%ART + 75%AA, T5 – 100%AA. Realizaram-se dois ciclos de cultivo de alface durante o período de setembro a dezembro de 2021 e os resultados obtidos foram analisados estatisticamente. Realizaram-se durante a condução do experimento análises físicas, químicas e microbiológicas na água residuária e na água de abastecimento. No final dos ciclos, foram realizadas análises biométricas, microbiológicas, e a análise nutricional foi realizada apenas no final do segundo ciclo. Nas amostras de solo, retiradas no início e no final de cada ciclo, foram realizadas análises de pH (CaCl₂), matéria orgânica (MO), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe). Todos os tratamentos permitiram a produção de alface de qualidade dentro dos padrões estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) no que diz respeito a contaminação por *Escherichia coli*, classificando as plantas produzidas como aptas ao consumo humano in natura. Em relação às análises não destrutivas, observou-se diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade entre

os tratamentos estudados apenas para a massa seca durante o primeiro ciclo de cultivo, sendo T4 (25% ART + 75% AA) o tratamento que apresentou melhor resultado. Quanto à análise nutricional das plantas não foram observadas diferenças nos teores dos nutrientes nas folhas das plantas produzidas. No entanto, os teores dos nutrientes fósforo, potássio, cálcio, magnésio e boro encontram-se abaixo das faixas de concentração adequadas para a cultura em todos os tratamentos. Nas propriedades químicas do solo dos diferentes tratamentos estudados no primeiro ciclo, observou-se aumento nas concentrações do fósforo, sódio, cálcio, cobre, ferro, zinco e redução nos teores de boro e da matéria orgânica em relação ao estado inicial. Quanto ao pH do solo e os elementos potássio e magnésio verificaram-se alterações nos diferentes tratamentos em relação ao estado inicial. No segundo ciclo, nos diferentes tratamentos estudados, houve aumento nas concentrações de fósforo, sódio, cobre, ferro, zinco, matéria orgânica e redução nos valores de pH, cálcio, magnésio e boro em relação ao estado inicial. Quanto ao elemento potássio, no segundo ciclo, verificou-se redução em todos os tratamentos estudados, exceto no tratamento T1 que houve aumento. Os resultados obtidos demonstram a possibilidade do uso da água residuária tratada em filtros aneoróbios verticais, como fonte de água e nutrientes para o cultivo de alface de qualidade para consumo humano, diminuindo as adubações com fertilizantes químicos comerciais e reduzindo os custos de produção, tornando a irrigação e o cultivo mais econômicos.

Palavras-chave: água de irrigação; agricultura; contaminação; hortaliças; reutilização da água.

ABSTRACT

The scarcity of water resources and the deterioration of their quality are a major challenge in the 21st century. In this context, the search for sustainable alternatives to maintain and expand global agricultural production becomes essential to face this challenge. The reuse of treated wastewater is one of the possible local solutions to be implemented to face the specific challenges related to water scarcity or to adapt to seasonal pressures on water, whether quantitative or qualitative. This solution can be used in conjunction with other measures for the balanced management of water resources. Based on the above, the objective of this work was to evaluate the effects of the disposal of treated wastewater in vertical anaerobic filters in different proportions in drip irrigation of a soil / lettuce system. The field experiment was carried out at the Department of Rural Engineering and Socioeconomics (DERS), Faculty of Agricultural Sciences (FCA) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), in the city of Botucatu-SP. It was a completely randomized design, consisting of five treatments and five repetitions. The treatments were composed of five different proportions of irrigation depths prepared from two sources of water, one being a supply (SW) and another wastewater (TWW), resulting in: T1 - 100%TWW, T2 - 75%TWW + 25%SW, T3 - 50%TWW + 50%SW, T4 - 25%TWW + 75%SW, T5 - 100%SW. Two lettuce cultivation cycles were carried out during the period from September to December 2021 and the results obtained were statistically analyzed. During the experiment, physical, chemical and microbiological analyzes were carried out in the wastewater and in the supply water. At the end of the cycles, biometric, microbiological and nutritional analyzes were carried out on the vegetable samples, the latter being performed only at the end of the second cycle. In the soil samples, taken at the beginning and end of each cycle, analyzes of pH (CaCl₂), organic matter (MO), phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K), sodium (Na), boron (B), copper (Cu), zinc (Zn), manganese (Mn) and iron (Fe). The treatments implemented allowed quality lettuce production within the standards established by National Health Surveillance Agency (ANVISA) with regard to contamination by *Escherichia coli*, classifying the plants produced as suitable for human consumption in natura. Regarding the non-destructive analyses, a significant difference was observed by the Tukey test at 5% of probability between the treatments studied only for the dry mass during the first cultivation cycle, with T4 (25%TWW + 75%SW) the treatment which showed the best result. Regarding

the nutritional analysis of the plants, no differences were observed in the nutrient contents in the plants' leaves. However, the contents of the nutrient's phosphorus, potassium, calcium, magnesium and boron were below the concentration ranges suitable for the crop in all treatments. The chemical properties soil for different treatments in the first cycle, showed an increase in the concentrations of phosphorus, sodium, calcium, copper, iron, zinc and a reduction in boron and organic matter contents in relation to the initial state. As for the soil's pH and the elements potassium and magnesium, alterations were verified in the different treatments in relation to the initial state. For the second cycle, in the different treatments studied, there was an increase in the concentrations of phosphorus, sodium, copper, iron, zinc, organic matter and a reduction in the values of pH, calcium, magnesium and boron in relation to the initial state. As for the potassium element, in the second cycle, there was a reduction in all the treatments studied, except for the T1 treatment, which had an increase. The results obtained demonstrate the possibility of using wastewater treated in vertical anaerobic filters as a source of water and nutrients for the cultivation of quality lettuce for human consumption, reducing fertilization with commercial chemical fertilizers and reducing production costs, making irrigation and cultivation more economical.

Keywords: irrigation water; agriculture; contamination; vegetables; water reuse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição da água no planeta Terra	23
Figura 2 - Trado holandês utilizado na coleta das amostras de solo.....	48
Figura 3 - Área de plantio destorroada e limpa	49
Figura 4 - Área de plantio após preparo dos canteiros.....	49
Figura 5 - Área com calcário antes da incorporação ao solo.....	50
Figura 7 - Sistema de tratamento de água residuária instalado no Campus da FCA Unesp, Botucatu.....	52
Figura 8 - Esboço experimental.....	53
Figura 9 - Ilustração esquemática do sistema de irrigação instalado no Campus da FCA-UNESP, Botucatu	54
Figura 10 - Sistema de irrigação instalado no Campus da FCA-Unesp, Botucatu	54
Figura 11 - Disposição dos coletores no ensaio de distribuição de água pelos emissores.....	55
Figura 12 - Amostras de folhas preparadas para análise de coliformes totais e <i>Echerichia Coli</i>	63
Figura 13 - Dados diários de temperatura média e umidade relativa média do ar ao longo do primeiro ciclo de cultivo da alface, Botucatu-SP.....	66
Figura 14 - Dados diários de temperatura média e umidade relativa média do ar ao longo do segundo ciclo de cultivo da alface, Botucatu-SP.....	67
Figura 15 - Dados diários de evapotranspiração de referência (ET _o) e evapotranspiração da cultura (ET _c) ao longo do 1º ciclo de cultivo da alface, Botucatu-SP.....	68
Figura 16 - Dados diários de evapotranspiração de referência (ET _o) e evapotranspiração da cultura (ET _c) ao longo do 2º ciclo de cultivo da alface, Botucatu-SP.....	69
Figura 17 - Dados diários de precipitação (mm) e radiação solar global (MJ.m ⁻²) ao longo do 1º ciclo de cultivo da alface, Botucatu-SP	71
Figura 18 - Dados diários de precipitação (mm) e radiação solar global (MJ.m ⁻²) ao longo do 2º ciclo de cultivo da alface, Botucatu-SP	71
Figura 19 - Exemplares de alface produzida no primeiro ciclo	89
Figura 20 - Exemplares de alface produzida no segundo ciclo	89

Figura 21 - Valores médios da produtividade da alface em função dos diferentes tratamentos avaliados durante os dois ciclos de cultivo	90
Quadro 1 - Recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) sobre a qualidade microbiológica da água de reuso a ser aplicada na agricultura (1989 -2005)	31
Quadro 2 - Diretrizes do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) para uso agrícola de esgotos sanitários em relação a quantidade de coliformes e ovos de helmintos.....	32
Quadro 3 - Diretrizes para interpretação da qualidade das águas para irrigação.....	35
Quadro 4 - Diretrizes da United States Environmental Protection Agency (USEPA) para interpretação da quantidade de metais em água de irrigação	36
Quadro 5 - Fatores físicos, químicos e biológicos que provocam obstruções nos sistemas de irrigação localizada	39
Quadro 6 - Classificação da água de irrigação relacionada a seu potencial de obstrução em gotejadores	40
Quadro 7 - Critério geral para interpretação dos valores de CUD	42
Quadro 8 - Classificação do CUC para sistemas de irrigação por gotejamento	43
Quadro 9 - Critério para a interpretação dos valores de CUE	43
Quadro 10 - Recomendações de adubação mineral de plantio conforme análise do solo para alface	59
Quadro 11 – Parâmetros de qualidade da água avaliados e métodos adotados para análise	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas do solo (macronutrientes) da área experimental na profundidade 0 – 0,20 m antes do início da pesquisa	48
Tabela 2 - Características químicas do solo (micronutrientes) da área experimental na profundidade 0 – 0,20 m antes do início da pesquisa	48
Tabela 3 - Lâmina de irrigação de água residuária tratada (ART), de água de abastecimento (AA) e contribuição da precipitação efetiva na irrigação da alface, ao longo do período experimental	70
Tabela 4 - Valores de potencial de hidrogênio (pH) e condutividade elétrica (CE) do afluente e da água residuária tratada.....	73
Tabela 5 - Valores de sólidos totais (ST), de sólidos suspensos totais (SST) e de sólidos dissolvidos totais (SDT) no afluente e na água residuária tratada	74
Tabela 6 - Valores de nitrogênio total (NT) e de fósforo total (PT) no afluente e na água residuária tratada	76
Tabela 7 - Valores de potássio (K) no afluente e na água residuária tratada.....	78
Tabela 8 - Valores de demanda química de oxigênio (DQO) e de demanda biológica de oxigênio (DBO) no afluente e na água residuária tratada	79
Tabela 9 - Valores de coliformes totais (CT) e de coliformes fecais (<i>E. Coli</i>) (CF) no afluente e na água residuária tratada.....	81
Tabela 10 - Caracterização química da água de abastecimento utilizada no experimento e valores máximos de diferentes parâmetros na água de irrigação para hortaliças	82
Tabela 11 - Valores de coeficientes de uniformidade para os diferentes tratamentos no início do experimento	84
Tabela 12 - Valores de coeficientes de uniformidade para os diferentes tratamentos após o primeiro ciclo da cultura.....	84
Tabela 13 - Valores de coeficientes de uniformidade para os diferentes tratamentos no final do experimento	85
Tabela 14 - Resumo da análise de variância das variáveis não destrutivas no final do 1º ciclo de cultivo da alface (<i>Lactuca sativa L.</i>) em experimento conduzido em Botucatu-SP, no período de setembro-outubro/ 2021...	86

Tabela 15 - Resumo da análise de variância das variáveis não destrutivas no final do 2º ciclo de cultivo da alface (<i>Lactuca sativa</i> L.) em experimento conduzido em Botucatu-SP, no período de novembro-dezembro/ 2021	87
Tabela 16 - Resultados das análises microbiológicas das folhas para os diferentes tratamentos nos 1º e 2º ciclo	92
Tabela 17 - Disponibilidade de macronutrientes no solo na profundidade de 0 – 0,20 m antes e depois do cultivo	95
Tabela 18 - Disponibilidade de micronutrientes na profundidade de 0 – 0,20 m no solo antes e depois do cultivo.....	99
Tabela 19 - Valores médios de teores dos macronutrientes e micronutrientes nas folhas da alface após o 2º ciclo de cultivo	100

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivos	22
1.1.1	Objetivo Geral	22
1.1.2	Objetivos Específicos.....	22
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	Escassez hídrica.....	23
2.2	Reuso de água na agricultura	25
2.2	Tratamento de água residuária para irrigação.....	28
2.2.2	Qualidade do efluente doméstico na agricultura.....	30
2.3	Sistema de irrigação localizada por gotejamento	36
2.3.1	Irrigação por gotejamento com água residuária.....	38
2.3.2	Teste de uniformidade em sistemas de irrigação por gotejamento ..	41
2.3.2.1	Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD).....	41
2.3.2.2	Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC)	42
2.3.2.3	Coeficiente de Uniformidade de Estatístico (CUE)	43
2.4	Cultura da alface.....	44
3	MATERIAL E MÉTODOS	47
3.1	Localização e caracterização da área experimental.....	47
3.2	Clima.....	47
3.3	Classificação e caracterização do solo antes da aplicação dos tratamentos	47
3.3.1	Preparo inicial da área experimental	49
3.3.2	Calagem do solo.....	50
3.4	Água utilizada	51
3.5	Delineamento experimental.....	52
3.6	Sistema de irrigação	53
3.7	Avaliação da uniformidade do sistema de irrigação	55
3.8	Manejo da irrigação.....	57
3.9	Condução do experimento	58
3.10	Parâmetros Avaliados	60
3.10.1	Avaliação da qualidade das águas de irrigação	60

3.10.2	Determinação das variáveis relacionadas à cultura.....	62
3.10.2.1	Variáveis de crescimento e desenvolvimento.....	62
3.10.2.2	Análise de qualidade microbiológica das folhas	63
3.10.3	Análises químicas solo após a colheita	64
3.10.4	Análises químicas das folhas	64
3.11	Análises estatísticas.....	64
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4.1	Dados climatológicos medidos e estimados.....	66
4.1.1	Temperatura e umidade relativa do ar.....	66
4.1.2	Uso de água e evapotranspiração	68
4.1.3	Precipitação e radiação solar global	70
4.2	Avaliação do sistema de tratamento de água residuária	72
4.2.1	Características físico-químicas do efluente bruto e tratado	72
4.2.2	Parâmetros bioquímicos	79
4.2.3	Parâmetros microbiológicos.....	80
4.3	Caracterização da água de abastecimento.....	81
4.4	Coeficientes de uniformidade do sistema de irrigação.....	83
4.5	Parâmetros de crescimento	86
4.6	Qualidade microbiológica e sanitária das plantas produzidas com água residuária de origem doméstica.....	91
4.7	Características químicas do solo após o cultivo	94
4.8	Análise da parte aérea da planta no final do segundo ciclo	100
5	CONCLUSÕES.....	104
	REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a vida e faz parte de praticamente todas as atividades econômicas, incluindo a produção de alimentos e a indústria (FGV EESP, 2016). Na Terra, a água doce representa apenas 2,6% da quantidade total de água. Dessa, cerca de 75% consiste de gelo, quase um terço consiste em águas subterrâneas e apenas 0,3% consiste de águas superficiais (lagos, rios, etc.) que são facilmente acessíveis. É essa água que garante grande parte da manutenção da vida no planeta (BICUDO; TUNDISI; SCHEUENSTUHL, 2010).

No último século, devido principalmente às atividades industriais do planeta, o consumo mundial de água aumentou mais do que o dobro da taxa de crescimento populacional. Muitos lugares estão chegando no limite, não sendo mais possível fornecer serviços confiáveis de abastecimento de água (BRITO; BRAGA; NASCIMENTO, 2010; PADEM, 2020). Estima-se que até 2025, 1,8 bilhão de pessoas viverá em países ou regiões com menos de 500 m³ de água por ano por habitante, ou seja, em condições de escassez absoluta, enquanto que dois terços (5.3 bilhões de pessoas) da população global estarão em situação de falta (SONNINO, 2011; CNULCD, 2014; ONU, 2020). Estes dados mostram que o crescimento populacional e o desenvolvimento socioeconômico exercem uma pressão sem precedente sobre os recursos hídricos.

Por um lado, o problema com o uso da água decorre do fato que a pequena proporção de água acessível não é distribuída de maneira uniforme em todo o mundo. Por outro lado, esse recurso é impactado pelas atividades humanas tais como: a agricultura que representa cerca de 70% da demanda global de água, seguida pela indústria (20% da demanda global) e usos urbanos (10% da demanda global) (REBOUÇAS, 2001).

De acordo com a Lei Federal nº 9.433/97 que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, em condições de escassez, a irrigação ocupa a terceira posição na ordem de prioridade do uso da água, atrás do consumo humano e a dessedentação de animais. Não deve, portanto, competir com a água destinada ao abastecimento, que sempre terá prioridade. No entanto, o setor de irrigação é o maior utilizador de água doce do país. Neste contexto, os recursos hídricos utilizados para irrigação são cada vez mais escassos e de má qualidade. Essa situação explica a

necessidade de adaptar as técnicas de irrigação existentes às condições atuais e futuras de escassez de água (SANTOS, 2019; DUARTE, 2006).

A utilização de alternativas, particularmente o reaproveitamento de águas residuárias tratadas na irrigação, tem sido amplamente estudada e recomendada como uma opção viável para atender as necessidades hídricas, além de enriquecer o solo com nutrientes (MONTEMURRO et al., 2017). Essa é uma solução promissora, pois traz muitas vantagens em termos econômicos e ambientais.

Muitos países estão envidando esforços para compensar a escassez e a poluição de seus recursos hídricos. Por exemplo, em diversos países ao redor do mundo como Malta, Espanha, Grécia, Tunísia, México, Israel, Alemanha, Austrália, China, Índia, Israel, França, Jordânia e Estados Unidos, o reuso de águas residuárias já é praticado com sucesso em grandes áreas (TAVARES, 2005; DUARTE et al., 2008; BEDBABIS et al., 2015).

As águas residuárias municipais e industriais tratadas tornaram-se um meio econômico para aumentar as quantidades disponíveis, especialmente se comparadas a alternativas onerosas, como dessalinização ou desenvolvimento de novas fontes de água que envolvam a construção de barragens, reservatórios e captação das águas subterrâneas. A reutilização da água permite concluir o ciclo da água próximo das cidades, produzindo uma água de melhor qualidade a partir de águas residuárias municipais e reduzindo a descarga destas no meio ambiente.

Segundo World Health Organization (WHO, 1989 apud DUARTE, 2006), as águas residuárias trazem muitas vantagens, tais como: possibilitar a economia de água, diminuir a poluição sobre o meio ambiente, alto poder fertilizante e produção de húmus. Nakayama et al. (2006) menciona que a reutilização das águas residuárias na irrigação de culturas consiste em uma opção vital para a diminuição da pressão que o setor agrícola exerce sobre os recursos hídricos e, além disso, permite a preservação da água potável para outros fins mais exigentes. O reuso oferece a possibilidade de reciclar e reaproveitar os nutrientes presentes nos efluentes, como também pode contribuir na diminuição dos impactos ambientais e dos custos com o descarte dos efluentes para os corpos de água naturais, sejam elas superficiais ou subterrâneas (URBANO et al., 2017; PITORO; 2019).

Apesar das inúmeras vantagens fornecidas pela aplicação de águas residuárias na irrigação, é importante destacar que se trata de um fluido possivelmente contaminado por microrganismos e metais pesados que podem causar

doenças nos seres vivos, por isso as recomendações existentes devem ser respeitadas para que a aplicação de efluentes seja realizada de acordo com os critérios que garantem a segurança das plantas, dos animais, dos trabalhadores e dos consumidores.

Para reduzir o risco de contaminação, recomenda-se que os efluentes sejam compatíveis com os parâmetros pré-estabelecidos pelas recomendações internacionais, tais como os dispostos pela Organização Mundial da Saúde (OMS). O tratamento das águas residuárias é, portanto, necessário antes do reaproveitamento para minimizar os riscos potenciais sobre as plantas, os trabalhadores e os consumidores de alimentos de forma a melhorar a qualidade da água para irrigação.

Diante da necessidade de buscar uma solução para o problema da escassez hídrica, a utilização das águas residuárias vem se tornando uma importante ferramenta na gestão dos recursos hídricos e nas políticas ambientais pelos benefícios que pode trazer. Segundo Fonseca (2001) e Tosetto (2005), a prática de reuso de águas residuárias na agricultura no Brasil é bastante incipiente e pouco estudada, ainda há pouca experiência em reuso planejado e institucionalizado, principalmente no que se refere as águas residuárias tratadas. À vista disso, escolheu-se estudar a alface devido a sua popularidade mundial, sua importância na alimentação diária dos brasileiros, sua facilidade de produção, sua riqueza em sais minerais e vitaminas, sua susceptibilidade a contaminação por água de baixa qualidade microbiológica quando irrigada, além disso, existem em âmbito nacional poucas pesquisas que avaliam o desempenho da alface irrigada com água residuária tratada.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar os efeitos da disposição da água residuária tratada em filtros anaeróbios verticais em diferentes proporções na irrigação por gotejamento de um sistema solo - alface.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ❖ Avaliar as características físicas, químicas e microbiológicas da água residuária tratada e da água de abastecimento;
- ❖ Verificar e comparar as variáveis biométricas e a produtividade da alface irrigada por gotejamento com diferentes proporções de lâmina de irrigação de água residuária tratada;
- ❖ Analisar os critérios de qualidade microbiológica e físico-química da alface (*Lactuca Sativa L.*) cultivada com diferentes proporções de lâmina de água residuária tratada;
- ❖ Avaliar as características químicas do solo antes e após as irrigações.

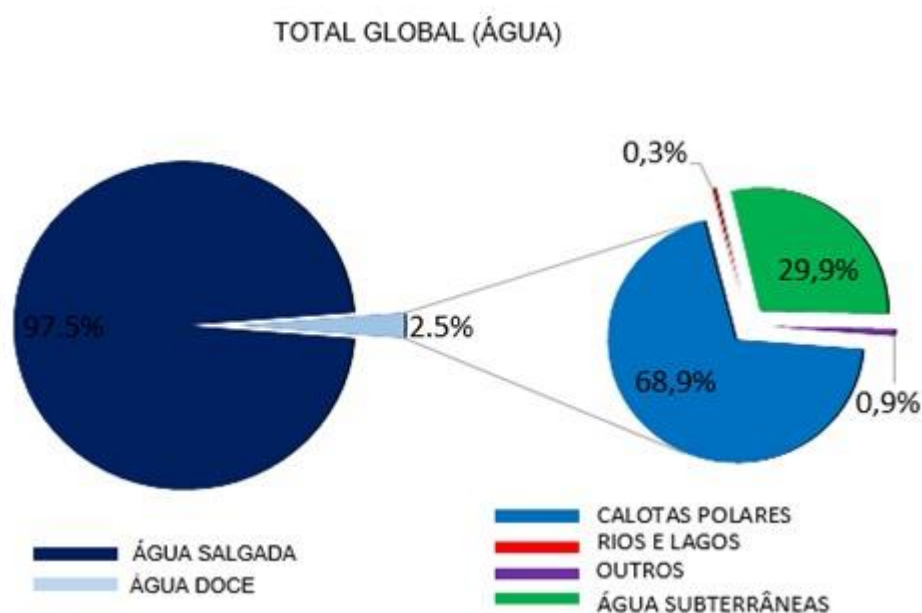
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Escassez hídrica

Quanto mais escassa, mais preciosa se torna a água em qualquer local do Planeta. A maior parte de água existente no Planeta Terra, a qual abrange 2/3 da superfície dele, cerca de 97,5% encontram-se nos mares e oceanos, e são inviáveis economicamente para abastecimento público ou usos agrícolas devido ao seu alto teor de sais. A água doce representa apenas 2,5% do total de água do planeta. Desses, 68,7% estão contidas nas glaciares e calotas de gelo localizadas em regiões montanhosas, 29,9% estão contidas no subsolo, e 0,9% constitui a umidade do solo e pântanos, e seu uso para o consumo humano não é economicamente viável (SHIKLOMANOV, 1998).

Assim, verifica-se que resta apenas 0,3% do volume total de água do planeta que pode ser utilizado para nosso consumo, desses, 0,01% encontrado em fontes superficiais (rios, riachos, lagos, lagoas, pântanos e etc.) e o restante, em nascentes subterrâneas (poços de nascente). No gráfico abaixo é apresentado a distribuição da água na Terra (TUNDISI, 2003; BRITO; PORTO; SILVA, 2007; CETESB, 2022).

Figura 1 - Distribuição da água no planeta Terra



Fonte: Brito, Porto e Silva (2007) – adaptado pelo autor.

De acordo com o relatório da Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF, 2017), mais de 2 bilhões de pessoas no planeta não foram atendidas com abastecimento de água tratada e mais que o dobro não tiveram *serviço* de saneamento seguro. Baseado nas projeções feitas pela instituição supracitada, nos próximos 30 anos a população global aumentará em 2 bilhões de pessoas, passando dos atuais 7,7 bilhões para 9,7 bilhões, a falta de água poderá afetar 5 bilhões de pessoas até 2050.

O crescimento contínuo da população mundial exige a produção de mais alimentos e energia para suprir as necessidades dos seres vivos. Em uma publicação feita em 2014, a ONU aponta que até 2030 a humanidade precisará de 35% a mais alimentos, 40% a mais água e 50% a mais energia. Segundo o mesmo relatório, até 2050 a demanda por energia e alimentos crescerá 60% e 70% respectivamente (AÇÃO CONSULTORIA AMBIENTAL, 2017).

Souza e Duarte (2014 apud FEITOSA, 2016) indicam que cerca de 70% da população mundial enfrentarão grandes dificuldades relacionadas à falta de recursos hídricos, por exemplo: degradação ambiental, rebaixamento do lençol freático e os conflitos pelo uso da água.

Atualmente já existem tensões entre vários países pelos recursos hídricos. Cita-se, a título de exemplo, o conflito entre a China e a Índia, onde a China anexou o Nepal no seu território para ter domínio dos principais rios que nascem justamente nesta região. Essa situação deixa os países como Tailândia, Camboja, Bangladesh, Vietnã e a Índia em confronto pelo uso da água. Estima-se que 80% da água utilizada pelos egípcios para uso doméstico e irrigação vem do Nilo. Por esse motivo, os outros países localizados nas margens do rio Nilo acusaram o Egito da monopolização das águas do rio, comprometendo assim sua sobrevivência.

Os principais motivos da escassez hídrica são: i) a distribuição dos recursos hídricos; ii) os impactos das mudanças climáticas; iii) o descaso das pessoas sobre a importância da preservação.

Países como Canadá, Brasil e Islândia têm em seus territórios muito mais água do que a demanda, enquanto outras regiões são extremamente secas, como a região do norte da China, do Oriente Médio e do norte da África.

O Brasil encontra-se em uma situação confortável quanto à disponibilidade de recursos hídricos em relação a outros países, pois o volume de água doce no país representa aproximadamente 12% da água disponível no planeta Terra, o que o

caracteriza como um dos países mais ricos em termos quantitativos (FAO, 2017). No entanto, há grande variação na distribuição da água em função da densidade populacional, pois a distribuição espacial dos recursos hídricos nem sempre corresponde às demandas locais. A região Norte, com apenas 7% da população brasileira, detém 68% da água doce do país; o Nordeste com 29% da população tem apenas 3%; na região Sudeste, a situação é ainda pior, pois 43% da população tem menos de 6% de água doce superficial disponível, ou seja, embora seja a mais populosa, concentra uma quantidade mínima desse recurso (PENA, 2020).

O aquecimento global afeta diretamente o ciclo da água, reduzindo a vazão dos rios, alterando a umidade do solo, o escoamento superficial e até mesmo os regimes de chuva. A água é um recurso finito, e apesar de sua natureza cíclica, seu desperdício é notável em todas as áreas. Estudos mostram que se houver continuidade do desperdício de água, haverá uma situação insustentável em um futuro próximo, devido à escassez de água (SILVA; SANTANA, 2014).

O crescimento populacional e, portanto, as diferentes atividades humanas alteraram o cenário natural, comprometendo o funcionamento da maioria das bacias hidrográficas. Além do uso intensificado da água, a própria dinâmica do seu ciclo faz com que a mesma não seja distribuída de maneira uniforme e constante, o que contribui e provoca a falta ou excesso no tempo e no espaço (TUNDISI, 2003).

As demandas de água doce e energia aumentarão consideravelmente nos próximos anos, provocadas pelas necessidades de populações e economias em crescimento, pela alteração nos estilos de vida e nos padrões de consumo, ampliando as pressões existentes sobre os recursos naturais e os ecossistemas limitados. As consequências resultantes serão mais graves em países em rápida transformação e rápido crescimento econômico, ou naqueles nos quais um grande segmento da população não tem acesso a serviços básicos, como saneamento.

2.2 Reuso de água na agricultura

A utilização de águas residuárias tratadas (ART) na agricultura é uma prática adotada desde antes de Cristo, reaparecendo na Grã-Bretanha e na Alemanha nos séculos XVI e XVII (VELOSO et al., 2004 apud SANTOS, 2015), sendo amplamente utilizada no final do século XIX e início do século XX. Esta iniciativa foi marginalizada com a aparição de novas tecnologias de tratamento e pelos riscos inerentes a esta

prática. No entanto, devido aos problemas de escassez hídrica em regiões áridas e semiáridas, as discussões sobre o tema voltaram e estão cada vez mais presentes nas recomendações e propostas (SANDRI; MATSURA; TESTEZLAF, 2009).

A disponibilidade de água está diminuindo em várias regiões do mundo. Isso se deve ao rápido crescimento populacional, que levou ao aumento da demanda por água para produção de alimentos, geração de energia elétrica, consumo, entre outros (TESTEZLAF; MATSURA; CARDOSO, 2002). Além do crescimento populacional, a degradação dos recursos hídricos também exerce grande influência na redução da disponibilidade.

Dados divulgados pela Organização das Nações Unidas (ONU) mostraram que cerca de 70% da água disponível no planeta é utilizada para irrigação, no Brasil esse índice chega a 72% (TERA, 2013). Suas publicações revelam que o crescimento do uso dos recursos hídricos é o dobro da taxa de crescimento da população mundial no último século. Considerando essas estatísticas, é possível perceber que a aplicação das águas residuárias na agricultura se apresenta como uma das principais propostas a serem aplicadas.

Um outro aspecto importante que torna as águas residuárias valiosas é o fato de que estas águas representam uma fonte confiável e estão disponíveis durante todo o ano, ao contrário das chuvas ou riachos sazonais. Dessa forma, o reaproveitamento dessas águas permite maiores rendimentos, produção durante todo o ano, e gera aumento do número de culturas que podem ser cultivadas, especialmente em áreas áridas e semiáridas (KERAITA et al., 2008).

Estudos realizados em Hubli-Dharwad mostraram que as águas residuárias permitem a irrigação das culturas durante a estação seca, quando os agricultores podem vender seus produtos duas a seis vezes mais caros do que o preço obtido na safra (HUNSHAL et al., 1997). As águas residuárias aplicadas via sistema de irrigação oferecem a possibilidade de aumentar o número de safras agrícolas e ter uma flexibilidade na escolha das culturas a serem plantadas (RASCHID-SALLY et al., 2005).

Segundo Bernardi (2003), entre as principais vantagens trazidas pelo reaproveitamento de águas residuárias na agricultura, pode-se citar a possibilidade de substituição parcial de fertilizantes químicos, o aumento significativo na produção de certas culturas, o uso sustentável dos recursos hídricos e uma economia na quantidade de água potável.

O reuso de água é atualmente uma importante alternativa para reduzir os impactos causados ao meio ambiente, provocados pelo lançamento inadequado e descontrolado de efluentes em corpos hídricos. Para a agricultura, além de fornecer água e nutrientes às lavouras, o reaproveitamento possibilita a reciclagem de nutrientes e o aumento da produtividade (BURBARELLI et al., 2010; PINTO et al., 2013).

De acordo com Guimarães (2018), vários estudos encontrados na literatura comprovam o potencial agrícola das águas residuárias quando devidamente aplicadas na agricultura. Um estudo realizado com efluente de esgoto doméstico na irrigação da cultura da cana-de-açúcar no município de Lins (SP), mostrou um crescimento na produção de 50% em relação ao manejo tradicional (THIAGO, 2009; LEAL et al., 2009).

Azevedo e Oliveira (2005), estudando os efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial, observaram um aumento de 41% na produção média total das plantas irrigadas com efluente em relação às irrigadas com água tratada.

Embora existam vários benefícios em utilizar águas residuárias na irrigação das culturas, é importante destacar que quando essa prática não é feita de forma adequada, pode prejudicar a saúde humana e o meio ambiente. Assim, o reuso de efluentes nos solos deve ser constantemente monitorado, pois o uso inadequado pode acarretar problemas de contaminação do solo e da água, degradação das características físicas do solo, diminuição da capacidade de absorção de água pelas plantas, promovendo toxicidade e estresse salino para as plantas e até mesmo a contaminação dos trabalhadores (BERTONCINI, 2008; QUEIROZ, QUEIROZ e ARAGÃO, 2015)

Posto isso, é muito importante conhecer as concentrações relativas dos elementos presentes nas águas residuárias, bem como as necessidades nutricionais das lavouras para não ultrapassar os níveis exigidos, pois além de comprometer a produtividade das lavouras, podem causar danos ao solo e às águas superficiais e subterrâneas (MATOS, 2014).

Azevedo e Oliveira (2005), Tavares (2006), Sandri; Matsura e Testezlaf (2009), Urbano (2013), Gomes (2016), Santos (2019), Sena, Ferreira e Silva (2020), têm demonstrado que o reuso da água causou alterações nas propriedades dos solos, tais como: concentração de nutrientes, matéria orgânica, pH, teor de sais, taxa de

absorção de sódio, condutividade elétrica, dispersão de argila e presença de coliformes totais.

O uso negligenciado das águas residuárias na agricultura pode causar muitos danos à saúde humana, às culturas e aos solos. Entre os riscos envolvidos no uso dessas águas, pode-se citar: a presença excessiva de nitrogênio e íons como sódio, boro e cloretos, que podem causar toxicidade em determinadas culturas com baixa tolerância, os riscos para a saúde do trabalhador e o consumidor de produtos irrigados devido à contaminação por microrganismos patogênicos presentes nas águas residuárias (ALMEIDA, 2010).

Considerando a situação de escassez de água em muitas partes do globo, os benefícios trazidos pela aplicação de águas residuárias na agricultura e o problema como um todo, a busca por soluções alternativas para o reuso da água continua sendo uma necessidade urgente.

2.2.1 Tratamento de água residuária para irrigação

As águas residuárias produzidas pelas indústrias ou resultantes dos esgotos domésticos urbanos são normalmente lançadas no meio ambiente (BATISTA; COSTA; OLIVEIRA, 2020). Para reduzir os impactos negativos dessa prática, os órgãos ambientais têm regulamentado padrões de qualidade para o lançamento de efluentes no meio ambiente e para determinados tipos de reuso.

As águas residuárias contêm altas concentrações de substâncias poluentes que, se não tratadas adequadamente, podem comprometer o meio ambiente. Quando lançadas em corpos d'água ou aplicadas nos solos agrícolas, essas águas podem prejudicar o desenvolvimento das culturas (HESPANHOL, 2003).

Nessa perspectiva, é de grande importância realizar o tratamento de efluentes, seja para lançamento no meio ambiente e/ou para reuso agrícola. Os processos de tratamento de efluentes visam essencialmente a redução dos elementos que irão gerar a emissão de substâncias poluentes na atmosfera, no solo ou nos corpos d'água.

De acordo com Bertocini (2008), o principal objetivo do tratamento de efluentes é reduzir a quantidade total de sólidos suspensos e dissolvidos, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a demanda química de oxigênio (DQO), e também exterminar o maior número possível de organismos patogênicos. Vale ressaltar que a

qualidade sanitária de um efluente depende do grau de tratamento ao qual foi submetido e da exigência para seu uso.

De maneira geral, segundo Nuvolari e Costa (2010), os sistemas convencionais de tratamento de efluentes, seja para laticínios, efluentes domésticos ou outras tipologias industriais, envolvem as seguintes etapas de tratamento: preliminar, primária, secundária e terciária.

Tratamento preliminar: corresponde à fase inicial do tratamento. Nesta etapa são utilizadas grelhas, telas, peneiras, caixa de areia e caixa de descarte de óleo e graxa. Objetiva-se com esse tratamento remover as partículas sólidas, como galhos, restos de material, detritos minerais, além de materiais insolúveis, como óleos e graxas. Ressalta-se ainda que este tratamento não apresenta eficiência na remoção de DBO, mas protege o sistema de irrigação contra entupimentos.

Tratamento primário: corresponde ao estágio intermediário, onde são utilizados tanques de decantação, clarificadores, reatores anaeróbios ou filtros aeróbicos para remover sólidos em suspensão não grosseiros, solutos flutuantes e reduzir a carga orgânica. Este tratamento tem eficiência de remoção de 60 a 70% de sólidos em suspensão, 30 a 40% de DBO e 30 a 40% de coliformes.

Tratamento secundário: corresponde à eliminação da matéria orgânica biodegradável presente nos sólidos em suspensão. Neste tratamento são utilizados lagoas de estabilização, lagoas facultativas, lagoas anaeróbias, biodigestores, reatores anaeróbios e zonas úmidas. Nessa etapa, ocorre a remoção da matéria orgânica por meio de ações bioquímicas favorecidas por bactérias, vírus e protozoários, que se alimentam de matéria orgânica, além de nutrientes como nitrogênio e potássio. A eficiência de remoção de DBO e coliformes varia de 60 a 99% e a eficiência de remoção de nutrientes se encontra na faixa de 10 a 50%.

Tratamento terciário: representa o tratamento de efluentes mais avançado, e também é o mais caro. Neste tratamento utiliza-se radiação ultravioleta, ozonização, osmose reversa. Nesta etapa ocorre a eliminação e/ou redução de nutrientes como nitrogênio e potássio, metais pesados, substâncias com alto grau de toxicidade e patógenos.

2.2.2 Qualidade do efluente doméstico na agricultura

A qualidade da água, assim como a quantidade, é de fundamental importância na agricultura irrigada, porém, segundo Krause e Rodrigues (1998 apud MENDES, 2004), esse aspecto foi ignorado por muito tempo. De acordo com Ayers e Westcot (1991), os atributos utilizados para avaliar a qualidade da água de irrigação devem levar em conta as características físico-químicas e biológicas que determinam sua conveniência ou não para o uso. A qualidade da água utilizada e a finalidade específica do reuso definirão os níveis de tratamento preconizados, as medidas de segurança a serem aplicadas e os custos de investimento, operação e manutenção associados.

Segundo Cordeiro (2001), os estudos de qualidade da água na agricultura visam indicar a adequação ou limitação de seu uso para fins de irrigação, que depende de suas características químicas, das propriedades físico-químicas do solo onde será aplicada, da sensibilidade e/ou resistência das culturas a serem irrigadas com essa água, mas também das propriedades do emissor hidráulico e do método de irrigação escolhido.

Os critérios e diretrizes adotados em diversos países de clima árido e semiárido para o uso de águas residuárias domésticas na agricultura geralmente estão associados ao risco de contaminação de trabalhadores e consumidores, e aos danos que podem causar ao solo. No Brasil ainda não há uma legislação específica que regule a questão de reuso efluentes na irrigação. Por consequência, as pesquisas realizadas são baseadas sobretudo nas recomendações de organismos internacionais e de autores que ajudam a definir uma forma segura no reuso de efluentes. No entanto, no país existe a Resolução CONAMA nº 357 de 2005, que estabelece valores máximos permitidos para um conjunto de usos, de acordo com as classes de água utilizadas para a classificação dos recursos hídricos (UMBUZEIRO; KUMMROW; REI, 2010).

Com base nos riscos e danos potenciais enumerados anteriormente, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu diretrizes para o uso mais seguro de efluentes na agricultura (Quadro 1).

Quadro 1 - Recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) sobre a qualidade microbiológica da água de reuso a ser aplicada na agricultura (1989 -2005)

Categoria	Tipos de irrigação e cultura	Helmintos (ovos L⁻¹)⁽¹⁾	Coliformes termotolerantes (org 100 mL⁻¹)⁽²⁾	Processo de tratamento
A	Culturas a serem consumidas cruas	≤ 1	≤ 1000	Lagoa de estabilização em série, ou tratamento equivalente em termos de remoção de patógenos
B	Culturas processadas industrialmente, cereais, pastagens, árvores ⁽³⁾	≤ 1	Sem recomendação	Lagos de estabilização com 8-10 dias de tempo de detenção ou remoção equivalente de helmintos e coliformes termotolerantes.
C	Irrigação localizada de plantas de categoria B na ausência de riscos para agricultores e público em geral	Não se aplica	Não se aplica	Pré-tratamento de acordo com o método de irrigação, no mínimo sedimentação primário

(1) Nematoides intestinais humanos: *Ascaris*, *trichuris*, *Necador* e *Ancylostoma*; média aritmética durante o período de irrigação.

(2) Média geométrica durante o período de irrigação. (3) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve terminar duas semanas antes da colheita e nenhum fruto deve ser apanhado do chão; irrigação por aspersão não deve ser empregada.

Fonte: Adaptado de OMS (1989) apud Florêncio et al., (2006).

Os pesquisadores do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) apresentaram sugestões de critérios microbiológicos para o reuso de água na agricultura baseando em pesquisas realizadas com foco na quantidade de coliformes e ovos de helmintos (Quadro 2).

Quadro 2 - Diretrizes do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) para uso agrícola de esgotos sanitários em relação a quantidade de coliformes e ovos de helmintos

Categoria	CT_{er}⁽⁴⁾ 100 mL⁻¹	Ovos helmintos L⁻¹	Observações
Irrigação irrestrita	$\leq 1 \cdot 10^3$	≤ 1	$\leq 1 \times 10^4$ Cter 100 m L ⁻¹ no caso de irrigação por gotejamento de culturas que se desenvolvem distantes do nível do solo ou técnicas hidropônicas em que o contato com a parte comestível da planta seja minimizado.
Irrigação restrita	$\leq 1 \cdot 10^4$	≤ 1	$\leq 1 \times 10^5$ CTer 100 m L ⁻¹ no caso de existência de barreiras adicionais de proteção ao trabalhador, é facultado o uso de efluentes (primários e secundários) de técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos, desde que associado a irrigação subsuperficial.

(4) CTer: Coliformes Termotolerantes

Fonte: Adaptado de Bastos et al. (2014).

As propriedades da água normalmente avaliadas para uso na irrigação são: Potencial de Hidrogênio (pH), Condutividade Elétrica (CE), Sais Totais Dissolvidos (TDS), Íons de Sódio (Na⁺), Potássio (K⁺), Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺), cloretos (Cl⁻), sulfatos (SO₄²⁻), carbonatos (CO₃²⁻) e bicarbonatos (HCO₃⁻). Em relação ao sistema solo-planta, a qualidade das águas residuárias para irrigação é avaliada levando-se em consideração seus níveis de salinidade, sodicidade e toxicidade.

Segundo Ribeiro et al. (2009), o conceito de salinidade se refere ao acúmulo excessivo de sais solúveis, sódio trocável ou ambos na camada superficial e também na estrutura interior do solo, alterando a produtividade das culturas. Os principais sais responsáveis pela salinidade da água de irrigação são: cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), sódio (Na⁺), potássio (K⁺), cloretos (Cl⁻), sulfatos (SO₄²⁻), bicarbonatos (HCO₃⁻) e CO₃²⁻.

A salinidade da água pode ser estimada pela condutividade elétrica que é um indicador muito utilizado para expressar a concentração de sais solúveis em água. O

cálculo da condutividade elétrica é rápida e tem excelente precisão para a maioria das águas (HOLANDA et al., 2016). Segundo Rhoades et al. (1992), o aumento da salinidade do solo pode ser considerado um risco potencial quando se utilizam águas residuárias, refletindo principalmente na diminuição da população das plantas e desenvolvimento das lavouras, com sintomas semelhantes aos causados pelo estresse hídrico.

Bonini et al. (2014) explicaram que a salinidade pode se manifestar por uma série de efeitos fisiológicos nas plantas cultivadas e no próprio solo. Portanto, o efeito da salinidade no desenvolvimento das plantas decorre das altas concentrações de sais dissolvidos na solução do solo, que reduzem seu potencial osmótico e hídrico, limitando a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas (ALVES et al., 2011).

No entanto, a qualidade do efluente para irrigação não deve ser avaliada considerando apenas sua salinidade, mas também a composição individual dos íons presentes, principalmente o sódio, devido ao seu efeito na permeabilidade do solo, na nutrição e toxicidade das plantas (SILVA et al., 2011; AYERS; WESTCOT, 1991).

Segundo Ayers e Westcot (1991), o Percentual de Saturação por Sódio (Na%) foi utilizado como parâmetro nas primeiras classificações de qualidade da água, através da equação (1) que estabelece a relação entre o cátion sódio e a soma dos cátions.

$$Na\% = \frac{100 * Na^+}{\sum Cations} \quad (1)$$

Em que:

Na⁺ – Concentração de sódio (meq L⁻¹).

∑ Cations – Soma dos cátions (meq L⁻¹).

Na% – Percentual de saturação por sódio.

No entanto, o parâmetro percentual de sódio foi marginalizado com a aparição da classificação proposta pelos pesquisadores do Laboratório de Salinidade, nos Estados Unidos, que utilizaram pela primeira vez o conceito de Razão de Adsorção de Sódio (RAS). Esse conceito foi empregado por Richards, pesquisador do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos de Riverside, Califórnia, em 1954, e desde então, foi amplamente utilizado. É muito útil e confiável para a caracterização

da água para fins de irrigação. A RAS é calculada usando a fórmula desenvolvida por Richards (1954) que é expressa da seguinte maneira:

$$RAS = \frac{N_a^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (2)$$

Onde:

Na^+ – Concentração de sódio na água de irrigação ($meq L^{-1}$).

Ca^{2+} – Concentração de cálcio na água de irrigação ($meq L^{-1}$).

Mg^{2+} – Concentração de magnésio na água de irrigação ($meq L^{-1}$).

As diretrizes geralmente empregadas para avaliar a qualidade da água de irrigação considerando o grau de restrição de uso em termos de salinidade, sodicidade e toxicidade de elementos químicos específicos são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Diretrizes para interpretação da qualidade das águas para irrigação

Problema potencial de irrigação	Unidade	Níveis de restrição para irrigação		
		Seguro	Moderadamente seguro	Perigoso
Salinidade (efeitos na disponibilidade de água para a cultura)				
CE	(dS m ⁻¹)	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
TDS	(mg L ⁻¹)	< 450	450 - 2000	> 2000
Salinidade (efeitos na disponibilidade de água para a cultura)				
Sódio				
Irrigação superficial	RAS	< 3	3 – 9	> 9
Irrigação por aspersão	meq L ⁻¹	< 3	> 3	
Cloreto				
Irrigação superficial	meq L ⁻¹	< 3	4 -10	> 10
Irrigação por aspersão	meq L ⁻¹	< 3	> 3	
Toxicidade iônica específica (efeitos a culturas sensíveis)				
Boro	mg L ⁻¹	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
Efeitos diversos				
Nitrato	mg L ⁻¹	< 5	5 - 30	30
Bicarbonato	meq L ⁻¹	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
pH		Intervalo Normal 6,5 – 8,5		

Fonte: Adaptado de Ayers e Westcot (1991).

Há também preocupações sobre os metais presentes na água para fins de irrigação, por isso utiliza-se as diretrizes da USEPA (2012) para esses parâmetros (Quadro 4).

Quadro 4 - Diretrizes da United States Environmental Protection Agency (USEPA) para interpretação da quantidade de metais em água de irrigação

Elemento	Máxima concentração para a irrigação (mg L⁻¹)
Alumínio	5,00
Arsénico	0,10
Berílio	0,10
Boro	0,75
Cádmio	0,01
Cromo	0,10
Cobalto	0,05
Cobre	0,20
Fluresto	1,00
Ferro	5,00
Chumbo	5,00
Lítio	2,50
Mangânes	0,20
Molibdênio	0,01
Niquel	0,20
Selênio	0,02
Vanádio	0,10
Zinco	0,20

Fonte: Adaptado de USEPA (2012).

2.3 Sistema de irrigação localizada por gotejamento

A irrigação por gotejamento foi definida por Merriam e Keller (1978) como um sistema que permite irrigar com baixo volume, baixa pressão, mas com alta frequência. A grande vantagem desse sistema, quando comparado com os outros, é que a água aplicada na superfície do solo se localiza no volume de solo onde se encontram as raízes das plantas. É o sistema mais eficiente na aplicação de água, porém, exige alguns requisitos na sua instalação, tais como: análise da qualidade da água; levantamento planialtimétrico; sistema de filtragem bem dimensionado, assistência técnica disponível (SENAR, 2019b).

De acordo com Silva (1996), as primeiras pesquisas sobre os sistemas de irrigação localizada iniciaram na década de 1930, quando foram utilizados tubos de aço perfurados. Com o surgimento do plástico, os estudos nesse campo se multiplicaram e hoje existem dois grandes tipos de sistemas de irrigação localizada, gotejamento e microaspersão. O desenvolvimento de novas técnicas de irrigação deu-se em Israel onde dezenas de empresas israelenses criaram tecnologia própria que se tornou produto de exportação (SILVA, 1996; MOURA, 2014). No Brasil, a primeira fábrica de equipamentos para irrigação localizada surgiu em 1972, e os componentes e acessórios produzidos foram utilizados na irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e pomares de citros (MENDES, 2021).

Dentre as vantagens da irrigação por gotejamento, destacam-se: a) Maior eficiência no uso da água; b) Recomendado para locais onde a água é escassa ou o seu custo de utilização é elevado e para regiões onde ocorrem períodos prolongados de seca; c) Maior eficiência na adubação; d) Maior eficiência no controle sanitário; e) Não interfere nas práticas culturais; f) Adaptação a diferentes tipos de solos e topografia; g) Pode ser usada com água salina ou em solos salinos; h) Economia de mão de obra; i) Capacidade de operar sob baixas pressões de serviço e, conseqüentemente, com menor conjunto de motobomba e consumo de energia quando comparada com outros sistemas (CURTIS et al., 1996; BERNADO, 2002; SILVA; SILVA, 2005).

Segundo Esteves (2012), em geral, maior produtividade é alcançada com irrigação por gotejamento em culturas que respondem a maiores teores de umidade do solo. Este sistema é sobretudo utilizado para culturas de alto valor econômico, tais como: pomares, cafeieras e hortaliças.

Contudo, a irrigação localizada por gotejamento apresenta algumas limitações como: elevado custo de instalação principalmente devido a necessidade de sistema de filtragem rigoroso para prevenir o entupimento dos emissores; favorecimento do acúmulo de sais próximo as culturas; desenvolvimento limitado do sistema radicular das plantas e necessidade de manutenção permanente do sistema.

2.3.1 Irrigação por gotejamento com água residuária

Nas últimas duas décadas, a forte pressão provocada pela escassez qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos gera a necessidade de o agricultor recorrer à utilização de água de qualidade inferior, como águas residuárias ou águas com elevados teores de sais. Como resultado dessa nova realidade, foram desenvolvidos novos e mais adequados sistemas de irrigação (SAN JUAN, 2000).

Dentre os sistemas de irrigação desenvolvidos, destaca-se a irrigação localizada, principalmente os sistemas de gotejamento, que são considerados mais adequados para aplicação de efluentes, pois minimizam o contato de água possivelmente contaminada com o agricultor ou com o produto a ser colhido (COSTA, 2006).

Assim, a aplicação de águas residuárias por irrigação localizada tornou-se uma opção eficiente para o uso racional da água na agricultura, por se tratar de um sistema que trabalha a baixa pressão e com alta eficiência. No entanto, existem algumas restrições quanto ao uso de efluentes na irrigação por gotejamento, principalmente devido ao entupimento dos gotejadores, por diversos motivos, tornando o entupimento um das principais dificuldades no uso e manutenção desses sistemas (ALMEIDA, 2009).

O entupimento dos emissores afeta a uniformidade da aplicação da água, reduzindo conseqüentemente a eficiência da fertirrigação, o que pode provocar uma grande diminuição de produtividade (LÓPEZ et al., 1992). As fontes causadores de entupimento nos sistemas de irrigação localizada, particularmente os de gotejamento, podem ter diversas origens, de natureza química, física e/ou biológica (Quadro 5)

Quadro 5 - Fatores físicos, químicos e biológicos que provocam obstruções nos sistemas de irrigação localizada

Físicos (Sólidos Suspensos)	Químicos (Precipitados)	Biológicos (Atividade Bacteriana)
<p>Partículas Inorgânicas: Areia, Silte, Argila, Resíduo plástico</p> <p>Partículas orgânicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Organismos aquáticos: Fitoplâncton, Zooplâncton, Caracol, Peixe • Organismos não aquáticos: Larva de inseto, Formiga, Aranha 	<p>Carbonatos de cálcio, Magnésio, Sulfato de cálcio, Metais pesados, Hidróxidos, óxidos, Carbonatos, silicatos e Sulfetos, Óleo e outros lubrificantes</p> <p>Fertilizantes: Fosfato, Amônia líquida, Ferro, Cobre, Zinco e Manganês</p>	<p>Filamentos, Lodos Deposições microbianas: Ferro, Enxofre, Manganês</p>

Fonte: Nakayama et al. (1978).

Nakayama et al. (1986) estabeleceram uma classificação da qualidade da água para irrigação por gotejamento que inclui os principais fatores envolvidos na obstrução de emissores (Quadro 6). Essa classificação permite em função da composição física, química e biológica da água, avaliar o risco potencial de obstrução dos emissores e, conseqüentemente, selecionar ou dimensionar o sistema de tratamento da água a ser adotado.

Para diminuir os riscos de entupimento dos tubos gotejadores, várias técnicas são recomendadas. Entre as práticas mais aceitas ambientalmente que são encontradas na literatura destacam-se a sedimentação, a utilização de sistema de filtragem, o aumento da pressão de serviço, a lavagem das linhas laterais e o controle da qualidade de água (PUIG-BARGUÉS et al., 2010).

Quadro 6 - Classificação da água de irrigação relacionada a seu potencial de obstrução em gotejadores

Fatores de entupimentos	Níveis de Risco		
	Baixa	Moderado	Severo
	Físico*		
Solidos em suspensao	< 50	50 - 100	> 100
	Químico*		
pH	< 7	7 - 8	> 8
Solidos dissolvidos	< 500	500 – 2.000	> 2.000
Ferro total	< 0,2	0,2 – 1,5	> 1,5
Manganês	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Sulfeto de hidrogeno	< 0,2	0,2 – 2,0	> 2,0
	Biológico*		
Pop.bact. (n° max mL⁻¹)	< 10.000	10.000 – 50.000	> 50.000

*Unidades dos parâmetros físicos e químicos estão em mg. L⁻¹.

Fonte: Nakayama e Bucks (1986).

Geralmente as medidas mais utilizadas na prática são a combinação de um tratamento químico, inspeção a campo e lavagem das linhas laterais. Gilbert e Ford (1986) relataram que a filtragem e a inspeção a campo são primordiais, e segundo Adin e Sacks (1991), estas podem prevenir o entupimento imediato devido às partículas relativamente grandes.

A lavagem de linhas laterais, ramais e linha principal pode reduzir o acúmulo de sedimentos, e o tratamento químico promove melhoria do desempenho do sistema de irrigação a longo prazo. Fato este comprovado por Nakayama et al. (1978), que examinaram cinco tratamentos ao longo de dois anos, constituídos pela associação de diferentes filtros e tratamentos químicos intermitentes e contínuos. Cabe mencionar que a adoção de uma ou de um conjunto de medidas deve ser feita com cautela, pois em alguns casos pode ser ineficaz, onerosa, trazer riscos à saúde humana ou levar a resultados indesejáveis, como a fitotoxicidade.

Em suma, é difícil encontrar a localização de entupimentos de emissores em sistemas de irrigação por gotejamento, assim como limpar o sistema ou substituir emissores entupidos. Por essas razões, Keller e Bliesner (1990) recomendam que os sistemas de irrigação sejam avaliados logo após a instalação e, onde as fontes são

efluentes, as avaliações devem ser sistemáticas, principalmente quando se trata de sistemas de irrigação por gotejamento, que são extremamente vulneráveis a mudanças e alteração das suas características operacionais ao longo do seu uso.

2.3.2 Teste de uniformidade em sistemas de irrigação por gotejamento

A avaliação da uniformidade em sistemas de irrigação na parcela desempenha um papel importante para assessorar os agricultores e fornecer as informações necessárias para melhorar o desempenho dos sistemas de irrigação e a condução da irrigação. Segundo Bernardo (2006), os três coeficientes mais utilizados para avaliar a uniformidade dos sistemas de irrigação são: o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE). A análise conjunta desses três coeficientes permite a melhor avaliação do desempenho de quaisquer sistemas de irrigação (SANTOS et al., 2013; RODRIGUES et al., 2013).

2.3.2.1 Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)

Segundo Lopes et al. (1992), para avaliar os sistemas de irrigação localizada instalados, o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), que leva em conta os 25% do total das observações com vazões menores em relação à vazão média aplicada, é o mais utilizado. O CUD é uma medida frequentemente utilizada como índice para detectar se há problemas com o abastecimento de água (FRIZZONE, 1992). Este coeficiente é calculado de acordo com a equação 3.

$$CUD = 100 * \left(\frac{q_{25}}{q_m} \right) \quad (3)$$

Em que:

CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição de água (em %);

q_{25} – valor médio dos 25% menores valores de vazões observadas nos emissores testados ($L \cdot h^{-1}$);

q_m - vazão média dos emissores testados ($L \cdot h^{-1}$).

Quadro 7 - Critério geral para interpretação dos valores de CUD

Classe	Uniformidade (%)
Excelente	> 90
Bom	80 - 90
Razoável	70 - 80
Ruim	< 70

Fonte: Adaptado Merriam e Keller (1978) e Mantovani (2001).

2.3.2.2 Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC)

Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006), o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) foi proposto por Christiansen (1942) para avaliação da uniformidade da aplicação por aspersão. Este coeficiente que descreve a uniformidade de irrigação é utilizado principalmente para medir a variabilidade espacial da lâmina de água aplicada pelo sistema de irrigação (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). A determinação do CUC em sistema de irrigação localizada por gotejamento pode ser feita através da equação (4).

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{nq_m} \right) * 100 \quad (4)$$

Em que:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen (em %);

q_i – vazão de cada emissor testado ($L \cdot h^{-1}$);

q_m – vazão média dos emissores testados ($L \cdot h^{-1}$);

n – número total de emissores testados.

Quadro 8 - Classificação do CUC para sistemas de irrigação por gotejamento

Classe	Uniformidade (%)
Excelente	> 90
Bom	80 - 90
Razoável	70 - 80
Ruim	60 - 70
Inaceitável	< 60

Fonte: Adaptado Mantovani (2001).

2.3.2.3 Coeficiente de Uniformidade de Estatístico (CUE)

Em 1947, Wilcox e Swailes propuseram um outro componente para medir a uniformidade, com uso em aspersão e microirrigação, denominado coeficiente de uniformidade estatístico. Eles utilizaram o desvio padrão como medida de dispersão usando a equação (5).

$$CUE = 1 - \frac{S_q}{q_m} \quad (5)$$

Em que:

CUE – coeficiente de uniformidade estatístico (em %);

Sq – desvio-padrão da vazão dos emissores testados (L.h⁻¹);

qm – vazão média dos emissores testados (L.h⁻¹).

Quadro 9 - Critério para a interpretação dos valores de CUE

Classe	CUE (%)
Excelente	> 90
Muito bom	80-90
Regular	70-80
Ruim	60-70
Inaceitável	<60

Fonte: Adaptado de Bralts (1986).

2.4 Cultura da alface

Originária de espécies silvestres em regiões do leste do Mediterrâneo, a alface (*Lactuca sativa*) é uma hortaliça pertencente à família Asteracea, a mesma da alcachofra, almeirão, chicória e escarola. Planta herbácea, é uma hortaliça caracterizada por suas folhas comestíveis e frágeis. A alface é uma planta composta, sua estrutura é de uma planta delicada, com caule diminuto ao qual se prendem as folhas, as quais são amplas e crescem em roseta, em volta do caule (FILGUEIRA, 2005).

A alface começou a ser cultivada por volta de 4.500 antes de Cristo, onde no antigo Egito, já havia relato de seu cultivo para alimentação animal e para extração de óleo das sementes (SANTOS, 2016). Essa hortaliça foi trazida para o Brasil pelos conquistadores portugueses no século XVI (TRANI et al., 2014; TAVARES, 2005). A alface é uma cultura produzida mundialmente e demandada pelos consumidores por seu alto teor de água. Além disso, fornece quantidades abundantes de vitaminas (A, C, E, B1, B2, B3) e minerais (fósforo, ferro, cálcio, potássio, etc.) (SANTOS, 2016).

Dentro do segmento de folhosas, a alface é a hortaliça mais consumida no Brasil e representa a terceira em maior volume de produção, ficando atrás somente da melancia e do tomate. A cultura movimenta um total de R\$ 8 bilhões no varejo, com uma produção de mais de 1,6 milhão de toneladas ao ano (ABCSEM, 2014). Quanto ao cenário mundial, com 55% da produção total mundial em termo de peso, a China é o maior produtor de alface, seguido pelos Estados Unidos que contribuem apenas com cerca de 16% da produção total em todo o mundo (SUPPORTIVY, 2021).

Segundo Carvalho (2017), a principal região produtora dessa hortícola é o centro sul do país. Entre os maiores estados produtores de alface no Brasil, São Paulo, com 137.000 toneladas em 8.000 hectares plantados, vem em primeiro lugar, seguido pelo Paraná (54.000 toneladas em 2.845 hectares) e Minas Gerais (18.000 toneladas em 1.192 hectares) (MAKISHIMA; MELO, 2005).

De acordo com Abaurre (2004), o período vegetativo que termina quando a folhagem da planta atinge o seu maior desenvolvimento *corresponde* a produção economicamente viável. Trata-se de uma cultura anual, florescendo sob dias longos e temperaturas elevadas na etapa reprodutiva do ciclo da cultura, que se inicia com o pendoamento (FILGUEIRA, 2005).

Segundo Makishima (1993), a alface é uma cultura que se desenvolve melhor em clima fresco, com temperatura ótima de crescimento entre 12 e 22°C. É importante saber que a alface é uma hortaliça mais resistente a baixas temperaturas (pode resistir até 7°C) do que a altas temperaturas (acima de 25°C as folhas ficam grossas, menores e a planta floresce com grande facilidade). De acordo com Brunini et al. (1976), para um bom desenvolvimento e uma boa produção da alface, a temperatura média mensal mais indicada deve estar entre 15 a 18°C, com máximo de 21 a 24°C e mínimo de 7°C. Abaixo de uma temperatura do solo de 7°C, o crescimento das raízes é muito mais lento, bem como a capacidade das raízes de absorver água do solo.

A alface possui sistema radicular principal, que pode atingir até 0,60 m de profundidade, quando cultivada em semeadura direta, mas quando conduzida em sistema de transplante, a planta explora apenas os primeiros 0,25 m de solo (FILGUEIRA, 2005). A maior densidade de raízes é encontrada na profundidade de 0 – 0,15 m (THICOÏPÉ, 1997), tornando-se a faixa mais importante para o estudo de irrigação e adubação (SANTOS, 2011).

A alface se contenta com solo de pH situa-se entre 6 a 6,8, e aprecia solo rico em matéria orgânica e com boa disponibilidade de nutrientes. Solos bem estruturados e profundos com boa capacidade de retenção de água são ideais ao desenvolvimento de seu sistema radicular (YURI et al., 2016). Quando necessário deve-se elevar a saturação de bases para 80%.

A alface é uma hortaliça folhosa bastante exigente em nitrogênio (N), fósforo (P), e potássio (K), e estes nutrientes participam em diversos processos metabólicos da planta. De acordo com Santos (2012), por ser composta basicamente por folhas, a alface é bastante dependente de nitrogênio, a deficiência deste elemento na planta atrasa o crescimento, perturba a formação da cabeça e provoca a clorose das folhas mais velhas. O potássio participa na divisão celular, na abertura e fechamento dos estômatos. (MALAVOLTA, 1996). Tratando-se do fósforo, este nutriente além de afetar o desenvolvimento da planta, pode interferir no equilíbrio nutricional da cultura (MOTA, 2003). Segundo Almeida et al. (2011), a deficiência de fósforo na alface provoca redução na altura, na área foliar e no número de folhas, com consequente redução na matéria seca (parte aérea e raízes) e na produção.

A alface deve ser semeada (em uma profundidade de 0,1 m) em bandejas ou em sementeiras, e transplantada para o campo por volta de 20 a 30 dias (ou quando as alfaces tiverem com 4-6 folhas). Segundo Filgueira (2005), na maioria das vezes,

pode-se colher a alface entre 40 a 70 dias após a semeadura, dependendo da variedade, do sistema de cultivo (semeadura direta ou transplante das mudas), da época de plantio (verão ou inverno), da cultivar utilizada e do sistema de condução (no campo ou sob abrigo). O momento ideal para colher as plantas depende não apenas das diferentes variedades, mas também das condições locais (clima, distâncias de plantio, peso de mercado alvo, fertilização, etc.). É aconselhável evitar a colheita de plantas muito maduras, pois suas folhas podem ter um sabor amargo, por isso é melhor colhê-las ainda jovens, pouco antes da maturidade quando apresentam cabeças firmes, bem formadas, folhas tenras e sem sinal de florescimento.

Segundo Filgueira (2005), a irrigação é um fator fundamental no cultivo da alface, sendo que deve ser aplicada com precisão de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta. Essa irrigação deve ser realizada de forma frequente e abundante devido a sua ampla área foliar que remete a evapotranspiração intensa. O teor de umidade do solo deve estar acima de 80% ao longo do ciclo da cultura e também na colheita para que esta tenha uma boa produção (SILVA, 2017). Experimentos realizados com irrigação mostram que o peso e a produtividade das plantas aumentam linearmente com a quantidade de água aplicada, até atingir a produção máxima, a partir da qual ocorre uma diminuição devido ao excesso de umidade do solo (FILGUEIRA, 2005).

De modo geral, a irrigação da alface pode ser realizada mediante o emprego de diferentes sistemas de irrigação. Entre os mais apropriados para essa hortaliça, tem-se os sistemas de irrigação por aspersão e localizado (microaspersão e gotejamento) (TRANI et al., 2014). Com base na grande exigência da cultura de alface por água e devido ao seu pequeno sistema radicular, concluiu-se que a irrigação por gotejamento é a irrigação mais adequada para essa planta. Esse sistema permite que a cultura seja irrigada de forma contínua e uniforme, evitando o encharcamento e mantendo a superfície do solo seca o suficiente para evitar a podridão do pescoço causada pelo ataque de fungos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Lageado, mais especificamente no Departamento de Engenharia Rural e Socioeconomia (DERS) da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) “Júlio de Mesquita Filho”, no município de Botucatu-SP, sob as coordenadas geográficas de 22° 50' 48" de latitude Sul e 48° 26' 06" de longitude Oeste, a uma altitude de 817,74 m.

3.2 Clima

O clima predominante da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, caracterizado por ser temperado quente (mesotérmico) úmido com verão chuvoso e inverno seco. O local apresenta uma média anual de temperatura do ar em torno de 20,3°C, sendo julho o mês mais frio do ano (17,1°C) e janeiro o mês mais quente (22°C). A pluviometria média anual da região é de 1428,4 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso (246,2 mm) e agosto o mês mais seco (36,1 mm) (CUNHA; MARTINS, 2009).

3.3 Classificação e caracterização do solo antes da aplicação dos tratamentos

O solo da área experimental, conforme à nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos de (EMBRAPA, 2018), pertence à classe do Latossolo Vermelho-escuro.

Para a caracterização química do solo, antes do início das atividades de campo, foram coletadas 20 amostras de solo na camada superficial de 0 – 0,20 m, de maneira que fosse representativa da área do estudo. As diferentes amostras foram retiradas por meio de um trado holandês (Figura 2). Uma amostra composta, foi enviada para análise química no Laboratório de Análises Agrícolas e Ambientais Ltda (AGRILAB), onde utilizou a metodologia descrita por Raji et al. (2001). Os resultados das análises

químicas do solo (Tabela 1 e Tabela 2) permitiram quantificar os fertilizantes e corretivos aplicados no solo antes do plantio.

Figura 2 - Trado holandês utilizado na coleta das amostras de solo



Foto: Karl Auguste Leroy, 2021.

Tabela 1- Características químicas do solo (macronutrientes) da área experimental na profundidade 0 – 0,20 m antes do início da pesquisa

pH	M.O.	P _{resina}	K	Ca	Mg	H + Al ³	S.B.	C.T.C.	V%
	----mg dm ⁻³ --		-----mmolc dm ⁻³ -----				-----mmolc dm ⁻³ -----		
	CaCl ₂			-			---		
5,2	21	14	1,94	29	12	27	43	70	61
-	-	Baixa*	Médio*	Alta*	Alta*	-	-	-	Médio*

*Fonte: Raij et al. (1997) e Ribeiro et al. (1999).

Tabela 2 - Características químicas do solo (micronutrientes) da área experimental na profundidade 0 – 0,20 m antes do início da pesquisa

S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
-----mg dm ⁻³ -----					
9	0,39	3	11	5,4	1,5
Médio*	Médio*	Alto*	Médio*	Alto*	Alto*

*Fonte: Raij et al. (1997) e Ribeiro et al. (1999).

3.3.1 Preparo inicial da área experimental

O preparo do solo foi realizado por meio de máquinas. As operações realizadas foram, uma aração de até 0,20 m de profundidade e uma enxada rotativa, de modo que o terreno foi destorroado e limpo (Figura 3). Procedeu-se em seguida ao confeccionamento dos canteiros com o auxílio de enxada, enxadão, rastelo, estaca e barbante. As dimensões dos canteiros foram de aproximadamente 0,60 m por 1,60 m (largura e comprimento), de modo que os canteiros conseguiram receber duas linhas de plantas com espaçamento de 0,30 m entre plantas e 0,20 m entre linhas (Figura 4).

Figura 3 - Área de plantio destorroada e limpa



Figura 4 - Área de plantio após preparo dos canteiros



3.3.2 Calagem do solo

O cálculo da calagem foi realizado de acordo com a saturação por bases (V%) obtida na análise dos atributos químicos do solo. Para a cultura de alface o V% por bases deve estar em 80% (TRANI et al., 1997; AGUIAR et al., 2014; TRANI et al., 2014). Os resultados da análise químicas (Tabela 1) mostraram que o V% estava em 61%. Além disso, o solo apresentava um valor de pH relativamente baixo considerando as exigências da cultura. Levando em conta essas informações, foi utilizado o calcário dolomítico, cujo poder relativo de neutralização do alumínio (PRNT) foi de 93% para corrigir a acidez do solo.

A aplicação do calcário no solo foi realizada 90 dias antes do transplântio das mudas de alface em campo (Figura 5). A quantidade de corretivo incorporada para neutralizar a acidez do solo foi de 1,43 t.ha⁻¹ e foi determinada através da Equação (6).

$$NC = \frac{T * (V_1 - V_2)}{PRNT} \quad (6)$$

Em que NC é Necessidade de calcário (t.ha⁻¹), T é a capacidade de troca catiônica a pH 7.0 (mmolc.dm⁻³), V₂ é a saturação de bases desejada (%), V₁ é a saturação de bases do solo (%), e PRNT é o poder relativo de neutralização.

Figura 5- Área com calcário antes da incorporação ao solo



Foto: Karl Auguste Leroy, 2021.

3.4 Água utilizada

O experimento foi realizado utilizando-se duas fontes distintas de água, sendo uma água residuária tratada com filtros anaeróbicos verticais e outra proveniente do sistema de abastecimento local.

A água residuária utilizada no experimento, oriunda da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), foi transportada sob demanda até o local do experimento em um tanque de 3.000 L de um caminhão-tanque. Esta água ficava acondicionada em um reservatório de polietileno de 5.000 L para ser utilizada no experimento.

Para tratar o efluente utilizado na irrigação da alface, foi adotado o sistema de tratamento proposto por Pitoro (2019). Este sistema foi composto por seis filtros fabricados em tambores plásticos de 200 litros cada, com 0,90 m de altura e 0,50 m de diâmetro interno, dispostos verticalmente e preenchidos com material de suporte de pedra britada #1 (diâmetro médio 14 mm). O nível da água foi mantido em cada filtro a aproximadamente 0.10 m da superfície. A porosidade média gerada pelo meio suporte foi de 48%, que corresponde a uma taxa de aplicação diária de 95 litros, e um tempo de detenção hidráulica de 4,76 dias (Equação 7). Os seis filtros foram conectados em série por um tubo rígido de PVC de 32 mm, mantendo assim o fluxo da água no sentido vertical e descendente.

$$TDH = \frac{V}{Q}$$

Em que, TDH – tempo de detenção hidráulica (dias); V – volume total do leito (m³); Q – vazão (m³ dia⁻¹).

O sistema de tratamento de água residuária - STAR (Figura 6 e 7) contava ainda com uma caixa d'água de 5.000 litros para a recepção e distribuição do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto de Botucatu (considerado afluente nesta pesquisa) para os barris através de uma tubulação de PVC com diâmetro de 50 mm equipado com um registro de gaveta, e uma caixa d'água de 150 litros para o recebimento da água residuária tratada (ART), denominada caixa receptora (CR).

Figura 6- Disposição do sistema de tratamento de água residuária

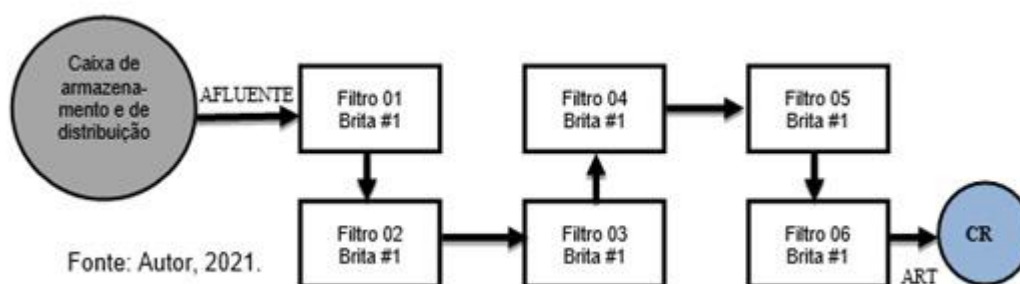


Figura 7 - Sistema de tratamento de água residuária instalado no Campus da FCA Unesp, Botucatu

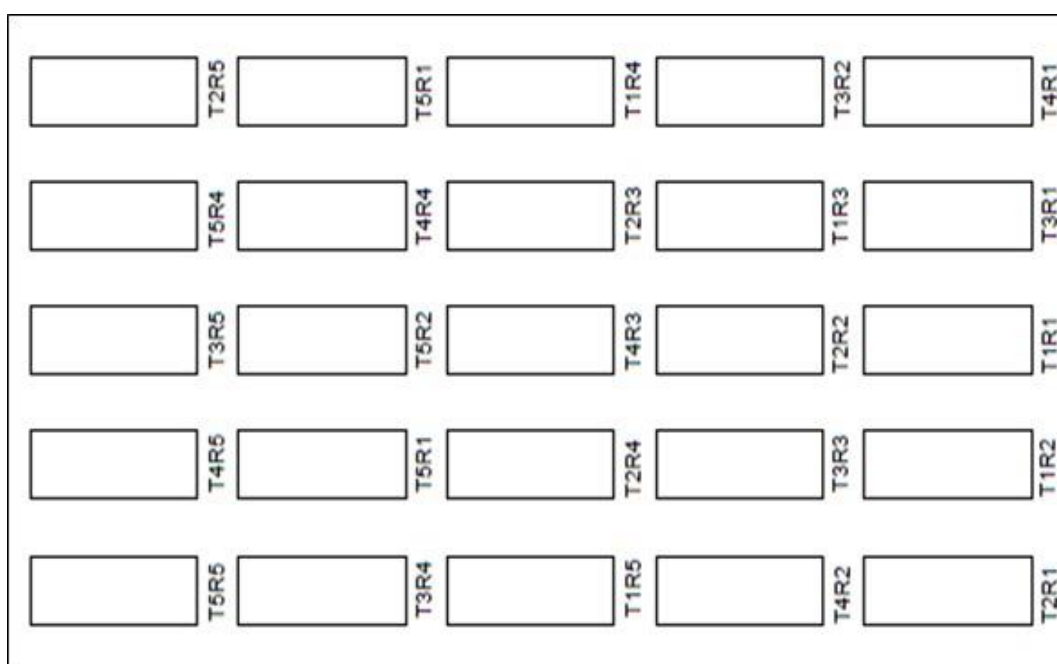


Foto: Karl Auguste Leroy, 2021.

3.5 Delineamento experimental

Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos (T) e cinco repetições (R) (Figura 8). Os tratamentos foram constituídos com cinco diferentes proporções de lâmina de irrigação de água residuária tratada (ART) combinadas com água de abastecimento (AA) nas porcentagens: T1 – 100%ART, T2 - 75%ART + 25%AA, T3 - 50%ART + 50%AA; T4 - 25%ART+ 75%AA; T5 –100%AA, sendo o T5 a testemunha para adubação química. Cada parcela foi composta por 8 plantas totalizando 200 plantas na área experimental.

Figura 8 - Esboço experimental



Fonte: Autor, 2021.

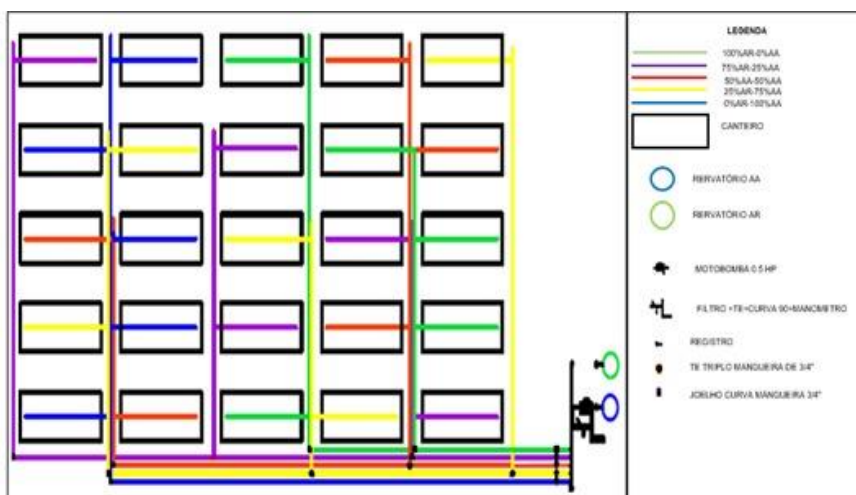
3.6 Sistema de irrigação

Para aplicação das diferentes proporções de lâmina de irrigação de água residuária tratada, combinadas com água de abastecimento local, foi instalado um sistema de irrigação localizada por gotejamento. O sistema era constituído por dois reservatórios com capacidade volumétrica de 300 litros, juntamente com dois registros de esfera de PVC com diâmetro nominal (DN) de 32 mm, sendo um para cada reservatório; uma motobomba periférica SOMAR (SHP-35) de 0,5 cv de potência; um manômetro para monitorar da pressão do sistema; um filtro de tela de 120 mesh com abertura da malha equivalente a 125 micras; uma linha de recalque provida de oito

registros, sendo dois usados para controlar o possível retorno de água ao reservatório, um para a lavagem da linha de recalque e cinco para controlar a abertura e fechamento das linhas principais; cinco linhas principais, todas de Polietileno Linear de Baixa Densidade – PELBD com DN de 20 mm; 11 linhas laterais de Polietileno Linear de Baixa Densidade – PELBD com DN de 20 mm (Figura 9). Cada tratamento tinha sua própria rede hidráulica.

Em cada canteiro foi instalado uma linha de gotejo, com 4 emissores, resultando em um espaçamento de 0,30 m entre emissores, visando a formação da faixa molhada. Os emissores utilizados foram Amnondrip, autocompensante, com vazão de $2,3 \text{ L.h}^{-1}$ e pressão de serviço de 1 a 3 bar (Figura 10).

Figura 9 - Ilustração esquemática do sistema de irrigação instalado no Campus da FCA-UNESP, Botucatu



Fonte: Autor, 2021

Figura 10 - Sistema de irrigação instalado no Campus da FCA-Unesp, Botucatu



Foto: Karl Auguste Leroy, 2021.

Vale ressaltar que as irrigações, no momento de utilizar as fontes de água, foram realizadas individualmente, devido ao uso de uma única motobomba. A água residuária tratada não era misturada à água de abastecimento. Desta forma, o processo utilizado foi:

- 1) Abertura dos registros (linhas principais e reservatório) de quatro tratamentos, por exemplo tratamento 1, tratamento 2, tratamento 3 e tratamento 4;
- 2) Ligar o sistema de irrigação;
- 3) Efetuar a irrigação com água de abastecimento de acordo com a demanda de cada tratamento baseado no tempo;
- 4) Fechar os registros (linhas principais) respeitando o tempo de irrigação necessário para cada tratamento;
- 5) Desligar o sistema de irrigação após irrigar os quatro tratamentos;
- 6) Repetir este procedimento para a segunda fonte de água (água residuária tratada) para completar a irrigação das unidades experimentais.

3.7 Avaliação da uniformidade do sistema de irrigação

A uniformidade do sistema de irrigação resulta na distribuição uniforme da água ao longo do sistema e emissores, de forma que todas as plantas recebam a mesma quantidade. Baseado nisso, foi avaliada a uniformidade do sistema de irrigação por meio da coleta das vazões dos gotejadores com o auxílio de coletores, que foram posicionados a cada ciclo de testes em 25% dos emissores (Figura 11).

Figura 11 - Disposição dos coletores no ensaio de distribuição de água pelos emissores



A – Ensaio antes do início do cultivo; B – Ensaio no intervalo entre ciclos; e C – Ensaio no final do segundo ciclo do cultivo.

Para permitir a análise comparativa do efeito dos tratamentos no desempenho das subunidades de irrigação ao longo do tempo de operação do sistema, foram realizados testes para estimar os coeficientes de uniformidades (Distribuição, Christiansen e Estatístico) em três épocas da pesquisa. O primeiro ocorreu antes do início do cultivo, o segundo no intervalo entre os ciclos e o terceiro no final do segundo ciclo de cultivo, esses períodos equivalem a 0, 5 e 13 horas de operação das subunidades de irrigação por gotejamento.

Foram avaliados 75 gotejadores, 15 de cada tratamento; a cada ciclo de avaliação foram efetuadas três repetições com duração de 5 minutos. Para coleta das vazões dos emissores, foram utilizados béqueres plásticos de 1000 mL instalados sob os emissores. O volume de água coletado em cada gotejador foi quantificado com auxílio de uma proveta graduada; ao final aplicando-se a Equação 8 para a determinação da vazão de cada emissor (q_i).

$$q_i = \frac{V_c * 60}{1000 * T_i} \quad (8)$$

Em que, q_i – vazão do emissor avaliado ($L \cdot h^{-1}$); V_c – volume de água coletado em cada emissor avaliado (mL); e, T_i – tempo de coleta a cada ensaio realizado (minutos).

As Equações 3, 4, 5 foram empregadas para calcular respectivamente os coeficientes de uniformidade de Distribuição, de Christiansen e Estatística. Os coeficientes determinados foram organizados de acordo com os tratamentos propostos para avaliar os efeitos das diferentes percentagens de água residuária e água de abastecimento utilizadas na irrigação da alfaca. Uma vez determinados os valores dos coeficientes de uniformidade, foi realizada a classificação do desempenho do sistema de irrigação conforme proposto por Merriam e Keller (1978), Mantovani (2001).

3.8 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado via atributos da atmosfera, utilizando dados de precipitação e evapotranspiração de referência (ET_0) estimados pelo método de Penman-Monteith, coletados na estação meteorológica do Lageado, localizada a aproximadamente de 200 metros da área experimental no Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia.

Para estimar a lâmina líquida de irrigação necessária, utilizou-se a Equação (9); a evapotranspiração da cultura (ET_c) foi calculada com base na Equação (10) utilizando os valores de (K_c) propostos por Trani, Tivelli e Carrijo (2011). De acordo com os autores supramencionados, os valores de K_c para os diferentes estádios de desenvolvimento da alface foram de 0,85; 0,90; 1,00 e 0,90 para as respectivas fases I, II, III e IV. Tais valores de K_c ficaram próximos aos recomendados pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) no seu boletim número 56 (ALLEN et al., 1998), para a cultura da alface. Visto que o sistema de irrigação utilizado é por gotejamento, o coeficiente de irrigação localizada (K_l) também foi ajustado, seguindo a metodologia proposta por Keller (1978) e detalhada por Mudrik (2005). Por fim, adotou-se o coeficiente de umidade do solo (K_s) igual a 1,0, referenciado por Neto (2003), devido ao sistema de gotejamento aplicar com alta frequência.

$$Ll = ET_c - P_{ef} \quad (9)$$

Em que, Ll – lâmina líquida de irrigação necessária (mm dia^{-1}); ET_c – evapotranspiração da cultura na região sob irrigação localizada (mm dia^{-1}) e P_{ef} – precipitação efetiva (mm dia^{-1}) considerando 80% da precipitação total.

$$ET_c = ET_0 * K_c * K_l * K_s \quad (10)$$

Em que, ET_0 – evapotranspiração de referência dada pela estação meteorológica (mm dia^{-1}); K_c – coeficiente de cultivo (adimensional); K_l – fator de redução devido a localização (adimensional); e K_s – Coeficiente de umidade do solo (adimensional).

As irrigações foram efetuadas diariamente e as lâminas de irrigação aplicadas foram reguladas pelo tempo de irrigação determinado pela Equação 11.

$$T_i = \frac{Ll * 60}{L_a} \quad (11)$$

Em que, T_i – tempo de irrigação (minutos); Ll – lâmina líquida de irrigação (mm.dia^{-1}) e L_a – lâmina aplicada pelo gotejador (mm.h^{-1}).

$$L_a = \frac{N_g * q_g}{A_p} \quad (12)$$

Em que, L_a – lâmina aplicada pelo gotejador (mm.h^{-1}); N_g – número de gotejadores por planta; q_g – vazão do gotejador (L.h^{-1}) e A_p – área ocupada pela planta (m^2).

A área ocupada pela planta (A_p) é calculada multiplicando o espaçamento entre linha (E_l) pelo espaçamento entre planta (E_p).

$$A_p = E_l * E_p \quad (13)$$

3.9 Condução do experimento

Foi utilizada como cultura no experimento a alface (*Lactuca Sativa, L.*), cultivar denominado Gabi, pertencente ao grupo mimosa, cujo ciclo varia de 60 a 70 dias. Trata-se de uma planta grande e simétrica, com alto volume de folhas e alta tolerância ao pendoamento e queima das pontas, podendo ser cultivada durante todo o ano, principalmente no verão.

Foram realizados dois ciclos, o primeiro ocorreu no período de 18/09/2021 a 19/10/2021 e o segundo de 15/11/2021 a 20/12/2021. Para ambos, as mudas de alface foram adquiridas no comércio local. No momento da aquisição, as mudas apresentaram 30 dias no primeiro ciclo e 25 dias no segundo ciclo, ambos correspondem aos dias após a semeadura.

Após o recebimento, as mudas foram transplantadas em canteiros, permanecendo em campo por um período de 30 dias no primeiro ciclo e 35 dias no

segundo ciclo. Cada canteiro foi constituído por duas fileiras de quatro plantas e uma fileira de tubo gotejador com quatro emissores.

As adubações aplicadas nesta pesquisa, a todos os tratamentos, desde o transplântio até a cobertura foram determinadas com base na análise de solo e seguindo as recomendações de Trani et al. (2014). Os referidos autores sugerem que seja realizada a adubação mineral de plantio entre sete e dez DAT, em área total dos canteiros, conforme a análise de solo, Quadro 10. Quanto à adubação de cobertura, as doses utilizadas foram de 60 kg ha⁻¹ de N, 15 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 30 kg ha⁻¹ de K₂O, divididas em duas aplicações durante o ciclo da alface.

Quadro 10 - Recomendações de adubação mineral de plantio conforme análise do solo para alface

Nitrogênio	P _{resina} , mg.dm ⁻³				K ⁺ trocável, mmolc dm ⁻³			
	-	0 -25	26 - 60	61 - 120	>120	0 – 1,5	1,6 – 3,0	3,1 – 6,0
N, kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ , kg ha ⁻¹				K ₂ O, kg ha ⁻¹			
30 a 50	320	180	100	60	120	80	50	30

Fonte: Trani et al. (2014).

Em cobertura, aos 20 dias após o transplântio (DAT) 1^o ciclo, foram aplicados em todos os canteiros dos cinco tratamentos, 8,35 g de Ureia (com 46% de N), 3,2 g de Cloreto de potássio (com 60% de K₂O) e 3,6 g Superfosfato Simples (com 21% de P). Já no segundo ciclo, foi feita a adubação completa na testemunha (T5- 0%ART - 100%AA), aplicando por vez, 8,35 g de Ureia (com 46% de N), 3,2 g de Cloreto de potássio (com 60% de K₂O) e 3,6 g Superfosfato simples (com 21% de P) aos 20 e 32 DAT e para as composições com ART apenas uma única aplicação em cobertura foi realizada, esta aos 20 DAT

Os tratos culturais, como controle de plantas indesejadas e aplicação de defensivos agrícolas, visando manter a área livre de ervas daninhas, pragas e doenças, foram realizados conforme havia necessidade. Uma pulverização com inseticida à base de óleo de Neem foi realizada a cada ciclo de cultivo para controle de pragas, em aproximadamente 15 DAT, na dosagem de 1 mL de solução por Litro de água recomendada pelo fabricante. Para o controle das formigas, foi utilizado isca granulada.

3.10 Parâmetros Avaliados

Durante a fase experimental, foram analisados os parâmetros citados a seguir, de acordo com a metodologia proposta.

3.10.1 Avaliação da qualidade das águas de irrigação

Durante o período de 17 de julho a 31 de novembro de 2021 foram realizadas cinco amostragens da água residuária e duas amostragens da água de abastecimento. Os pontos de amostragem no sistema de tratamento de água residuária foram: Afluente - entrada do barril #1; Água residuária tratada – saída do barril #6.

Durante o experimento, foram avaliados nas amostras do afluente e da água residuária tratada os seguintes parâmetros nos Laboratórios de Nutrição Mineral Vegetal do Departamento de Ciência do Solo da FCA/UNESP e Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP:

- Físicos: Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais (ST); Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Dissolvidos Totais (SDT);
- Químicos: pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Biológica de oxigênio (DBO), Fósforo Total (PT), Nitrogênio Total (NT), Potássio (K).
- Microbiológicos: Coliformes Fecais e Totais, pelo método *Enzyme Substrate Test* (APHA, 2012), utilizando reagente COLILERT.

Quanto a água de abastecimento, os seguintes parâmetros foram avaliados:

- Físicos: Condutividade Elétrica (CE);
- Químicos: pH, Fósforo Total (PT), Nitrogênio Total (NT), Potássio (K).
- Microbiológicos: Coliformes Fecais e Totais, pelo método *Enzyme Substrate Test* (APHA, 2012), utilizando reagente COLILERT.

No Quadro 11, são exibidos os métodos adotados para a realização das análises das águas de irrigação. As amostras de água foram retiradas, acondicionadas e avaliadas, com base nas recomendações do *Standard Methods* 1060B e 1060 C (APHA, 2012). Para as análises dos parâmetros físico-químicos, as amostras foram armazenadas em frascos plásticos; enquanto para a realização das

análises microbiológicas, foram preservadas as amostras em bolsas plásticas estéreis de 100 mL.

Quadro 11 – Parâmetros de qualidade da água avaliados e métodos adotados para análise

Parâmetro	Unidade	Método	Referência
pH	$\mu\text{S cm}^{-1}$	Eletrometric Method	SM 4500B
CE	mg L^{-1}	Laboratory Method	SM 2510B
ST	mg L^{-1}	Total Solids Dried at 103-105°C	SM 2540B
SST	mg L^{-1}	Total Suspended Solids Dried at 103-105°C	SM 2540D
SST	mg L^{-1}	105°C	SM 2540D
SST ¹	mg L^{-1}	ST-SST	
DBO	mg L^{-1}	Respirometric Method	SM 5210D
DQO	mg L^{-1}	Closed Reflux, Colorimetric Method	SM 5220D
NT	mg L^{-1}	Persulfate Digestion Method	SM 4500C
PT	mg L^{-1}	Persulfate Method	SM 4500J
K	mg L^{-1}	Spectrophotometric Method	SM 4500B
CT	NMP 100 mL^{-1}	Enzyme Substrate Test	SM 9223B
CF	NMP 100 mL^{-1}	Enzyme Substrate Test	SM 9223B

¹ determinado pela diferença entre sólidos totais e sólidos suspensos totais.

Para proceder a análise microbiológica das águas de irrigação, o indicador adotado para a variável coliformes fecais foi a concentração de *E. coli*. A determinação desse indicador foi realizada utilizando-se a técnica do substrato definido Colilert e cartelas marca Idexx (APHA, 2012); a mesma também serve para determinação de coliformes totais. Após a coleta das amostras, utilizou-se uma proveta graduada de 100 mL e uma pipeta estéril para fazer as diluições desejadas. Os 100 ml da solução preparada foram colocados em um frasco Schott estéril. Adicionou-se ao frasco contendo a solução, em condições assépticas, o conteúdo de um flaconete contendo o substrato enzimático Colilert. O frasco foi fechado e agitou-se manualmente até a dissolução completa do meio. A mistura amostra/reagente permaneceu em repouso até que a espuma resultante da adição e agitação do reagente desaparecesse.

Com a mão segurou-se numa cartela Quanti-Tray/2000 com cavidades multiplas na posição vertical com a superfície das cavidades voltada para a palma da mão, apertou-se as bordas laterais superiores da cartela a fim de abri-la e melhor despejar a diluição previamente preparada com o meio de cultura. Em seguida, o conjunto mistura da amostra com o meio de cultura Colilert e a cartela foi vedado e selado a quente no Quanti-Tray Sealer. Após a selagem da cartela, esta foi incubada a temperatura de 35°C durante 24 horas, na estufa de cultura e bacteriologia. Após a incubação, efetuou-se a contagem do número mais provável de coliformes totais e fecais, expresso em NMP 100 mL⁻¹. As cavidades da cartela positivas para a contagem de coliformes totais apresenta-se com a coloração amarela intensa. Com auxílio de uma lâmpada UV de comprimento de onda de 365 nm incidida sobre as cartelas, foram identificadas as células positivas para *Escherichia coli* que apresentavam cor azul fluorescente. De acordo com a tabela apresentada pelo método cromogênico por cartela, foi calculado o Número Mais Provável (NMP).

3.10.2 Determinação das variáveis relacionadas à cultura

3.10.2.1 Variáveis de crescimento e desenvolvimento

As avaliações foram feitas aos 30 DAT no 1º ciclo e 35 DAT no 2º ciclo, onde foram analisados os seguintes parâmetros: o diâmetro da cabeça, o número de folhas, a massa fresca, seca da parte aérea e a produtividade.

- a) Diâmetro da cabeça: aferição do diâmetro medido com auxílio de uma fita métrica;
- b) Número de folhas: contagem do número de folhas (NF), considerando as folhas com comprimento igual ou superior a 3 cm;
- c) Massa fresca e seca das folhas: Para determinar a massa fresca e seca das folhas, estas foram armazenadas em sacos de papel kraft, a fim de evitar perdas por transpiração; em seguida, a massa fresca das folhas (MFF) de cada planta foi determinada por pesagem em balança. Após a determinação da massa fresca, as amostras foram armazenadas em sacos de papel kraft e levadas em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65°C por 72 horas, até atingirem peso constante. Procedeu-se em seguida a determinação da

massa seca das folhas (MSF) de cada planta com auxílio de uma balança de precisão;

- d) Produtividade: a produtividade foi calculada com base na massa fresca da parte aérea da planta e a população de plantas por hectare para o distanciamento proposto.

3.10.2.2 Análise de qualidade microbiológica das folhas

Para a realização da análise microbiológica, os indicadores considerados foram as concentrações de *E. coli* e coliformes totais. Esses parâmetros foram determinados utilizando-se substrato enzimático Colilert e cartelas da marca Idexx (APHA, 2012). Para isso, foram coletadas 15 amostras foliares, três para cada tratamento, as quais foram encaminhadas para serem analisadas no Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrônômica da FCA/UNESP. Em seguida, 25 g das folhas coletadas foram adicionadas a 100 mL de água peptonada em um recipiente esterilizado e agitado por 35 segundos (Figura 12). Após o preparo da solução estoque, uma alíquota de 20 mL foi diluída em 80 mL de água estéril, à qual foi adicionado o substrato enzimático colilert e agitado manualmente até a completa dissolução. A mistura amostra/reagente foi deixada em repouso até que a espuma resultante da adição e agitação do reagente desaparecesse. Os procedimentos subsequentes são semelhantes aos descritos na análise microbiológica das águas de irrigação, detalhados na subseção 3.10.1.

Figura 12 - Amostras de folhas preparadas para análise de coliformes totais e *Echerichia Coli*



Foto: Karl Auguste Leroy, 2021.

3.10.3 Análises químicas solo após a colheita

Após os dois ciclos de cultivo, foram determinadas as características químicas do solo, de forma a verificar as possíveis alterações ocorridas durante o período experimental. Para a amostragem do solo, foram selecionados aleatoriamente dois pontos para cada canteiro com base nos tratamentos estudados, totalizando assim dez amostras para cada tratamento. As amostras de solo foram retiradas com o auxílio de um trado holandês a uma profundidade de 0,20 m.

Para a determinação das características químicas do solo, as amostras foram secas ao ar e peneiradas em malha 2 mm, segundo a metodologia proposta por Raij et al. (2001). Em seguida foi encaminhada uma amostra composta para cada um dos cinco tratamentos para o Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu. Os atributos químicos do solo foram determinados utilizando as metodologias propostas pela EMBRAPA (2011) e por Raij et al. (2001).

3.10.4 Análises químicas das folhas

O tecido vegetal foliar da alface foi analisado apenas no final do segundo ciclo da cultura quanto aos teores de: nitrogênio (N), fósforo (P) potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B). Para isso, foram coletadas aleatoriamente 20 folhas recém desenvolvidas, formando uma amostra composta para cada um dos cinco tratamentos estudados, baseando na metodologia recomendada por Raij et al. (1997). As amostras coletadas foram armazenadas em sacos de papel devidamente identificados e levadas à estufa de secagem com ventilação forçada a uma temperatura de 65°C por 72 horas. Após a secagem, as amostras foram moídas, acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e encaminhadas para serem analisadas no Laboratório de Nutrição Mineral das Plantas do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP.

3.11 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas no software Sisvar 5.6, as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados obtidos foram apresentados e interpretados por meio de tabelas e gráficos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados climatológicos medidos e estimados

Após a coleta e tabulação dos dados climáticos obtidos no site da FCA UNESP Botucatu, foram elaboradas as Figuras 13, 14, 15, 16, 17 e 18, nas quais foram apresentados os resultados obtidos a partir dos valores médios diários das variáveis meteorológicas locais como temperatura, umidade relativa do ar, evapotranspiração, precipitação e radiação solar global, para o período de setembro a dezembro de 2021.

4.1.1 Temperatura e umidade relativa do ar

Nas Figuras 13 e 14 são exibidos os valores médios diários de temperatura em grau Celsius e umidade relativa em porcentagem que ocorreram ao longo do desenvolvimento do primeiro e segundo ciclo de cultivo da alface.

Figura 13 - Dados diários de temperatura média e umidade relativa média do ar ao longo do primeiro ciclo de cultivo da alface, Botucatu-SP

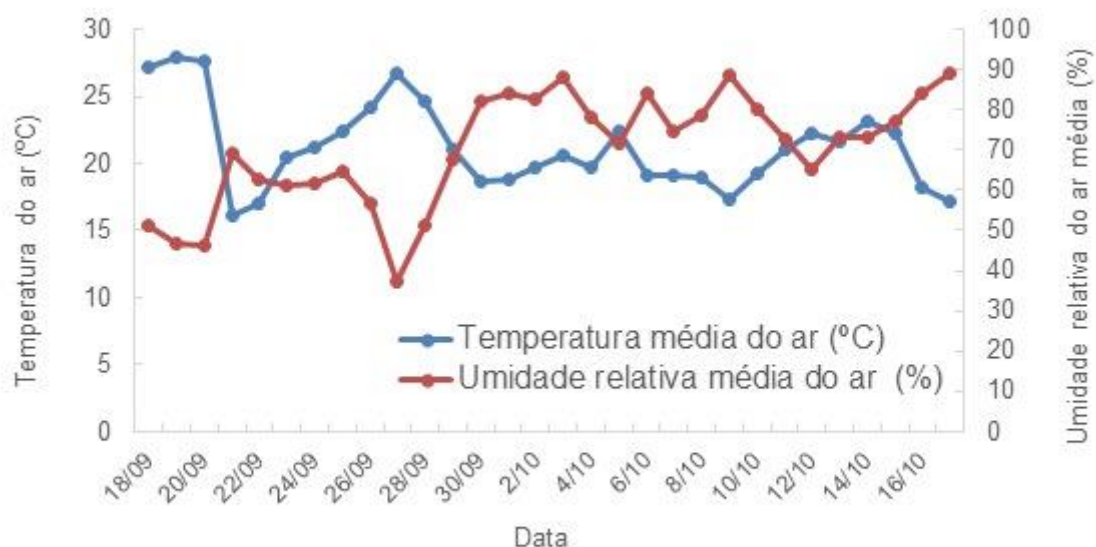
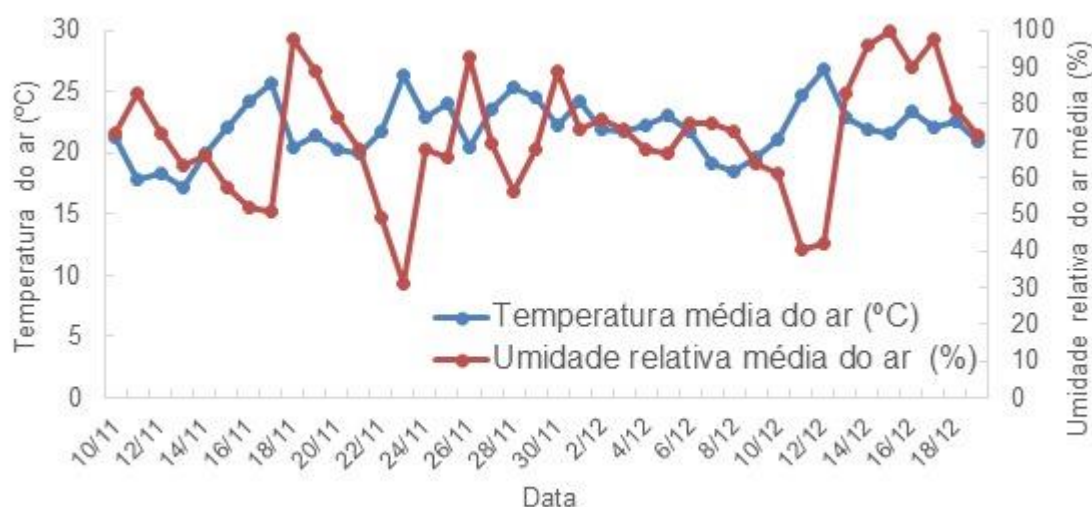


Figura 14 - Dados diários de temperatura média e umidade relativa média do ar ao longo do segundo ciclo de cultivo da alface, Botucatu-SP



Observando os valores médios diários de temperatura ao longo do desenvolvimento do primeiro ciclo de cultivo (30 dias), verifica-se que as temperaturas média, mínima e máxima do ar, respectivamente, foram de 21,2°C, 17,3°C e 28,6°C. Já no segundo ciclo (35 dias), as temperaturas média, máxima e mínima do ar foram de 22,0°C, 17,6°C e 27,7°C, respectivamente. Os valores de temperatura média e máxima ficaram acima das recomendações de Brunini et al. (1976) que indicam que para um bom desenvolvimento e boa produção das plantas de alface, a média mensal de temperatura deve estar entre 15 e 18°C, com máxima entre 21 a 24°C.

Wien (1997) e Knott (1962) afirmaram que as temperaturas do ar entre 7 e 24°C (média de 18°C) são mais favoráveis para o crescimento e a produção da alface. De acordo com Sganzerla (1997), a alface é uma cultura que se desenvolve melhor em clima fresco, as condições ótimas de temperatura para esta planta dependem do seu estágio de desenvolvimento: na germinação 15 a 20°C e no desenvolvimento 14 a 18°C ao longo do dia e 5 a 20°C durante a noite, e esses valores de temperatura devem estar combinados com uma umidade relativa entre 60 e 70%. Observando os valores médios de temperatura (Figuras 13 e 14), é possível verificar que durante os dois ciclos a temperatura média do ar estava acima da temperatura considerada favorável para o bom crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas de acordo com Wien (1997), Knott (1962), Brunini et al. (1976), Sganzerla (1997).

A umidade relativa média do ar estimada ao longo do primeiro ciclo da cultura foi de 70,1%, enquanto que a média dos menores valores registrados foi de 44,1%, já os maiores valores tiveram média de 87,4%. Com relação ao segundo ciclo de cultivo, os valores médios, máximo e mínimo de umidade relativa do ar foram de 70,9%, 91,5% e 50,2%, respectivamente. Segundo Cermeño (1990 apud ARAÚJO, 2010), os valores de umidade relativa do ar mais favoráveis para o desenvolvimento da alface situam-se entre 60 a 80%, assim os valores médios observados para os dois ciclos estão dentro do faixa considerada ótima para bom desenvolvimento da cultura.

4.1.2 Uso de água e evapotranspiração

Os dados de evapotranspiração de referência (ET_o) estimados pelo modelo Penman Montheith (MONTEITH, 1965) e de evapotranspiração da cultura (ET_c), ao longo do 1º e 2º ciclos de cultivo, estão apresentados nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 - Dados diários de evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração da cultura (ET_c) ao longo do 1º ciclo de cultivo da alface, Botucatu-SP

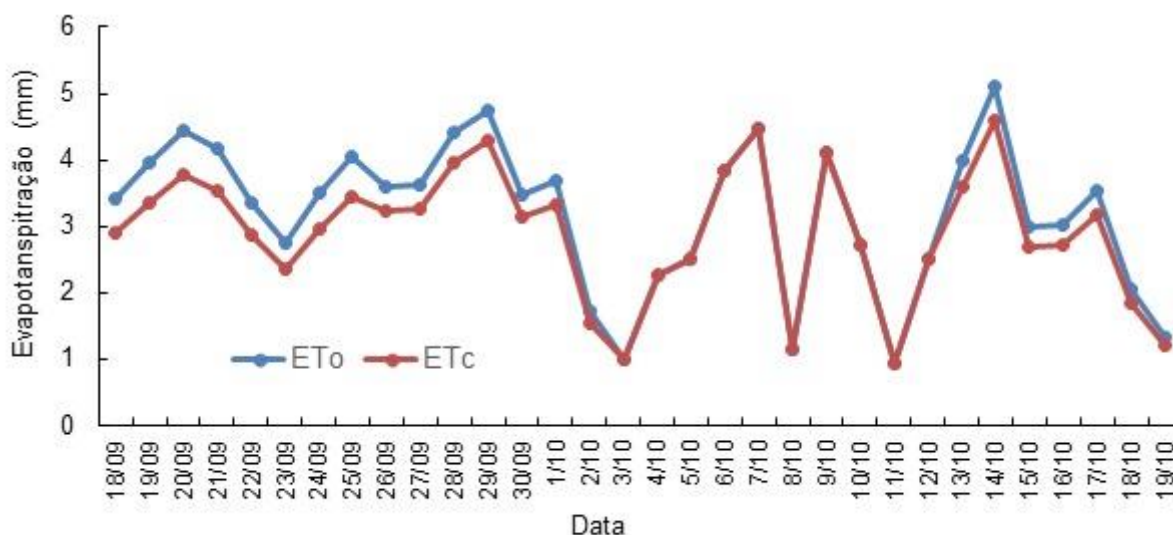
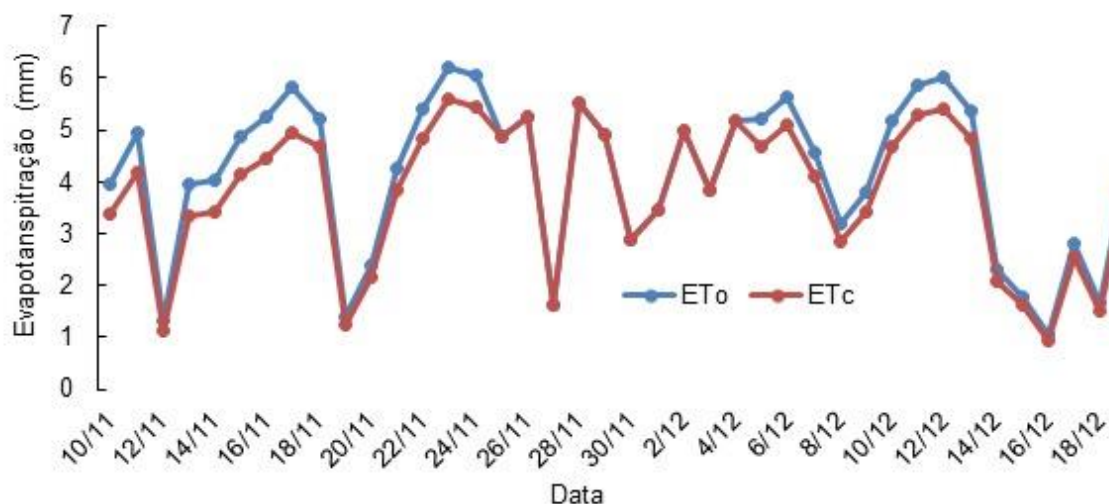


Figura 16 - Dados diários de evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração da cultura (ET_c) ao longo do 2º ciclo de cultivo da alface, Botucatu-SP



Analisando as Figuras 15 e 16, observa-se que as maiores taxas de evapotranspiração da cultura ocorridas ao longo do 1º e 2º ciclo foram de 4,59 mm dia⁻¹ e 5,58 mm dia⁻¹ respectivamente, sendo que estas foram observadas aos 26 e 14 DAT. Nos períodos de 18/09 a 18/10 (1ºciclo) e de 10/11 a 19/11 (2ºciclo) do ano de 2021, a evapotranspiração total da cultura foi de 107,1 mm e 174,87 mm, respectivamente. Em Botucatu, SP, Cardoso e Klar (2009) relatam que a alface “Mimosa” necessita de aproximadamente 170 mm de água durante um ciclo de cultivo em condições de umidade do solo próximo a capacidade de campo. Segundo Beaulieu (2006), para a alface, deve-se fazer uma irrigação média de 125 a 175 mm de água durante o ciclo da cultura em caso de déficit hídrico. Este valor de lâmina líquida total registrado durante o primeiro ciclo, muito inferior ao indicado por Cardoso e Klar (2009), provavelmente está relacionado ao fato do presente experimento ter sido realizado em um período chuvoso de baixa evapotranspiração potencial.

Observa-se na Tabela 3, que durante a realização da pesquisa, de 18/09 a 18/10 (1ºciclo) e de 10/11 a 19/11 (2ºciclo) do ano 2021, a contribuição da precipitação na demanda hídrica da cultura em termos percentuais foi de 47,1% e 16,9% respectivamente, e a necessidade de água restante 52,9% e 83,1% vem da irrigação.

Tabela 3 - Lâmina de irrigação de água residuária tratada (ART), de água de abastecimento (AA) e contribuição da precipitação efetiva na irrigação da alface, ao longo do período experimental

Tratamentos	Lâmina (mm)			Lâminas (%)		
	Irrigação		Precipitação Efetiva	Total	Irrigação	Precipitação Efetiva
	ART	AA				
Ciclo 1						
T1	56,7	0,0	50,5	107,2	52,9	47,1
T2	42,5	14,2	50,5	107,2	52,9	47,1
T3	28,3	28,3	50,5	107,2	52,9	47,1
T4	14,2	42,5	50,5	107,2	52,9	47,1
T5	0,0	56,7	50,5	107,2	52,9	47,1
Ciclo 2						
T1	145,4	0,0	29,5	174,9	83,1	16,9
T2	109,0	36,3	29,5	174,9	83,1	16,9
T3	72,7	72,7	29,5	174,9	83,1	16,9
T4	36,3	109,0	29,5	174,9	83,1	16,9
T5	0,0	145,4	29,5	174,9	83,1	16,9

T1- 100%ART, T2- 75%ART + 25%AA, T3- 50%ART + 50%AA, T4- 25%ART + 75%AA, T5- 100%AA.

4.1.3 Precipitação e radiação solar global

Apresentam-se, nas Figuras 17 e 18, os dados diários de precipitação e de radiação solar global, no município de Botucatu, observados ao longo dos dois ciclos de cultivo da alface. Observa-se que, a irradiância solar global foi maior no 2º ciclo em comparação ao 1º ciclo, apresentando também maior variação entre os dias ao longo da condução da pesquisa. No 1º ciclo, houve precipitação de apenas 81,0 mm, e desse total, 31,2 mm, ou seja, 38,5% da precipitação total ocorreu no dia 15/10/21. A precipitação total ocorrida no 1º ciclo foi menor em relação ao segundo, porém, teve uma melhor distribuição e uma maior participação na demanda hídrica das plantas cultivadas. No 2º ciclo, as variações devem-se às condições meteorológicas que, neste período do ano, tendem a produzir precipitações mais intensas; neste ciclo o valor total foi de 328,5 mm, acumuladas no final do ciclo em apenas cinco dias, 171,3 mm de precipitação, ou seja, 52,1% do total registrado durante este período, sendo um volume muito pequeno dessas precipitações as que se transformaram em precipitação efetiva.

Figura 17 - Dados diários de precipitação (mm) e radiação solar global (MJ.m⁻²) ao longo do 1º ciclo de cultivo da alface, Botucatu-SP

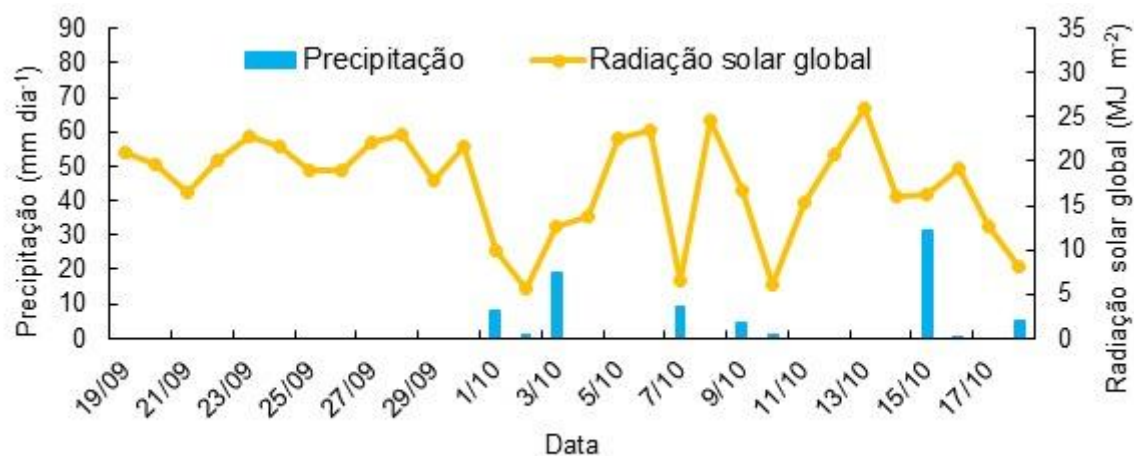
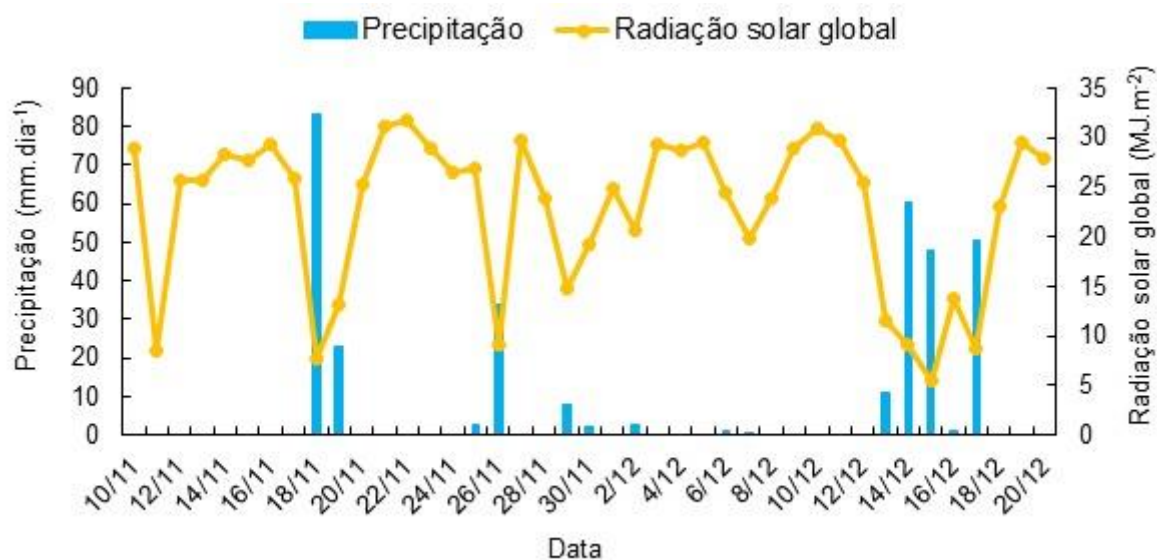


Figura 18 - Dados diários de precipitação (mm) e radiação solar global (MJ.m⁻²) ao longo do 2º ciclo de cultivo da alface, Botucatu-SP



4.2 Avaliação do sistema de tratamento de água residuária

Durante o experimento foram determinadas algumas características físico-químicas, bioquímicas e microbiológicas do efluente utilizado para irrigação. Os resultados obtidos são exibidos nas Tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9. Essas tabelas apresentam os valores médios, máximos, mínimos e o desvio padrão para cada parâmetro analisado no afluente e na água residuária tratada ao longo do período experimental.

4.2.1 Características físico-químicas do efluente bruto e tratado

Os valores apresentados na Tabela 4 permitem constatar que o pH do afluente e da água residuária tratada (ART) se manteve relativamente constante, sem sofrer grandes oscilações durante os cinco meses de monitorado. Foram obtidos valores médios afluente de $7,75 \pm 0,3$ e água residuária tratada de $7,87 \pm 0,3$, com elevação de aproximadamente 0.12 unidade. Pode ser atribuída essa pequena elevação de pH ao fenômeno de desnitrificação que ocorre quando a disponibilidade de oxigênio molecular é baixa, levando as bactérias desnitrificantes a empregarem o nitrato e outras formas de nitrogênio como receptores de elétrons na respiração. Segundo Tonetti et al. (2013), os fatores que afetam esse processo de desnitrificação são: a concentração de oxigênio dissolvido, a temperatura, o pH, a qualidade e quantidade de fontes de carbono.

Com base nesses resultados, permitiu-se concluir que não houve grande variação no processo de tratamento do afluente em relação à água residuária tratada, no que diz respeito ao parâmetro pH. Os valores encontrados estão dentro da faixa estabelecida pela UESPA (2004), Ayers e Westcot (1991) e resolução CONAMA nº 357/2005 que estipulam que o pH das águas de classe 1, destinadas à irrigação de alimentos consumidos crus, como hortaliças, legumes e frutas, deve estar entre 6,0 e 9,0. Os resultados de Tavares (2016), em um experimento avaliando o grau de aceitabilidade do reuso de água de lagoas de estabilização na agricultura irrigada, aproximam-se dos obtidos no presente trabalho, pois o autor encontrou valores de pH de águas residuárias entre 7,3 e 8,6.

Tabela 4 - Valores de potencial de hidrogênio (pH) e condutividade elétrica (CE) do afluente e da água residuária tratada

Data da coleta	pH		CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	
	AFL	ART	AFL	ART
Julho	8,0	8,1	748,9	649,0
Agosto	7,7	7,9	609,3	604,9
Setembro	7,5	7,8	649,9	526,4
Outubro	8,1	8,1	669,0	514,0
Novembro	7,4	7,4	620,0	480,0
Maior Valor	8,1	8,1	748,9	649,0
Menor Valor	7,4	7,4	609,3	480,0
Nº de amostras	5	5	5	5
Média	7,7	7,9	659,4	554,9
Desvio padrão	0,3	0,3	55,4	69,7

AFL= Afluente, ART= Água Residuária Tratada, TR= Taxa de Remoção.

Em 2006, a Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou a obra intitulada “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and gray water” na qual foram estabelecidos os critérios de classificação para a restrição do uso de águas residuárias na irrigação. Neste publicação, foram estabelecidos os três seguintes níveis de restrições para as águas residuárias a serem utilizadas na irrigação: nenhuma, baixa a moderada e significativa. Em relação à condutividade, a OMS considera como aceitável para o uso na irrigação as águas dentro da faixa 0 e 3000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. A condutividade elétrica (CE) da água residuária tratada, durante o desenvolvimento da pesquisa variou entre 480,0 a 649,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, com valor médio de 554,9 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. Considerando a classificação da água para irrigação proposta por Ayres e Westcot (1991), a água utilizada possui salinidade sem nenhum grau de restrição.

Duarte (2006), estudando o reaproveitamento de água residuária tratada na irrigação do cultivo de pimentão, encontrou valores de condutividade elétrica de 571,39, 571,21, 580,40 e 539,61 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ para os quatro tratamentos utilizando águas residuárias tratadas. Sandri, Matsura e Testezlaf (2007) e Freitas et al. (2015) obtiveram valores de CE em águas residuárias de 630 e 730 $\mu\text{S.cm}^{-1}$,

respectivamente. Enquanto Medeiros et al. (2005) relatam valores de CE no intervalo de 470 e 600 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ com média de 560 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Os valores mencionados por esses autores são bem próximos aos obtidos no presente trabalho.

Na Tabela 5 estão apresentadas as variações dos valores de sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos dissolvidos totais (SDT) no afluente e na água residuária tratada ao longo dos cinco meses de monitoramento. O teor de ST no afluente variou muito pouco ao longo da condução da pesquisa, sendo a maior e menor concentração de 497,30 mg L^{-1} no mês de julho e de 414,17 mg L^{-1} no mês de agosto, respectivamente. Duarte (2006) obteve valor médio menor de ST em água residuária bruta de 276,83 mg L^{-1} , inferior ao valor médio de 445,67 mg L^{-1} encontrado neste trabalho.

Tabela 5 - Valores de sólidos totais (ST), de sólidos suspensos totais (SST) e de sólidos dissolvidos totais (SDT) no afluente e na água residuária tratada

Data da coleta	ST (mg L^{-1})			SST (mg L^{-1})			SDT (mg L^{-1})		
	AFL	ART	TR (%)	AFL	ART	TR (%)	AFL	ART	TR (%)
Julho	497,3	418,4	15,9	18,0	3,0	83,3	479,3	415,4	13,3
Agosto	414,2	331,1	20,1	24,2	8,0	67,0	390,0	323,1	17,1
Setembro	437,9	340,2	22,3	22,0	3,3	84,9	415,9	336,9	19,0
Outubro	452,2	332,9	26,4	24,0	3,9	83,8	428,2	329,0	23,2
Novembro	426,8	312,2	26,9	30,0	5,0	83,8	396,8	307,2	22,6
Maior Valor	497,3	418,4	26,9	30,0	8,0	84,9	479,3	415,4	23,2
Menor Valor	414,2	312,2	15,9	18,0	3,0	67,0	390,0	307,2	13,3
Nº A	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Média	445,7	346,9	22,3	23,6	4,6	80,4	422,0	342,3	18,9
Desvio padrão	32,1	41,2	4,6	4,3	2,0	7,6	35,4	42,3	4,1

AFL= Afluente, ART= Água Residuária Tratada, TR= Taxa de Remoção. Nº A= Número de amostras

De acordo com Metcalf e Eddy (2003), a concentração média de ST típica de efluentes domésticos não tratados variou de 390 a 1.230 mg L^{-1} . Como o efluente utilizado nesta pesquisa havia sido pré-tratado pela SABESP, esperava-se que a

concentração de sólidos totais estivesse próxima do limite inferior relatado na literatura.

Em relação à concentração de SST e SDT, o afluente e a água residuária tratada apresentaram poucas variações ao decorrer da pesquisa, em que os valores médios de concentrações foram respectivamente de 23,6 e 422,0 mg L⁻¹ para o afluente, e 4,6 e 342,3 para a água residuária tratada. As concentrações de SST no esgoto doméstico tratado foram inferiores aos limites de 50 e 200 mg L⁻¹ recomendados por Nakayama e Bucks (1991) e Capra e Scicolone (1998), respectivamente, representando baixo risco de entupimento de gotejadores. Os SST obtidos encontram-se também abaixo do limite de 30 mg L⁻¹ recomendado por Blum (2003 apud HERMES, 2010), para não causar prejuízos aos sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento e danos ao sistema de bombeamento.

Os valores de SDT encontrados nas amostras analisadas ficaram abaixo das concentrações limites de 500 e 625 mg L⁻¹ recomendados por Nakayama e Bucks (1991) e Capra e Scicolone (1998), respectivamente, indicando baixo risco de entupimento de gotejadores. Essas concentrações de SDT foram semelhantes ao valor médio de 350 mg L⁻¹ obtido por Vale et al. (2013) em estudo com esgoto doméstico tratado. No entanto, a média de 342,3 mg L⁻¹ de SDT obtida no presente estudo foi inferior a faixa de 542 a 567 mg L⁻¹ encontrada por Dazhuang et al. (2009) com esgoto doméstico de sistema de lodos ativados e ao valor médio de 2344 mg L⁻¹ obtido por Silva et al. (2013) em pesquisa com água residuária gerada no processamento da castanha de caju.

No que diz respeito à remoção de sólidos, embora o sistema de filtro anaeróbico vertical seja uma configuração de tratamento de esgotos com grande potencialidade de remoção de sólidos, não houve altas taxas de remoção para todos esses parâmetros. Os resultados obtidos mostraram uma taxa de remoção de 80,37% para SST, valor que ficou dentro da faixa 60 a 90% estabelecida na NBR 13969/1997 para sistema fossa séptica em conjunto com filtro anaeróbico. Já para os ST e SDT as taxas médias de remoção foram de 22,3 e 18,9% respectivamente.

Os valores médios da concentração de nitrogênio total no afluente e na água residuária tratada, e o percentual de eficiência de sua remoção no sistema de filtros anaeróbios verticais ao longo dos cinco meses de monitoramento são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores de nitrogênio total (NT) e de fósforo total (PT) no afluente e na água residuária tratada

Data da coleta	NT (mg L-1)			PT (mg L-1)		
	AFL	ART	TR (%)	AFL	ART	TR (%)
Julho	38,0	35,0	8	13,3	3,0	77
Agosto	29,0	23,0	21	4,4	1,1	76
Setembro	119,0	115,0	3	9,5	3,0	68
Outubro	30,0	28,0	7	6,0	1,2	81
Novembro	22,0	14	36	3,0	1,0	67
Maior Valor	119,0	115,0	36	13,3	3,0	81
Menor Valor	22,0	14,0	3	3,0	1,0	68
Nº de amostras	5	5	5	5	5	5
Média	47,6	43,0	15	7,3	1,9	74
Desvio padrão	40,3	41,0	0,1	4,2	1,1	0,1

AFL= Afluente, ART= Água Residuária Tratada, TR= Taxa de Remoção.

As concentrações mínima e máxima de nitrogênio total obtidas no afluente foram de 22,0 mg L-1 e 119,0 mg L-1 respectivamente, as quais superam o valor médio de 17,4 mg L-1 obtidos por May e Hespanhol (2009). Os valores obtidos encontram-se também acima das concentrações média de 5,6 mg L-1, mínima de 0,7 mg L-1 e máxima de 21,2 mg L-1 encontradas nos estudos realizados por Bazzarella (2005). Após tratamento no sistema de filtros anaeróbios verticais, o valor médio da concentração de nitrogênio total foi de 43 mg L-1, valor bem acima do intervalo referenciado por Trani, Tivelli e Carrijo (2011), entre 5 e 20 mg L-1, para água considerada de boa qualidade para irrigação.

Após a passagem do efluente pelos filtros anaeróbios verticais, a eficiência de remoção de nitrogênio ficou em torno de 15%, o que é considerado baixo se comparado ao valor de 70,2% obtido por Pitoro (2019). De acordo com Chernicharo et al. (2009), como o tratamento anaeróbio ocorre na ausência de oxigênio, este é um fator limitante para a remoção de nitrogênio, pois a nitrificação requer a presença de oxigênio dissolvido, o que só é possível em ambiente aeróbio. Pode-se concluir que a nitrificação ocorrida nos filtros anaeróbios não foi suficiente para atingir as metas desejadas para o reaproveitamento de efluentes na irrigação de hortaliças.

Com relação ao fósforo total, o resultado médio encontrado na água residuária tratada foi de 7,3 mg L⁻¹, valor que ficou dentro das faixas de referência, para águas residuárias domésticas estabelecidas por Von Sperling (2005), Jordão e Pessôa (2011), Chernicharo et al. (2009) e Matcalf e Eddy (1991), que são de 3 a 9 mg L⁻¹, 3 a 13 mg L⁻¹, 4 a 12 mg L⁻¹ e 4 a 16 mg L⁻¹, respectivamente. Ucker et al. (2012) obtiveram valor médio de fósforo total no efluente de entrada de 4,9 mg L⁻¹, enquanto Lima (2005) obteve um valor médio de 5,9 mg L⁻¹, ambos trabalhando com esgoto sanitário.

Os teores de fósforo total do efluente após passar pelos filtros variaram entre 1 e 3 mg L⁻¹. Esses valores são semelhantes ao valor médio de 2,7 mg L⁻¹ obtido por Panchoni et al. (2008) em um estudo avaliando as variáveis físico-químicas e bioquímicas de efluente infiltrado de laticínio. No entanto, as concentrações apresentadas na Tabela 6 são inferiores aos obtidos por Miranda (1995 apud PANCHONI et al., 2008), que encontrou valor médio de 9,4 mg L⁻¹ em efluentes domésticos com tratamento secundário. Observa-se que os teores de fósforo total obtidos na saída do sistema estão acima do valor limite de 0,1 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 para águas Classe 1 destinadas a irrigação das hortaliças a serem consumidas cruas. Entretanto, esses teores de fósforo total na saída do sistema estão abaixo do valor máximo (30 mg L⁻¹) proposto por Trani, Tivelli e Carrijo (2011) para a irrigação de hortaliças.

A eficiência de remoção de fósforo total atingiu um valor de 74%, superior à média de 36% encontrada por Campos, Carmo e Botelho (2006). Quege (2011) relatou que a remoção de fósforo total é mais eficaz em sistemas de tratamento que envolvem plantas em crescimento. Em um estudo realizado com alagados construídos com fluxo vertical descendente, o autor precisado obteve uma taxa de remoção de fósforo de 98,4% para os módulos cultivados com *Guadua angustifolia* e 94,5% para os módulos não vegetados.

Quanto ao potássio, as concentrações mínima e máxima obtidas (Tabela 7) no afluente foram de 69,0 mg L⁻¹ e 147,0 mg L⁻¹ respectivamente, as quais ficaram acima dos valores médio 9,7 e 10,3 mg L⁻¹ obtidos por Sandri (2003). Após tratamento no sistema de filtros anaeróbios verticais, o valor médio da concentração de potássio foi de 81,4 mg L⁻¹, valor que ficou dentro da faixa 5 e 100 mg L⁻¹ recomendado por Trani, Tivelli e Carrijo (2011), para a irrigação de hortaliças.

Tabela 7 - Valores de potássio (K) no afluente e na água residuária tratada

Data da coleta	K (mg L ⁻¹)		
	AFL	ART	TR (%)
Julho	90,0	71,0	21
Agosto	74,0	61,0	18
Setembro	147,0	135,0	8
Outubro	95,3	74,2	22
Novembro	69,0	66,0	4
Maior Valor	147,0	135,0	8
Menor Valor	69,0	61,0	12
Nº de amostras	5	5	5
Média	95,1	81,4	14
Desvio padrão	31,0	30,4	2,0

AFL= Afluente, ART= Água Residuária Tratada, TR= Taxa de Remoção.

Não existe muita informação disponível na literatura sobre o comportamento do potássio no tratamento de águas residuárias em filtros anaeróbios, uma vez que esse elemento químico não está, normalmente, associado à qualidade do efluente. Todavia, segundo Matos, Freitas e Lo Marco (2010), o potássio está incluído entre os nutrientes absorvidos pelos vegetais e que podem causar problemas quando encontrados em teores elevados no solo, dificultando desse modo um bom aproveitamento agrícola da água residuária tratada. Por essa razão, suas concentrações devem ser necessariamente monitoradas.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 7, nota-se uma taxa média de remoção de potássio de apenas 17%. Este resultado de remoção foi inferior ao reportado por Matos, Freitas e Lo Marco (2010), que relataram que em um sistema alagado construído sem planta, na remoção de poluentes de águas residuárias de suinocultura, obtiveram valor de eficiência média de remoção de 43%. O motivo dos baixos valores de remoção de potássio obtidos nesta pesquisa em comparação com os encontrados na literatura podem ser atribuídos à alta solubilidade que esse cátion exibe e sua fraca associação com a matéria orgânica, o que o torna pouco retido no substrato.

4.2.2 Parâmetros bioquímicos

Na Tabela 8 são apresentadas as variações dos valores de DQO e DBO no afluente e na água residuária tratada ao longo dos cinco meses de monitoramento. Os resultados obtidos mostraram que no afluente os teores variaram de 107 a 367 mg L⁻¹ para DQO e de 16 a 56 mg L⁻¹ para DBO, já na água residuária tratada os valores oscilaram entre 18 e 31 mg L⁻¹ para DQO e entre 7,4 e 33 mg L⁻¹ para DBO. Estes parâmetros durante a passagem pelos filtros sofreram uma taxa média de remoção de 42% para DBO e de 84% para DQO.

Tabela 8 - Valores de demanda química de oxigênio (DQO) e de demanda biológica de oxigênio (DBO) no afluente e na água residuária tratada

Data da coleta	DQO (mg L ⁻¹)			DBO (mg L ⁻¹)		
	AFL	ART	TR (%)	AFL	ART	TR (%)
Julho	119,0	31,0	74	56,0	33,0	41
Agosto	107,0	28,0	74	16,0	7,4	54
Setembro	129,0	18,0	86	47,0	23,0	51
Outubro	230,0	19,0	92	43,0	25,0	42
Novembro	367,0	22,0	94	37,0	28,0	24
Maior Valor	367,0	31,0	94	56,0	33,0	54
Menor Valor	107,0	18,0	74	16,0	7,4	24
Nº A	5	5	5	5	5	5
Média	190,4	23,6	84	39,8	23,3	42
Desvio padrão	110,2	5,7	0,1	15,0	9,6	0,1

AFL= Afluente, ART= Água Residuária Tratada, TR= Taxa de Remoção. Nº A= Número de amostras

De acordo com Von Sperling (2005), a relação DQO/DBO é um indicador do nível da fração de matéria orgânica não biodegradável no esgoto; quanto maior for esta relação, é uma indicação de baixa degradação de matéria orgânica que pode estar relacionado ao insucesso do sistema de tratamento biológico adotado ou a qualidade do esgoto. Assim, para um determinado efluente, se a relação $DQO/DBO < 2,5$ o mesmo é facilmente biodegradável, sendo indicado o tratamento biológico. Se a relação $5,0 < DQO/DBO \leq 2,5$, este efluente irá exigir cuidados na escolha do processo biológico para que se tenha uma remoção desejável de carga orgânica, e se

DQO/DBO > 5, a fração não biodegradável é elevada, não sendo recomendado utilizar tratamento biológico e sim físico-químico (JARDIM e CANELA, 2004).

A relação (DQO/DBO) com valor de 1.01 obtida no afluente desta pesquisa é semelhante ao valor obtido por Pitoro (2019) avaliando este mesmo sistema tratamento. Segundo o referido autor, os baixos valores de remoção de DBO obtidos podem ser atribuídos a qualidade do efluente e não necessariamente a capacidade de degradação de matéria orgânica do sistema utilizado na presente pesquisa. Os valores médios de eficiência de remoção de DBO e DQO obtidos nesta pesquisa também foram similares aos verificados por Santos et al. (2012) que obtiveram taxas médias de remoção na ordem de 42% para a DBO e 62% para a DQO, avaliando um reator UASB de fluxo ascendente com manta de lodo.

Segundo as recomendações da CONAMA (2005) e da USEPA (2012), os valores de DBO das águas destinadas a irrigação de hortaliças a serem consumidas cruas não devem ultrapassar 5 mg L⁻¹ e 10 mg L⁻¹. Sendo a alface uma hortaliça consumida in natura, infere-se, portanto, que o valor médio 23,3 mg L⁻¹ obtido na água residuária tratada não atende os requisitos de DBO para ser utilizado não irrigação dessa cultura. No entanto, segundo Hespanhol (2003), valores de DBO inferiores a 100 mg L⁻¹ não prejudicam a absorção de água pelas raízes das plantas.

4.2.3 Parâmetros microbiológicos

Os valores médios, máximos, mínimos dos números mais prováveis (NMP) de coliformes fecais (*E. Coli*) e totais e a porcentagem de remoção desses parâmetros estão apresentados na Tabela 9.

Os resultados (Tabela 9), em termos de eficiência média de remoção, foram superiores aos do estudo conduzido por Fernandes (2017), que obteve remoção de 81,5% de coliformes totais e de 91,4% coliformes termotolerantes. Pitoro (2019) avaliando o mesmo sistema da presente pesquisa, registrou eficiências de remoção de coliformes totais e coliformes fecais de aproximadamente 100%.

Para o enquadramento da água residuária tratada, os dados apresentados na Tabela 9 foram comparados ao limite máximo de 1000 NMP/100 mL para água destinada à irrigação de hortaliças estabelecido pela OMS (2006) e Resolução CONAMA nº 357/2005. A partir da segunda análise microbiológica realizada (17 dias após a ativação do sistema), verifica-se que água residuária tratada, estava apta para

uso na irrigação de hortaliças a serem consumidas in natura, segundo a resolução CONAMA nº 357 (17/03/2005).

Tabela 9 - Valores de coliformes totais (CT) e de coliformes fecais (*E. Coli*) (CF) no afluente e na água residuária tratada

Data da coleta	CT (NMP 100 mL ⁻¹)			CF (NMP 100 mL ⁻¹)		
	AFL	ART	TR (%)	AFL	ART	TR (%)
Julho	7,215*10 ⁴	1,45*10 ⁴	80	3,1690*10 ⁴	5,2*10 ³	84
Agosto	2,3745*10 ⁵	1,78*10 ³	99	1,583*10 ⁵	<1	100
Setembro	1,204*10 ⁴	1,354*10 ³	89	9,0*10 ³	<1	100
Outubro	7,26*10 ⁴	5,18*10 ³	93	2,59*10 ⁴	<1	100
Novembro	7,077*10 ⁴	8,30	100	1,9030*10 ⁴	<1	100
Dezembro	1,583*10 ⁴	14,50	99,90	1,013*10 ⁴	<1	100
Média	-	-	93	-	-	97

AFL = Afluente, ART= Água Residuária Tratada, TR= Taxa de Remoção.

Utilizando o mesmo sistema para tratar esgotos domésticos para fins de irrigação por gotejamento na cultura da couve-manteiga, a *população* inicial de coliformes fecais varia entre 3,36 x10⁵ NMP 100 m L⁻¹ e 7,42 x 10⁸ NMP 100 m L⁻¹, Pitoro (2019) obteve água de qualidade para irrigação de hortaliças 100 dias após a ativação. Essa diferença provavelmente se deve à menor carga de coliformes presente no afluente desta pesquisa em relação ao afluente utilizado pelos referido autor.

4.3 Caracterização da água de abastecimento

O valor médio do pH da água de abastecimento ao longo da condução experimento foi de 7,4 (Tabela 10), valor este encontrando-se dentro da faixa 6,0 e 9,0 estabelecida pela USEPA (2004) e resolução CONAMA nº 357/2005 para as águas destinadas à irrigação de alimentos a serem consumidos crus, como hortaliças, legumes e frutas. O resultado obtido por Costa (2012), avaliando o uso de água residuária de origem doméstica no cultivo do girassol, aproxima-se do valor médio encontrado neste trabalho. O autor obteve um valor médio de pH igual a 7,0.

Com relação à condutividade elétrica, a água de abastecimento apresentou valor médio de $49,3 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Tabela 10), este valor é considerado de acordo com a classificação de Ayres e Westcot (1991) sem nenhum risco de salinidade para o solo. Considerando a classificação da qualidade de água para irrigação por gotejamento que inclui os principais fatores envolvidos na obstrução de emissores, a água de abastecimento indicou um baixo risco de obstrução de gotejadores, por ser inferior ao limite de $800 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (COSTA, 2012).

A concentração média de nitrogênio total encontrada na água de abastecimento foi de $13,3 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 10), a qual supera o valor limite de 10 mg L^{-1} estabelecido pela Portaria 518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005) para potabilidade da água. Para irrigação de hortaliças a serem consumidas in natura, a concentração média de nitrogênio total na água de abastecimento encontra-se dentro do intervalo 5 e 20 mg L^{-1} proposto por Trani, Tivelli e Carrijo (2011), para água considerada de boa qualidade para irrigação.

Tabela 10 - Caracterização química da água de abastecimento utilizada no experimento e valores máximos de diferentes parâmetros na água de irrigação para hortaliças

Parametros	AA	Boletim técnico IAC, 196	OMS (2006)	Ayres e Westcot (1991)
pH	7,4	7,0 - 7,5		6,5 - 8,5
CE($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	49,3	500 – 1200		< 700
Nitrogênio (mg L-1)	13,3	5-20		< 30
Fósforo (mg L-1)	1,4	30		
Potássio (mg L-1)	102,4	5 - 100		
Coliformes totais (NMP 100 mL ⁻¹)	<1	< 5.000		
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL ⁻¹)	<1	< 1.000	<1000	

AA- Água de Abastecimento; IAC- Instituto Agrônomo de Campinas; OMS- Organização Mundial da Saúde

Na água de abastecimento o teor médio de fósforo total ao longo do período experimental foi de 1,4 mg L⁻¹ (Tabela 10), valor muito abaixo do limite 30 mg L⁻¹ proposto por Trani, Tivelli e Carrijo (2011) para irrigação de hortaliças. Urbano (2013) obteve valor médio de fósforo total na água de abastecimento de 0,5 mg L⁻¹, enquanto Sales e Sánchez-Román (2019) obtiveram valor médio de 0,0 mg L⁻¹. Observa-se que o teor médio de fósforo total obtido na água de abastecimento está acima do valor limite de 0,1 mg L⁻¹ estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 para as águas de Classe 1 destinadas a irrigação das hortaliças a serem consumidas cruas.

A concentração média de potássio na água de abastecimento foi 102,4 mg L⁻¹ (Tabela 10), valor este que ficou ligeiramente acima da faixa 5 - 100 mg L⁻¹ proposta por Trani, Tivelli e Carrijo (2011) para irrigação de hortaliças. O valor médio de potássio obtido na água de abastecimento neste trabalho foi superior aos valores de 5,8 mg L⁻¹ e 2,3 mg L⁻¹ obtidos respectivamente por Duarte (2008) e Urbano (2013).

De acordo com os dados apresentados na Tabela 10, não foram encontrados coliformes totais ou termotolerantes nas amostras de água de abastecimento analisadas. Esses resultados permitiram concluir que a água de abastecimento utilizada na irrigação apresentou excelente qualidade microbiológica ao longo da condução do experimento. Costa (2012) avaliando a qualidade da água de abastecimento para irrigação na cultura do girassol, encontrou ausência de coliformes totais e termotolerantes nas amostras analisadas. O autor concluiu também que a água de abastecimento utilizada atendeu os critérios de potabilidade estabelecidos pela Portaria 518/2004 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005).

4.4 Coeficientes de uniformidade do sistema de irrigação

Durante o primeiro e segundo ciclos de cultivo, os gotejadores operaram por aproximadamente 5 h e 6 h respectivamente. A avaliação dos efeitos da aplicação dos cinco tratamentos no desempenho do sistema de irrigação foi realizada através da determinação dos coeficientes de uniformidade CUC, CUD e CUE.

Os valores dos coeficientes de uniformidade obtidos após a primeira avaliação (0 hora) podem ser visualizados na Tabela 11. Constatou-se que antes de iniciar a pesquisa, os valores de CUC foram os mesmos para todos os tratamentos, enquanto os valores de CUD e de CUE apresentaram pequenas variações entre si, mas permaneceram acima de 95%.

Tabela 11 - Valores de coeficientes de uniformidade para os diferentes tratamentos no início do experimento

Coeficientes	T1	T2	T3	T4	T5
CUC (%)	99	99	99	99	99
CUD (%)	96,6	96,9	95,8	96,6	95,1
CUE (%)	97,0	97,7	96,4	96,3	96,9

T1- 100%ART, T2- 75%ART + 25%AA, T3- 50%ART + 50%AA, T4- 25%ART + 75%AA, T5- 100AA.

Também foi observado na tabela mencionada anteriormente que os valores médios dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), distribuição (CUD) e estatística (CUE) no início da operação (0 horas) das subunidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 foram classificados como excelentes segundo Mantovani, Bernardo e Palaretti (2009), pois estavam acima de 90%. De acordo com a classificação de desempenho proposta por Merrian e Keller (1978), todas subunidades de irrigação dos cinco tratamentos também foram classificados como excelentes (> 90%). Os valores encontrados no presente trabalho estão bem próximos aos dados apresentados por Cunha et al. (2006), que obtiveram resultados médios do CUC e CUD de 94,8 e 92,4% no tempo de operação de 0 horas.

Os valores determinados para os coeficientes de uniformidade nas segunda e terceira avaliações ocorridas, respectivamente, aos 31 DAT no primeiro ciclo e 41 DAT no segundo ciclo para os diferentes tratamentos são apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 - Valores de coeficientes de uniformidade para os diferentes tratamentos após o primeiro ciclo da cultura

Coeficientes	T1	T2	T3	T4	T5
CUC (%)	99	99	99	99	99
CUD (%)	94,8	95,2	93,5	95,2	95,7
CUE (%)	93,8	95,0	94,3	95,0	95,5

T1- 100%ART, T2- 75%ART + 25%AA, T3- 50%ART + 50%AA, T4- 25%ART + 75%AA, T5- 100AA.

Tabela 13 - Valores de coeficientes de uniformidade para os diferentes tratamentos no final do experimento

Coeficientes	T1	T2	T3	T4	T5
CUC (%)	99	99	99	99	99
CUD (%)	93,0	93,4	93,4	94,7	93,5
CUE (%)	93,6	94,5	94,3	94,3	95,2

T1- 100%ART, T2- 75%ART + 25%AA, T3- 50%ART + 50%AA, T4- 25%ART + 75%AA, T5- 100AA.

Constatou-se que após a segunda avaliação, os valores de CUC foram novamente os mesmos para todos os tratamentos, enquanto os resultados de CUD e CUE diminuíram com o aumento das concentrações de água residuária tratada, porém, ficaram acima de 93 %. Ao final da pesquisa, ou seja, depois da terceira avaliação, os valores de CUC também foram iguais para todos os tratamentos, enquanto nos valores do CUD e CUE observou-se um decréscimo conforme houve aumento nos percentuais de água residuária tratada, chegando após 12 h de uso aos valores de CUD de 93,0, 93,4, 93,4, 94,7, 93,5% e aos valores de CUE de 93,6, 94,45, 94,3, 94,3, 95,2% respectivamente para T1, T2, T3, T4 e T5. Comportamento semelhante também foi observado por Fernandes et al. (2017) que avaliaram o desempenho do sistema de irrigação por gotejamento operando com diferentes diluições de percentuais de lâminas de efluentes domésticos tratados com água de abastecimento por 133 horas de operação.

Comparando os resultados encontrados na primeira e última avaliação, houve redução nos valores de CUD em 3,6%, 3,6%, 2,4%, 1,9% e 1,6% e nos valores de CUE em 3,4%, 3,3%, 2,1%, 2,0% e 1,7%, respectivamente, para as subunidades de irrigação sob tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. Fernandes et al. (2017) relataram que houve redução nos valores de CUD de 69, 91, 44, 41 e 33%, respectivamente, para as unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 operando por 133 horas. Costa (2012) mostrou uma redução nos valores de CUD de 74, 90, 50, 40 e 18%, respectivamente, para as unidades de irrigação dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 após 91 horas de operação.

Considerando a classificação do índice de uniformidade proposta por Mantovani (2001), para todas os momentos de avaliação, os coeficientes de uniformidade da irrigação obtidos são classificados como excelentes, mostrando que

o sistema de irrigação apresentou e manteve boas condições para o seu uso, mesmo depois dois ciclos de cultivo. No entanto, diante dos resultados apresentados, conclui-se que o aumento das concentrações de águas residuárias domésticas tratadas pelos filtros anaeróbios verticais têm a possibilidade de influenciar negativamente na uniformidade do sistema de irrigação a longo prazo.

4.5 Parâmetros de crescimento

Verifica-se nas Tabelas 14 e 15 que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as médias das variáveis diâmetro de cabeça, número de folhas, massa fresca da parte aérea no 1º e 2º ciclo da cultura após a aplicação dos cinco tratamentos. Fonteles et al. (2015) analisando o crescimento e a produção de duas cultivares de alface utilizando água de esgoto doméstico proveniente do campus da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), não encontraram diferenças significativas para as variáveis diâmetro do caule, número de folhas, matéria seca da parte aérea e produtividade.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância das variáveis não destrutivas no final do 1º ciclo de cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.) em experimento conduzido em Botucatu-SP, no período de setembro-outubro/ 2021

Causas de variação	Quadro médio				
	GL	DC	NF	MFPA	MSPA
Tratamento	4	10,1 ^{NS}	1,9 ^{NS}	292,5 ^{NS}	5,1*
Resíduo	24	4,9	5,5	689,7	1,6
CV	(%)	8,7	14,3	17,3	17,5
Tratamento	Valores Médios				
T1		27,5 a	15,5 a	87,4 a	5,5 a
T2		29,4 a	17,0 a	103,9 a	7,1 ab
T3		30,1 a	16,5 a	104,7 a	7,5 ab
T4		31,1 a	15,9 a	107,0 a	8,1 b
T5		30,9 a	16,8 a	103,2 a	7,6 ab
Dms		6,4	4,5	44,17	2,4

T1- 100%ART, T2- 75%ART + 25%AA, T3- 50%ART + 50%AA, T4- 25%ART + 75%AA, T5- 100AA.

GL- Glau de Liberdade, DC-Diâmetro de Cabeça, NF: Número de folha, MFPA: Massa Fresca da Parte Aérea, MSPA- Massa Seca da Parte Aérea, CV- Coeficiente de Variação, Dms- Diferença mínima significativa.

Nota: NS – Não significativo; * Significativo ($p < 0,05$); Letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Tabela 15 - Resumo da análise de variância das variáveis não destrutivas no final do 2º ciclo de cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.) em experimento conduzido em Botucatu-SP, no período de novembro-dezembro/ 2021

Causas de variação	Quadro médio				
	GL	DC	NF	MFF	MSF
Tratamento	4	10,1 ^{NS}	3,3 ^{NS}	392,0 ^{NS}	4,1 ^{NS}
Resíduo	24	4,9	16,0	2251,4	8,7
CV	(%)	8,7	15,3	34,1	27,3

Tratamento	Valores Médios				
T1		26,1 a	24,7 a	139,4 a	12,1 a
T2		25,1 a	30,2 a	141,7 a	10,5 a
T3		26,0 a	24,2 a	141,6 a	10,8 a
T4		26,4 a	24,1 a	124,9 a	9,6 a
T5		27,3 a	25,1 a	149,1 a	11,0 a
Dms		7,8	9,5	92,0	5,7

T1- 100%ART, T2- 75%ART + 25%AA, T3- 50%ART + 50%AA, T4- 25%ART + 75%AA, T5- 100AA.

GL- Glau de Liberdade, DC-Diâmetro de Cabeça, NF: Número de folha, MFPA: Massa Fresca da Parte Aérea, MSPA- Massa Seca da Parte Aérea, CV- Coeficiente de Variação, Dms- Diferença mínima significativa.

Nota: NS – Não significativo; * Significativo ($p < 0,05$); Letras iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Resultados semelhantes foram encontrados por Silva et al. (2007) em experimento avaliando o reaproveitamento de efluentes oriundos de criação de peixes e de suínos na irrigação da cultura da alface. Os autores observaram que para as variáveis diâmetro da cabeça, comprimento da raiz, massa da raiz, massa total da planta, massa fresca e massa seca, não foi verificada diferença significativa no nível de 5% de probabilidade pelo teste F, em relação ao fator tipo de água residuária utilizada. Os valores obtidos concordam também com os resultados de Baumgartner

et al. (2007), que verificaram que as matérias seca e fresca da parte aérea não variaram significativamente, quando a alface foi cultivada com águas residuárias da piscicultura e da suinocultura.

Juchen (2000) avaliando a produção da cultura de alface americana fertirrigada com águas residuárias de laticínio e de frigorífico, não encontrou diferença significativa entre os tratamentos para o diâmetro de cabeça da alface e o número de folhas. Dados esses foram também observados por Lima et al. (2011), que avaliando a produção de mudas de abóbora irrigada com distintas proporções de água tratada proveniente de esgoto doméstico, não encontraram diferenças significativas entre os tratamentos para maioria das as variáveis analisadas.

Tavares et al. (2005) examinando os efeitos da irrigação com água residuária de origem doméstica e aplicação de adubo orgânico, observaram que a interação entre os dois fatores não foi significativa a 5% de probabilidade. Os autores também não observaram diferenças significativas ao nível de 5% para a maioria das variáveis analisadas devido ao fator tipo de água utilizada.

Os resultados de Santos (2019), em experimento realizado com água residuária tratada no cultivo de alface, diferem aos do presente trabalho, pois a autora verificou que houve diferença significativa entre as proporções da lâmina de irrigação, para todas as variáveis mostradas nas Tabelas 14 e 15 para águas residuárias tratadas por alagados construídos (ARTAC). Além disso, os resultados encontrados no presente trabalho não coincidem com o trabalho desenvolvido por Baumgartner et al. (2005), que, ao irrigar alface com água residuária de atividades agroindustriais, encontraram diferenças entres os tratamentos nas variáveis altura da planta, diâmetro da cabeça, comprimento da maior folha, número médio de folhas por planta, massa fresca, massa seca e massa total da planta. Isso poderia ser explicado pela origem das águas residuárias e/ ou pelo sistema de tratamento utilizado.

A MSF das plantas no 1º ciclo foi a única variável na qual foi verificada diferença significativa no nível de 5% de probabilidade pela aplicação das diferentes proporções de lâmina de irrigação de água residuária tratada, onde foi observado que o tratamento T4 diferiu do T1 mas não apresentou diferença significativa em relação aos T2, T3 e T5. O maior valor médio de MSF foi encontrado no tratamento T4 (25%ART + 75%AA) e o menor no tratamento T1 (100%ART + 0%AA). A partir dos resultados obtidos, pode-se afirmar que a aplicação das diferentes concentrações de lâmina de irrigação

de água residuária tratada não influenciou no crescimento da cultura da alface corroborando com Baumgartner et al. (2007) e Fonteles et al. (2015).

Figura 19 - Exemplos de alface produzida no primeiro ciclo

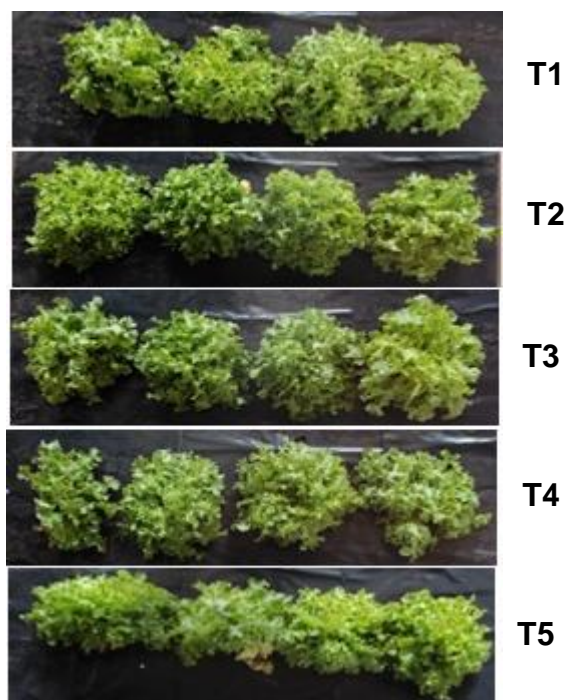
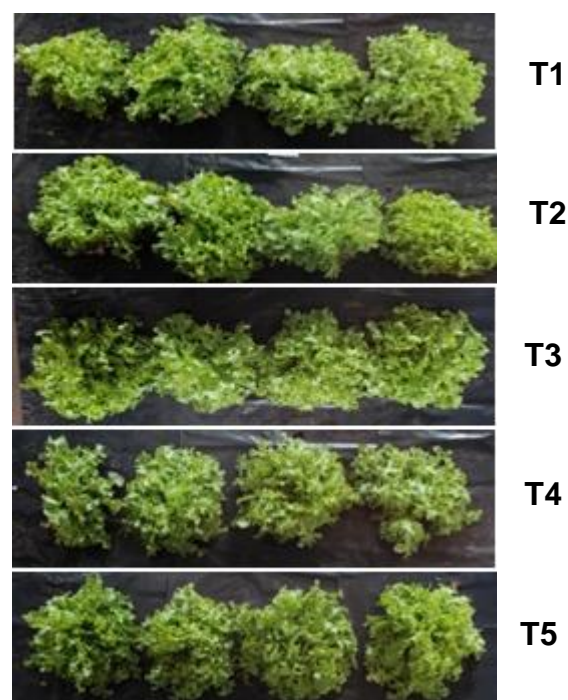
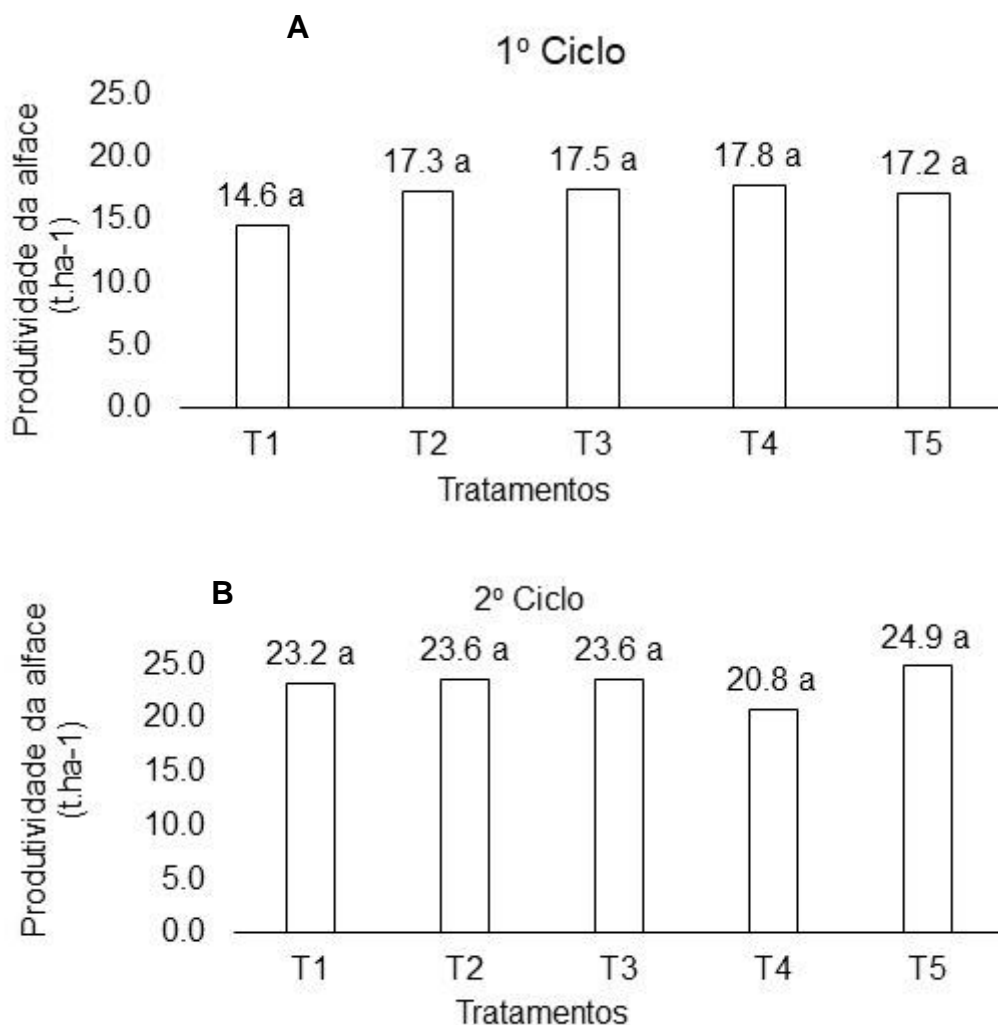


Figura 20 - Exemplos de alface produzida no segundo ciclo



A Figura 21 apresenta as produtividades médias em função dos tratamentos estudados durante os dois ciclos de cultivo.

Figura 21 - Valores médios da produtividade da alface em função dos diferentes tratamentos avaliados durante os dois ciclos de cultivo



Nota: Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas colunas para cada tratamento não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Verifica-se, na Figura 21, pelo teste de comparação entre as médias das produtividades, que não houve diferença estatística entre os tratamentos avaliados durante os dois ciclos, corroborando com Fonteles et al. (2011) que ao avaliarem o crescimento e a produção de duas cultivares de alface utilizando diferentes diluições da água residuária tratada não obtiveram diferenças estatísticas entre os tratamentos,

evidenciando assim o potencial de substituição de parte da adubação química, a viabilidade técnica do reuso de esgotos na irrigação da alface, além da economia de água de melhor qualidade. Além disso, os valores de produtividades obtidos no primeiro ciclo ficaram próximos da média nacional de 15 t. ha⁻¹ divulgada pelo Instituto de Economia Agrícola-IEA (2017), referente à safra de 2016/17 (Figura 21A). Com relação ao segundo ciclo, para todos os tratamentos, as produtividades obtidas foram superiores à média nacional do ano de 2016 (Figura 21B).

Rego et al. (2005) trabalharam com esgoto doméstico tratado na produção da melancia, variedade Crimson Sweet, irrigada por gotejamento. Os referidos autores não encontraram diferenças estatísticas entre os tratamentos T1 (água do poço mais adubação recomendada); T2 (efluente mais adubação recomendada); T3 (efluente); e T4 (efluente mais a metade da adubação recomendada) para a produtividade e as outras variáveis analisadas, demonstrando a possibilidade de utilização do esgoto tratado sem adubação, economizando não somente o adubo, mas também a água do poço, tornando a irrigação e o cultivo mais baratos.

4.6 Qualidade microbiológica e sanitária das plantas produzidas com água residuária de origem doméstica

A Tabela 16 mostra os valores médios e desvio padrão do nível populacional de coliformes fecais e totais encontrados em folhas de alface produzidas com diferentes proporções de água residuária tratada. Os resultados de contaminação da alface por coliformes totais e *E. coli* foram comparados com as especificações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Resolução RCD nº 12, de 02 de janeiro de 2001, que estabelece critérios e padrões microbiológicos para alimentos, tolerando a ausência de *Salmonella* em 25 g e concentração máxima de coliformes fecais de 100 NMP.g⁻¹ para vegetais.

Os valores encontrados mostram que a contaminação por *E. coli* das folhas de alface irrigadas por gotejamento, com águas residuárias ao final dos dois ciclos, foram abaixo do índice de tolerância permitido pela legislação. Este resultado, de longe inferior ao limite estabelecido pela vigilância sanitária, deve-se provavelmente às chuvas intensas, ocorridas na semana anterior à coleta das amostras de alface, sendo 32,0 mm no primeiro ciclo e 171,3 mm no segundo ciclo, e também ao fato que o

sistema de irrigação por gotejamento reduz drasticamente o contato da água de irrigação com a folhagem da cultura.

Tabela 16 - Resultados das análises microbiológicas das folhas para os diferentes tratamentos nos 1º e 2º ciclo

Indicadores microbiológicos	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
1º ciclo					
Coliformes totais (NMP.g ⁻¹)	17,0 ±2,4	18,2 ±0,6	15,2 ±1,3	14,1 ±2,6	13,4 ±0,4
E. Coli (NMP.g ⁻¹)	0,2 ±0,3	0 ±0	0 ±0	0 ±0	0 ±0
2º ciclo					
Coliformes totais (NMP.g ⁻¹)	12,4 ±1,8	13,5 ±0,3	10,2 ±1,9	11,2 ±1,1	9,8 ± 0,4
E. Coli (NMP.g ⁻¹)	0 ±0	0 ±0	0,05 ±0,1	0 ±0	0 ±0,0

T1- 100%ART, T2- 75%ART + 25%AA, T3- 50%ART + 50%AA, T4- 25%ART + 75%AA, T5- 100AA.

Com relação aos coliformes totais, não existe norma estabelecida, contudo Varallo et al. (2011) declararam que apesar da ausência de padrões federais para esses tipos de micro-organismos em hortaliças, altos índices dos mesmos indicam condições higiênicas inadequadas na manipulação das plantas. Segundo Sales (2018), a contaminação coliformes totais se deve ao fato de as plantas cultivadas em campo aberto estarem sujeitas a diversos patógenos e fatores contaminantes como chuva, tratos culturais e fertilização que aumentaram os riscos. Os resultados das análises bacteriológicas (Tabela 16) das alfaces produzidas durante todo o experimento mostraram a presença de coliformes totais em todas as amostras avaliadas.

Embora a presença de coliformes totais tenha sido verificada em todas as amostras analisadas, isso não significa necessariamente um grande perigo para o consumidor, nem uma qualidade inferior das plantas produzidas. No entanto, para poder evitar a contaminação do consumidor de hortaliças, recomenda-se a higienização com cloro de qualquer alimento produzido com água residuária, possibilitando assim uma redução ainda maior da carga microbiana.

Semelhante aos resultados encontrados neste trabalho, diferentes pesquisadores relataram que a aplicação de águas residuárias tratadas na agricultura não apresenta risco à saúde pública. Varallo et al. (2011) ao avaliarem a qualidade sanitária de alface irrigada com água de reuso tratada proveniente de cozinha e banheiros em comparação com amostras comercializadas, encontraram ausência de coliformes fecais em todas as amostras de alface irrigada com água residuária tratada, concluindo que a parte aérea da alface das plantas estava dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente.

Os resultados obtidos neste estudo também concordam com as observações feitas por Baumgartner et al. (2005), que avaliaram o desempenho de alfaces irrigadas com águas residuárias de atividades agroindustriais, os autores encontraram valores de coliformes fecais abaixo de 45 NMP.g⁻¹ e a ausência de *E. Coli*. Pitoro (2019) também relatou boa qualidade microbiológica obtida para a cultura da couve-manteiga irrigada com água residuária tratada utilizando o mesmo sistema de tratamento da presente pesquisa.

Aplicando água de reuso hidropônico no cultivo de alface, Cuba (2015) concluiu que as alfaces irrigadas com água residuária tratada e com água de abastecimento apresentaram concentrações totais de coliformes inferiores a 100 UFC m L⁻¹ e ausência de contaminação por coliformes fecais. Resultados semelhantes foram encontrados por Urbano et al. (2017), Eregno et al. (2017), Decol et al. (2019) e Santos (2019) em culturas de alface irrigadas com águas residuárias tratadas.

Duarte (2006) irrigando pimentões com água residuária tratada observou que houve presença de coliformes totais e de coliformes fecais, porém os valores encontrados foram muito baixo. Esta observação coincide com o trabalho desenvolvido por Oliveira (2000) e Perin (2006), ambos cultivaram alface com água residuária tratada.

Sandri (2003) avaliando a irrigação de alface com águas residuárias tratadas com leitos cultivados com macrófitas utilizando três sistemas de irrigação (aspersão, subsuperfície e gotejamento superficial) x dois tipos de água (esgoto e água de depósito superficial) observou que houve contaminação apenas por coliformes fecais em alface irrigada por aspersão com água residuária. No entanto, segundo o autor citado, o índice de contaminação ultrapassou o limite estabelecido pela legislação apenas no primeiro ciclo da cultura com média de 148 NMP.g⁻¹ (peso fresco), enquanto no 2º ciclo o valor ficou abaixo do valor tolerado, porém, próximo ao limite.

Os resultados apresentados no presente estudo evidenciam mais uma vez o potencial das águas residuárias tratadas a serem utilizadas na irrigação de culturas comestíveis in natura, como por exemplo, a alface desde que haja tratamento eficiente do efluente, escolha correta e manejo adequado do sistema de irrigação, restrição do tipo de cultura a ser irrigada e cuidados na colheita, transporte e manuseio. Também, de acordo com Santos (2019), é necessário a criação no Brasil, de uma legislação específica e rigorosa quanto à utilização de águas residuárias na irrigação, com base nos vários estudos científicos realizados, que permitam e incentivem a reutilização das águas residuárias.

4.7 Características químicas do solo após o cultivo

Para uma boa interpretação dos efeitos da irrigação com águas residuárias tratadas, foram realizadas análises químicas no solo na camada 0 – 0,20 cm em três momentos: antes da calagem do solo (análise inicial), após o 1º e o 2º segundo ciclo da cultura. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 17 e 18, e foram comparados com a recomendação do Boletim 100 (RAIJ et al., 1997).

Quase todos os parâmetros químicos analisados no solo foram modificados após a aplicação dos tratamentos, permitindo observar grandes variações em determinados atributos químicos do solo, como fósforo, sódio e cálcio. Verifica-se que, para a maioria das variáveis analisadas, não houve um comportamento lógico em relação aos tratamentos aplicados, pois os resultados observados não mostraram uma tendência linear ascendente ou descendente. Dos 7 parâmetros apresentados na Tabela 17 e que foram analisados no solo após o primeiro ciclo da cultura, dois apresentaram seus maiores valores no tratamento T1, dois no tratamento T3 e dois no tratamento T5, enquanto os menores valores dos parâmetros foram quase todos aleatórios nos demais tratamentos. Já no segundo ciclo, dos 7 parâmetros analisados no solo no final deste ciclo, três apresentaram seus maiores valores no tratamento T1, três no tratamento T2 e um no tratamento T5, enquanto a maioria dos menores valores dos parâmetros foram encontrados nos tratamentos T3 e T4.

Tabela 17 - Disponibilidade de macronutrientes no solo na profundidade de 0 – 0,20 m antes e depois do cultivo

Período	Trat	pH	MO	P _{resina}	Na	K	Ca	Mg
		CaCl ₂	g.dm ⁻³			mmolc.dm ⁻³		
Solo inicial	-	5,2	21	14	-	1,94	29	12
Solo Final Do 1º Ciclo	T1	5,5	19	46	1,6	2,1	37	10
	T2	5,1	20	46	0,9	1,8	37	12
	T3	5,2	18	48	0,7	1,6	40	16
	T4	5,1	18	46	0,6	2,2	32	9
	T5	5,1	20	54	0,3	2,5	32	11
Solo Final Do 2º Ciclo	T1	4,8	24	57	2,3	2,3	22	4
	T2	4,9	26	39	1,9	1,9	24	5
	T3	4,6	26	35	1,5	1,2	20	4
	T4	4,8	23	45	1,1	1,2	21	4
	T5	4,4	27	43	0,6	1,6	17	4

T1- 100%ART, T2- 75%ART + 25%AA, T3- 50%ART + 50%AA, T4- 25%ART + 75%AA, T5- 100AA.

Os resultados de pH do solo após o primeiro ciclo de cultivo não mostraram grandes alterações em relação ao estado inicial. Na camada de 0 - 0,20 m, o pH do solo antes do experimento era de 5,2, e após usar as diferentes proporções de água residuária tratada no primeiro ciclo de cultivo, os valores médios de pH foram de 5,5, 5,1, 5,2, 5,1, 5,1 para os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5, respectivamente. Filho et al. (2018), analisando as alterações químicas do solo pela aplicação de diferentes diluições de água cinza tratada na cultura do milho cv. Ceará (*Pennisetum glaucum*), não constataram variação significativa, ou seja, os tratamentos estudados não afetaram o pH do solo. Após o segundo ciclo de cultivo, observou-se uma forte redução nos valores de pH para todos os tratamentos. Isso poderia ser explicado, seja pela ocorrência de precipitação observada no segundo ciclo de cultivo que pode contribuir na lixiviação de quantidades apreciáveis de bases trocáveis do solo, seja pela aplicação de fertilizantes acidificantes (Uréia) que resulta na acidificação do solo devido à liberação de íons H⁺. Além dos motivos anteriormente expostos, o próprio cultivo pode acentuar a acidez do solo, principalmente pela absorção de cátions pelas raízes das plantas cultivadas, deixando em seus lugares quantidades equivalentes de íons H₃O⁺, ou simplesmente H⁺ (CAMARGOS, 2005).

Observando os valores de pH do solo, na profundidade 0 – 0,20 m, ao final de cada ciclo de cultivo e comparando-os com os dados encontrados no Boletim 100 (RAIJ et al., 1997), que apresenta as classes de interpretação de fertilidade do solo

para o estado de São Paulo, todos os tratamentos estudados estavam dentro da faixa de acidez média no final do primeiro ciclo e alta no final do segundo ciclo. Segundo Amaro et al. (2007) e Oliveira (2017), este solo não possui um pH considerado adequado para a melhor produção de alface, pois esses autores afirmam que esta cultura requer valores de pH entre 6,0 e 6,8 para seu bom desenvolvimento, pois nessa faixa ocorre maior disponibilidade de nutrientes. Assim, com base nos valores observados nos diferentes tratamentos estudados neste trabalho, pode-se afirmar que os valores de pH estão fora da faixa considerada ideal para o cultivo de alface e precisará sempre de calagem para adequar o valor de pH recomendado. Os valores de pH das análises do solo dos diferentes tratamentos estudados podem explicar os resultados de crescimento e produção da cultura, visto que, o pH está diretamente relacionado com a disponibilidade de nutrientes no solo.

Conforme observado na Tabela 17, no final do primeiro ciclo, não foram verificadas diferenças significativas no teor de matéria orgânica (MO) entre os tratamentos estudados, porém os resultados obtidos mostram uma tendência de queda em relação à caracterização química inicial do solo. As maiores reduções foram observadas nos tratamentos T4 e T3, enquanto as menores foram observadas nos tratamentos T5 e T2. No final do segundo ciclo de cultivo, foi observada uma tendência de aumento nos valores de matéria orgânica para todos os tratamentos. De acordo com Silva et al. (2022), esse aumento de matéria orgânica no solo poderia ser explicado pelo aumento da acidez do solo. Em outras palavras, em solos com pH abaixo de 5,0, a atividade microbiana é reduzida, o que impede a rápida mineralização de matéria orgânica.

Medeiros et al. (2005), analisando as alterações químicas de um solo submetido à aplicação de água residuária doméstica, encontraram redução no teor de MO do solo na camada de 0 – 0,20 m para todos os tratamentos. Esses autores atribuíram essa tendência aos fatores calagem e aplicação de sulfato de amônio, que são dois elementos que aceleram a atividade de decomposição da MO pelos microrganismos.

Resultados semelhantes aos teores de MO obtidos no primeiro ciclo do presente trabalho foram encontrados por Azevedo e Oliveira (2005), que analisando os efeitos da aplicação de efluentes de uma estação de tratamento de esgoto doméstico na fertilidade do solo quando cultivado com pepino. Os valores encontrados

pelos autores variaram entre 22,0 e 18,5 g.dm⁻³ e 19,8 e 21,8 g.dm⁻³, respectivamente, para as parcelas que receberam água potável e água residuária.

Duarte et al. (2008), avaliando os teores médios de MO no solo aplicando águas residuárias domésticas tratadas por diferentes métodos, observaram que a concentração da MO no solo no início da pesquisa era de 17,3 g.dm⁻³ e no final de 16,3 g.dm⁻³. Essa diminuição, segundo os autores, deve-se à rápida mineralização da matéria orgânica favorecida pelos teores de nitrogênio e carbono contidos no efluente utilizado. Kuzyakov (2010), Andrade Filho et al. (2013), Homem et al. (2014) e Guenet (2018) afirmam que essa diminuição se deve ao efeito priming positivo, que é descrito como uma redução do carbono logo após a entrada da MO no solo que estimula a atividade microbiana.

Os resultados mostraram, ao final do primeiro ciclo de cultivo, um aumento nos teores médios de fósforo no solo em relação aos valores iniciais (Tabela 17), porém, não foi observado grande diferença entre as unidades experimentais irrigadas com águas residuárias tratadas e as unidades experimentais testemunhas. Essa observação indicou que as alterações nos teores desse elemento não foram causadas pela aplicação de água de reuso, mas provavelmente pela aplicação de fertilizantes, corretivos, entre outros fatores.

O mesmo comportamento foi observado por Duarte et al. (2008) que relataram que não obtiveram diferenças significativas nos teores médios de fósforo no solo entre as parcelas irrigadas com água de reuso sob a cultura de pimentão e as parcelas irrigadas com água potável, ou seja, os resultados foram estatisticamente iguais. Esses autores relataram que os altos teores de fósforo no solo ao final da pesquisa não podem ser atribuídos às águas utilizadas para irrigação.

Cabe mencionar que segundo Rajj et al. (1997), ao final de cada ciclo de cultivo, os teores de fósforo obtidos nos tratamentos estão dentro da faixa 26 a 60 mmolc dm⁻³, considerados médios para produção de hortaliças.

Os resultados (Tabela 27) mostram que a aplicação de diferentes proporções de lâmina de irrigação de água residuária, nos diferentes tratamentos estudados, aumentou os teores de sódio, na sequência T1 > T2 > T3 > T4 > T5, após o término dos dois ciclos de cultivo. Embora as concentrações atuais de sódio no solo não tenham apresentado risco para o desenvolvimento da cultura, verifica-se que ao final de cada ciclo de cultivo, o teor desse elemento apresentou grande aumento nos

diferentes tratamentos, variando de 0,3 a 1,6 mg.dm⁻³ e de 0,6 a 2,3 mg.dm⁻³, respectivamente no 1º e 2º ciclo de cultivo.

Quanto aos elementos cálcio e magnésio, os valores diminuíram do primeiro ao segundo ciclo e essas reduções foram associadas a absorção destes elementos pelas plantas produzidas. De acordo com Raji et al. (2001), os teores de cálcio obtidos no final dos dois ciclos de cultivo são considerados altos por serem superiores a 7 mmolc dm⁻³. Para o elemento fósforo, segundo o autor supracitado, as concentrações obtidas no solo de todos os tratamentos no final do primeiro e do segundo ciclo são consideradas altas e baixas, respectivamente, com exceção ao tratamento T2 cujo teor de magnésio é considerado médio.

A concentração de potássio do solo irrigado com as diferentes proporções de lâmina de irrigação de água residuária tratada durante os dois ciclos de cultivo, mostrou pouca variação do início em relação ao final de cada ciclo de cultivo. No teor de cálcio verificou-se tanto redução como aumento nos diferentes tratamentos estudados em comparação ao estado inicial. De acordo com Raji et al. (1997), os teores de K nos tratamentos permaneceram na faixa considerada média, ou seja, entre 1,6 e 3 mmolc dm⁻³, mesmo após a aplicação de K₂O, mostrando que esse nutriente foi intensamente absorvido pela cultura durante todo o período experimental.

Os teores médios dos micronutrientes encontrados nos cinco tratamentos monitorados, são apresentados na Tabela 18, na qual se observou no final de cada ciclo que, houve uma tendência de aumento de suas concentrações em relação ao estado inicial, salvo para o boro, que foram observadas reduções nas concentrações de todos os tratamentos.

Tabela 18 - Disponibilidade de micronutrientes na profundidade de 0 – 0,20 m no solo antes e depois do cultivo

Período	Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		mg.dm ⁻³				
Solo inicial	-	0,39	3	11	5,4	1,5
Solo Final Do 1º Ciclo	T1	0,33	4,3	28	6,4	3,5
	T2	0,21	4,9	32	7,1	3,6
	T3	0,24	4,3	28	5,8	3,5
	T4	0,38	4,6	33	7,3	3,4
	T5	0,28	4,6	42	8,8	4,8
Solo Final Do 2º Ciclo	T1	0,23	6,6	43	12,7	2,9
	T2	0,22	6,3	40	12,1	3,6
	T3	0,25	6,3	42	11,6	3,2
	T4	0,24	6,2	42	12,3	3,4
	T5	0,34	6,5	48	13,3	4,3

T1- 100%ART, T2- 75%ART + 25%AA, T3- 50%ART + 50%AA, T4- 25%ART + 75%AA, T5- 100AA.

Segundo Raij et al. (2001), os níveis de boro encontrados ao final de cada ciclo são classificados na faixa intermediária. Segundo esses autores, as concentrações dos demais micronutrientes, cobre, ferro, manganês e zinco, foram consideradas altas em todos os tratamentos, inclusive na análise inicial do solo, com exceção do elemento ferro. Os resultados encontrados neste trabalho, para micronutrientes, estão de acordo com as observações feitas por Sales (2018) e Urbano (2013).

A diferença obtida entre as concentrações iniciais e finais de micronutrientes no solo dos tratamentos não pode ser atribuída aos tipos de água utilizados para irrigação, uma vez que a água de abastecimento e a água residuária utilizadas neste estudo apresentaram concentrações semelhantes de micronutrientes. Além disso, os efluentes sanitários geralmente não possuem altas concentrações de microelementos para causar alterações nos solos em um tempo relativamente curto, como é o caso do nosso trabalho. Considerando o exposto, tudo indica que a diferença nos teores desses elementos se deve a fatores como a aplicação de nutrientes por meio de adubação, calagem, mineralização da matéria orgânica do solo, pH do solo, entre outros.

4.8 Análise da parte aérea da planta no final do segundo ciclo

Tem-se, na Tabela 19, os resultados da análise dos teores de macronutrientes e micronutrientes nas folhas de alface cultivadas durante o segundo ciclo de cultivo para os cinco tratamentos implementados.

Tabela 19 - Valores médios de teores dos macronutrientes e micronutrientes nas folhas da alface após o 2º ciclo de cultivo

	Tratamentos nas folhas					Referência*
	T1	T2	T3	T4	T5	
Macronutrientes	-----g.kg ⁻¹ -----					
N	31	31	30	32	33	30 – 50
P	2,9	2,4	2,5	2,7	2,3	4 – 7
K	41	40	37	44	39	50 – 80
Ca	5	5	4	6	6	15 – 25
Mg	1,8	1,9	1,8	2,1	2	4 – 6
S	1,5	1,4	1,6	1,7	1,9	1,5 – 2,5
Macronutrientes	-----mg.kg ⁻¹ -----					
B	14	12	18	16	11	30 – 60
Cu	9	7	8	8	7	7 – 20
Fe	1052	798	649	780	714	50 – 150
Mn	296	308	283	448	493	30 – 150
Zn	83	83	94	114	121	30 – 100

T1- 100%ART, T2- 75%ART + 25%AA, T3- 50%ART + 50%AA, T4- 25%ART + 75%AA, T5- 100AA.

*Rajj et al. (1997).

Os tratamentos implementados não causaram efeitos nos teores médios de macronutrientes nas folhas de alface. Verifica-se que, semelhante ao que foi identificado no solo para os macronutrientes, nenhuma relação lógica foi observada, pois os resultados observados não mostraram uma tendência linear de aumento ou diminuição. Dentre os seis macronutrientes analisados nas folhas depois do segundo ciclo da cultura, quatro apresentaram seus maiores valores no tratamento T5 e os dois outros macronutrientes nos tratamentos T4 e T1, enquanto que os menores valores desses parâmetros foram quase todos aleatórios nos demais tratamentos.

Os resultados encontrados confirmam os obtidos por Sandri et al. (2006) que, analisando as concentrações de macronutrientes na alface fertirrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação, notaram que também não houve grandes diferenças nos teores de macronutrientes nas folhas das plantas produzidas. Brizola et al. (2005), fertilizando alface com diferentes níveis de potássio, notaram que também não houve interferência na absorção e no acúmulo de macronutrientes nas folhas. Urbano (2013), não observou diferença no teor de macronutrientes das folhas de alface quando comparou água de reuso e água de abastecimento como fonte para a irrigação. Esses resultados estão de acordo também com aqueles obtidos por Baumgartner et al. (2005), que ao irrigarem a alface com água residuária de atividades agroindustriais não obtiveram diferença na concentração dos macronutrientes.

As concentrações médias de nitrogênio (N) nas folhas de alface produzidas foram de 31, 31, 30, 32, 33 g.kg⁻¹ para os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5, respectivamente. Esses teores de N obtidos nos tratamentos encontram-se na faixa de 30 a 50 g.kg⁻¹ considerada adequada de acordo com Trani et al. (1997). Os resultados mostram que, os maiores teores de N recebidos pelas parcelas irrigadas com água residuária tratada não influenciaram na absorção e no acúmulo de N nas folhas das plantas produzidas, uma vez que os valores de N obtidos nas folhas são muito próximos para todos os tratamentos. De acordo com Sandri, Matsura e Testezlaf (2006), a falta de diferença pode ser devido ao fato de que o N presente no solo foi suficiente para atender as necessidades nutricionais da alface, o que pode ter sido influenciado pela adubação feita com uréia em cobertura, ao longo do ciclo cultural, em todos os tratamentos.

Os teores de fósforo (P) na parte aérea das plantas produzidas nos diferentes tratamentos encontram-se abaixo da faixa de concentração adequada para a cultura (30 a 50 g.kg⁻¹), proposto por Raj et al. (1997). A mesma observação é feita para os teores de P (4 a 7 g.kg⁻¹), de K (50-80 g.kg⁻¹), de Ca (15 a 25 g.kg⁻¹), e de Mg (4 a 6 g.kg⁻¹). Isso possivelmente ocorreu devido a acidez do solo dos diferentes tratamentos que, de um lado diminuiu a disponibilidade de Ca, Mg, K, e de outro lado favorece a fixação do fósforo pelo ferro formando compostos insolúveis não aproveitáveis para as plantas.

Os resultados obtidos para os tratamentos implementados apresentaram teores de enxofre (S) dentro da faixa de concentração adequada para a cultura, com

exceção do tratamento T2, que apresentou teor de enxofre igual a $1,4 \text{ g.kg}^{-1}$, valor abaixo do intervalo $1,5$ a $2,5 \text{ g.kg}^{-1}$ de massa seca, proposto por Raji et al. (1997).

Os teores estimados de cobre (Cu) nas folhas variaram entre 7 e 9 mg.kg^{-1} e a faixa de concentração adequada sugerida por Raji et al. (1997) para a cultura de alface é de 7 a 20 mg.kg^{-1} . Portanto o teor desse elemento está dentro da faixa adequada para a cultura. Os resultados obtidos nesta pesquisa se aproximam das concentrações de Cu (9 a 12 mg.kg^{-1}) encontradas por Urbano (2013), para a alface "Elisa", porém, são superiores aos teores de Cu (2 a 5 mg.kg^{-1}) encontrados por Junior et al. (2006) para alface cultivada em solo ácido com diferentes doses de calcário e resíduo de reciclagem de papel.

Já para o ferro (Fe) e o manganês (Mn), em todos os tratamentos, os valores ficaram acima da faixa adequada de 50 a 150 mg.kg^{-1} e 30 a 150 mg.kg^{-1} , respectivamente (RAIJ et al., 1997). Tavares (2005), em irrigação com água residuária tratada em uma lagoa de estabilização e aplicação de adubação orgânica na produção de alface também encontrou teores de Fe maiores que o adequado, em todos os tratamentos, durante dois ciclos de cultivo. Tavares (2005), Sandri, Matsura e Testezlaf (2006), Urbano (2013) encontraram valores de Mn dentro da faixa adequada, resultados diferentes aos obtidos neste trabalho.

O teor de zinco (Zn) adequado para a cultura da alface situa-se dentro da faixa 30 e 100 mg.kg^{-1} (Trani et al., 1997). Os resultados obtidos mostraram que os tratamentos T1 a T3 apresentaram valores dentro desse intervalo. Entretanto, os tratamentos T4 e T5 apresentaram valores acima do limite superior adequado (100 mg.kg^{-1}) segundo (RAIJ et al., 1997) e abaixo do valor limite de 250 mg.kg^{-1} estabelecido por Ribeiro (1999). O Zn é um nutriente essencial tanto para os seres humanos, principalmente por seus efeitos benéficos no sistema imunológico e também por sua capacidade de prevenir doenças, quanto para as plantas, por promover seu crescimento, síntese de proteínas e clorofila. Sua grande concentração nos tratamentos T4 e T5 pode explicar os maiores diâmetros de cabeça encontrados durante os dois ciclos de cultivo (RESENDE, YURI, SOUZA, 2008).

O teor do N e Cu para todos os tratamentos foi considerado normal e adequado para as alfaces produzidas. Já a concentração para o P, K, Ca, Mg e B foi menor que a recomendada para a cultura, enquanto o Fe e o Mn foram maiores. Com relação ao S, os teores acumulados no tecido foliar encontraram-se na faixa recomendada durante a aplicação dos tratamentos (T1, T3, T4, T5), apenas o tratamento (T2) não

apresentou teor na faixa recomendada (RAIJ et al., 1997). Para o Zn, os tratamentos T1 a T3 encontram-se dentro da faixa considerada adequada e os tratamentos T4 e T5 ficaram acima (RAIJ et al., 1997).

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos ao longo deste estudo permitiram tirar as seguintes conclusões:

- 1) A qualidade da água residuária doméstica tratada por sistema de tratamento com filtros anaeróbios verticais está apta para ser utilizada em culturas a serem consumidas in natura, assim como também para dispor em solo.
- 2) Os resultados apontam que tanto a água residuária tratada como a água de abastecimento tiveram o mesmo comportamento no crescimento e na produção de alface, mostrando assim a possibilidade da utilização de águas de qualidades inferiores para a prática da irrigação da alface.
- 3) A análise microbiológica das folhas das plantas indicou que a alface irrigada com as diferentes proporções de lâmina de irrigação de água residuária e água de abastecimento apresentou valores dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução 12/2001 da ANVISA, uma vez que em todos os tratamentos a concentração de coliformes fecais (*E. Coli*) foi sempre inferior a 100 NMP.g⁻¹.
- 4) De maneira geral, a aplicação das diferentes proporções de lâmina de irrigação de água residuária tratada por filtro anaeróbios não provocou grandes mudanças nos teores da maioria dos macronutrientes e micronutrientes do solo. No entanto, percebeu-se uma tendência de sodificação do solo dos tratamentos que receberam as maiores concentrações de água residuária.
- 5) Este estudo aponta para o potencial do reuso de água residuária tratada e combinada com água de abastecimento como alternativa potencialmente adequada para a irrigação, de forma a mitigar os impactos da escassez hídrica e do aumento da demanda por alimentos.

REFERÊNCIAS

- ABAURRE, M. E. **Crescimento e produção de duas cultivares da alface sob malhas termorreforestadas no cultivo de verão**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.
- ADIN, A.; SACKS, M. Dripper clogging factors in wastewater irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, St. Joseph, v.117, n.6, p.813-26, 1991.
- AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; TUCCI, M.L.S.; CASTRO, C. E. F. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2014. p. 106-113. (IAC. Boletim Técnico, 200).
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALMEIDA, O. A. **Entupimento dos emissores em irrigação Localizada**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/737096/1/documentos182.pdf>. Acesso em: 23 set. 2021.
- ALMEIDA, O. Á. **Qualidade da água de irrigação**. Dados eletrônicos. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e fruticultura, 2010. Disponível em: http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro_qualidade_agua.pdf. Acesso em: 20 jan. 2021.
- ALMEIDA, T. B. F; PRADO, R. M.; CORREIA, M. A. R.; PUGA, A. P.; BARBOSA, J. C. Avaliação nutricional de alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Revista Biotemas**, v. 24, n. 02, jul., 2011.
- ALVES, F. A. L.; PEREIRA, V. L. A. ; SILVEIRA, J. A. G; FERREIRA-SILVA, S. L. Efeito do Ca²⁺ externo no conteúdo de Na⁺ e K⁺ em cajueiros expostos a salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.4, p.602-608, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237023311_Efeito_do_Ca2_externo_no_conteudo_de_Na_e_K_em_cajueiros_expostos_a_salinidade. Acesso em: 23 set. 2021.
- AMARO, G. B.; SILVA, D. M.; MARINHO, A. G.; NASCIMENTO, W. M. (2007) **Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 47).
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for the examination for water and wastewater**. 22. ed. Washington, Dc: APHA-AWWA-WEF, 2012.
- ANDRADE FILHO, J.; SOUSA NETO, O. N.; DIAS, N. S.; NASCIMENTO, I. B.; MEDEIROS, J.F.; COSME, C.R. Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro. **Irriga**, v.18, n.4, p. 661-674, 2013.

ARAÚJO, T. S.; FILHO, J. F.; KUMAR K. K.; RAO, T. V. R. TANTRAVAH V. R. Crescimento da alface-americana em função dos ambientes, épocas e graus-dias **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 5, n. 4, out./dez., 2010. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119016964001>. Acesso em: 29 set. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. 2º Levantamento de Dados Socioeconômicos da Cadeia Produtiva de Hortaliças no Brasil. Campinas: ABCSEM, 2014. Disponível em: https://www.abcsem.com.br/imagens_noticias/Apresenta%c3%a7%c3%a3o%20c ompleta%20dos%20dados%20da%20cadeia%20produtiva%20de%20hortali%c3%a 7as%20-%2029MAIO2014.pdf. Acesso em: 30 jun. 2021.

AVELAR, F. F.; MATOS, A. T.; MATOS, M. P. Remoção de contaminantes do esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com *Mentha aquática*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 6, p. 1259-1266, 2019.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem – Boletim 29).

AZEVEDO, L. P.; OLIVEIRA, E. L. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e na produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p. 253-263, 2005.

BASTOS, R. K. X.; KIPERSTOK, A.; CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; MONTEGGIA, L. O.; SPERLING, M.; AISSE, M. M.; BEVILAQUA, P. D.; PIVELI, R. P. Subsídios à regulamentação do reuso de águas no Brasil – Utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e piscicultura. **Revista DAE**, v. 177, 50-62, 2008.

BATISTA, J. A; COSTA, L. R; OLIVEIRA, M. L. Biorreator à membrana-nova: tecnologia para tratamento de efluentes. **Revista S&G**. v.15, n.1, 2020, pp. 11-17

BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, T. R.; TEO, C. R. P. A.; BOAS, M. A. V. Reuso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola**, v .27, n.1, Jaboticabal, Jan, 2007.

BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, T. R.; TEO, C. R. P. A.; GOMES, B. M. Alface irrigada com águas residuárias de atividades agroindustriais. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 697-705, 2005.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BEAULIEU, R. **L’approvisionnement en eau** : contraintes et perspectives. Colloque sur l’irrigation. CRAAQ, 37-48, 2006.

BEDBABIS, S.; TRIGUI, D.; AHMED, C. B.; CLODOVEO, M. L.; CAMPOSEO, S.; VIVALDI, G. A.; ROUINA, B. B. Long-terms effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil, yield and olive oil quality. **Agricultural Water Management**, v. 160, p. 14-21, 2015.

BERNARDI, C. C. **Reuso da água para irrigação**. 2003. Monografia (MBA em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada, Área de Concentração Planejamento Estratégico) – ISAE FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília, 2003. *E-book*. Disponível em:

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, 2002. 665p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 611p.

BICUDO C. E. M.; TUNDISI J.G.; SCHEUENSTUHL M. C. B. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010.

BONINI, M. A.; SATO, L. M.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos químico e físicos de um Latossolo Vermelho irrigado com água residuária e vinhaça. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 20, n. 1, p. 78-85, 2014. Disponível em: <http://periodicos.unitau.br/ojs/index.php/biociencias/article/viewFile/1817/1521>. Acesso em: 20 set. 2020.

BRITO, L. T. L.; BRAGA, M. B.; NASCIMENTO, T. Impactos ambientais da irrigação no Semiárido brasileiro. In: BRITO, L. T. L.; MELO, R. F.; GIONGO, V. **Impactos ambientais causados pela agricultura no semiárido brasileiro**. petrolina: embrapa semiárido, cap 5, p. 137-169, 2010.

BRITO; L. T. L; PORTO, E. R; SILVA, A. S. **Disponibilidade de água e gestão dos recursos hídricos**. Embrapa Semi Árido. Petrolina. PE. 2007.

BRUNINI, O.; LISBÃO, R. S.; BERNARDINI, J. B.; FORNASIER, J. B.; PEDRO Jr., M. J. Temperatura base para alface "White Boston", em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, v.35, n.19, p.214-219, 1976.

BURBARELLI, R. C.; PIRES M. S. G.; COURACCI, F. B.; SIVIERO, A. R.; GUIMARÃES J. R. Avaliação microbiológica do solo em área irrigada com efluente de lagoa de estabilização. Artigo técnico. **Revista DAE especial**. Edição comemorativa. p. 65-68, 2010.

CAMARGOS, S. L. **Acidez do solo e calagem (reação do solo)**. Departamento de solo e Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, 2005. 26 p.

CAMPOS, C. M. M.; CARMO, F. R. do; BOTELHO, C. G. Desenvolvimento e operação de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento dos efluentes da suinocultura em escala laboratorial. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 140-147, jan./fev. 2006

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.70, p.355-365, 1998.

CARDOSO, G. G. G.; KLAR, A. E. Potenciais de água no solo na produção de alface, **Irriga**, Botucatu, v.14. n.2, p.170-179, 2009.

CARVALHO, R. G. **Atividade de inseticidas em diferentes modalidades de aplicação, no controle de insetos vetores de viroses, na cultura da alface (Lactuca sativa L.)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Águas interiores**. São Paulo, 2022. Disponível em:< <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/>>. Acesso em: 22 jan. 2022.

CHEN, F.; LIU, C. Effects of Reclaimed Water on the Growth and Fruit Quality of Cucumber. **Irrigation and Drainage**, New Dehli, v. 64, n.3, p.370-377, mar. 2015.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias-Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, v. 5, 2ª edição, 380 p., 2007.

CHERNICHARO, C. A. L.; ALMEIDA, P. G. S. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por filtros biológicos percoladores**. Apostila ABES: UFMG, 2009.

CIRILO, B. B. **Elemento de benção, região de maldição: uma análise da gestão de recursos hídricos no Estado do Pará**. Tese (Doutorado em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

CONAMA. **Resolução n.º 357**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_con_ama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_ltrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 10 jan. 2022.

CONVENTION DES NATIONS UNIES SUR LA LUTTE CONTRE LA DESERTIFICATION (CNULCD). **La terre en chiffres: moyens de subsistance a un point de basculement**. Bonn, 2014. Disponível em:< https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/Land_in_%20Numbers_FR.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022.

CORDEIRO, G. G. **Qualidade de Água para Fins de Irrigação (Conceitos Básicos e Práticos)**. 1 ed. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2001.

COSTA, F. G. B. **Uso de água residuária de origem doméstica no cultivo do girassol no assentamento milagres, APODI-RN**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal rural do Semi Árido, Mossoró, 2012.

COSTA, M. C. **Avaliação dos Aspectos Sanitários, Agronômicos e de Qualidade em Melancias Irrigadas com Esgoto Tratado**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2006

CUBA, R. S. **Cultivo hidropônico de alface com água de reuso**. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) -Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel-SP. **Irriga**, Botucatu, SP, v.14, n.1, p.1-11, 2009.

CUNHA, F. F. MATOS, A. T.; BATISTA, R. O. MONACO, P. A. Uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por gotejamento utilizando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 28, n. 1, p.143-147, 2006.

CURTIS, L. M.; POWELL, A. A.; TYSON, T. W. Microirrigation of peaches in the southeast. **Irrigation Journal**, New York, v.46, n.2, p. 22, maio 1996

DAZHUANG, Y.; ZHIHUI, B.; ROWAN, M.; LIKUN, G.; SHUMEI, R.; PEILING, Y. Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater. **Journal of Environmental Sciences**, Beijing, v. 21, n. 6, p. 834-841, 2009.

DECOL, L. T.; LÓPEZ-GÁLVEZ, F.; TRUCHADO, P.; TONDO, E. C.; GIL, M. I.; ALLENDE, A. Suitability of chlorine dioxide as a tertiary treatment for municipal wastewater and use of reclaimed water for overhead irrigation of baby lettuce. **Food Control**, v. 96, p. 186-193, 2019.

DEMANDA por água será cada vez maior em todo o mundo. IN: Ação consultoria Ambiental, 2017. Disponível em:<https://acaoconsultoriaambiental.com.br/prepare-se-hoje-demanda-por-agua-sera-cada-vez-maior-em-todo-o-mundo/>. Acesso em: 27 dez. 2020.

DUARTE, A. S. **Reuso de água residuária na irrigação da cultura do pimentão (Capsicum annum L.)**. Tese (Doutorado em Agronomia: Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Quieroz”, Universidade de São Paulo, Paracicaba, 2006.

DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A. SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.3, p.302-310, 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

ESTEVES, B. S.; SILVA, D. G.; PAES, H. M. F.; SOUSA, E. F. **Irrigação por gotejamento**. Niterói: Programa Rio Rural, 2012. (Manual Técnico, 32). Disponível em: <http://www.pesagro.rj.gov.br/downloads/riorural/32_Irrigacao_por_gotejamento.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.

FEITOSA, A. P. **Avaliação de sistema de tratamento da água cinza e reuso da água no semiárido brasileiro**. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2016.

FERNANDES, F. G. B. C.; BATISTA, R. O.; FERREIRA, D. J. L.; SILVA, S. L.; PEREIRA, J. O.; CUNHA, J. L. O. Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento operando com diluições de água residuária doméstica tratada. **Revista Espacios**. v.38, n.43, p.10-22, 2017.

FERNANDES, I. R. D. **Tratamento de água cinza e sua aplicação na fertirrigação do girassol ornamental em ambiente semiárido**. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017.

FGV EESP – GV Agro - Centro de Estudos do Agronegócio (2016). **Estudo sobre a eficiência do uso da água no Brasil: análise do impacto da irrigação na agricultura brasileira e potencial de produção de alimentos face ao aquecimento global**. 28 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2º edição - revista e ampliada. Viçosa, MG: Editora UFV, 2005. 412 p.

FILHO, O. R. A. R.; TEIXEIRA, A. D. S.; OLIVEIRA, M. K. T.; SOTERO, A. R. H.; BATISTA, R. O. Alterações químicas do solo pela aplicação de água cinza tratada no cultivo de milho. **Congresso internacional das ciências agrárias**, 2018.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Recife: Abes, 2006. 427 p. PROSAB/FINEP.

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001.

FONTELES, J. L. V.; MOURA, K. K. C. F.; DIAS, N. S.; CARNEIRO, J. V.; GUEDES, R. A. A. Crescimento e produção de duas cultivares de alface utilizando água de esgoto tratado. **Revista brasileira de agricultura irrigada**. v. 9, p. 320-325, 2015.

FREITAS, C. A. S.; NOGUEIRA, L. K. A.; MOREIRA, L. C. J.; FERREIRA, C. S. Desempenho hidráulico de gotejadores sob o tempo de exposição ao esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**. v.28, n. 1, p. 214-219, 2015.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão**. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53p. Série Didática, 3

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles. In: Nakayama, F.S.; Bucks, D. A. (eds.). **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. cap.3, p.142-163.

GOMES, V. S. **Influência da aplicação da água residuária nas características químicas de um Planossolo Nátrico na região semiárida**. 2016. 48p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba, Areal. 2016.

GUENET, B.; CAMINO-SERRANO, M.; CIAIS, P.; TIFAFI, M., MAIGNAN, F.; SOONG, J. L.; JANSSENS, I. A. Impact of priming on global soil carbon stocks. **Global Change Biology**, New Jersey v. 24, n. 5, p. 1873–1883, 2018.

GUIMARAES, J. J.; BROETTO, F.; GOMES, E. R.; SANTOS, O. F.; GALVAO, I. M.; BRESSAN, D. F. Reuso de água na agricultura: aspectos ambientais e agrônômicos. In: GOMES, E. R.; ZUÑIGA, E. A.; MACHUCA, L. M. R. **O Estresse das Plantas Cultivadas & Protocolos de Análise**. 1ª.ed. Botucatu: FEPAF, 2018, v. 1, p. 21-28.

HENDGES, T. L.; ANTES, B. D. S.; TONES, A. R. M. Reuso da água na agricultura: a realidade brasileira e experiências internacionais. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, Medianeira, v. 09, n. p 94 -109, set./dez. 2018.

HERMES, E. **Efeito da carga hidráulica e qualidade de água na uniformidade de sistema de irrigação por gotejamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola /Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Estadual do oeste do Paraná, Cascavel, 2010.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. **Bahia Analise & Dados**, Salvador, v. 13, n. especial, p. 411-437, 2003.

HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B.; CONDÉ, M. S.; SILVA, M. D.; FERREIRA, I. M. Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Científica**, v. 42, n. 3, p. 299–309, 2014.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. C.; SÁ, F. V. da S. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos**

básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade – INCTsal, 2016. p. 35-50.

HUNSHAL, C. S.; SALAKINKOP, S. R.; BROOK, R. M. Sewage irrigated vegetable production systems around Hubli-Dharwad, **Kasetsart Journal (Natural Sciences)**, Karnataka, India, v. 32, n° 5, p. 1-8, 1997.

IEA-Instituto de Economia Agrícola – PIB da produção de hortaliças no Estado de São Paulo, 2017. **Revista Attalea Agronegócio**, São Paulo, 2019.

JARDIM, W. F.; CANELA, M. C. **Fundamentos da oxidação química no Tratamento de efluentes e remediação de Solos**. Caderno temático, vol. 1. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004

JUCHEN, C. R. **Reuso de efluentes tratados das agroindústrias de leite e carne sobre a produção da cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) fertirrigada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agroindustriais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2000.

JUNIOR, A. A. B.; TÔRRES, A. L.; FONSECA, J. A.; TEIXEIRA, J. R. Crescimento e teores de nutrientes em tecido de alface pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel num solo ácido. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.5, n.1, p. 9-15, 2006.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649 p.

KERAITA, B.; JIMÉNEZ, B.; DRECHSEL, P. Extent and implications of agricultural reuse of untreated, partly treated and diluted wastewater in developing countries. **Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 3, n. 58, p.1-15. 2008.

KNOTT, J. E. **Handbook for vegetable growers**. 2 ed. New York: John Wiley e Sons, 1962. 245 p.

KUZYAKOV, Y. Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, n. 9, p. 1363–1371, 2010.

LEAL, R. M. P. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado em propriedades químicas de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

LIBUTTI, A.; GATTA, G.; GAGLIARDI, A.; VERGINE, P.; POLLICE, A.; BENEDUCE, L.; DISCIGLIO, G.; TARANTINO, E. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, v. 196, n. 1, p. 1-14, 2018.

LIMA, S. M.; HENRIQUE, I. N.; CEBALLOS, B. S. O.; SOUZA, J. T.; ARAÚJO, H. W. C.; Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.21-5, 2005.

LIMA, V. I. A.; ALVES, S. M. C.; NETO, M. F.; OLIVEIRA, R. B. Reutilização de água residuária na produção de mudas de abóbora e jiló. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 949-958, 2011.

LÓPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNÁNDEZ, J. F. G. **Riego localizado**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 405p.

MAKISHIMA, N. **O cultivo de hortaliças**. Brasília: EMBRAPA-SPI, (Coleção Plantar, 4). 116p. 1993.

MAKISHIMA, N.; MELO, W. F. O rei das hortaliças. **Revista Cultivar HF**. Pelotas, v. 5, n. 29, p. 28-32, dez. 2004/jan. 2005.

MALAVOLTA, E. **Potássio é uma grande realidade**: o potássio é essencial para todas as plantas. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 73, p. 5-6, mar. 1996.

MANTOVANI, E. C. **Avalia: Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2001.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 3. Ed. Viçosa, MG: Editora UFV. 2009. 355p.

MATOS, A. T.; FREITAS, W. S.; LO MONACO, P. A. V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 5, n. 2, p. 119-132, 2010

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

MATTOS, K. M. C. **Viabilidade da Irrigação com água contaminada por esgoto doméstico na produção hortícola**. 168 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2003.

MAY, S.; HESPANHOL, I.; Tratamento de Águas Cinzas Claras para Reuso não Potável em Edificações. **REGA**: Revista de Gestão de Águas da América Latina, v. 5, n°. 2, p. 15-24, 2009. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/72/015deab39e51351046230f5dbe0d6d5_3b499e2889f1f06330cab16ffdd70f61.pdf. Acesso em: 20 agosto 21.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.603 612, 2005.

MENDES, T. A. A. Desenvolvimento da indústria da irrigação no Brasil pelas décadas. In: PAOLINELLI, A.; NETO, D. D.; MANTOVANI, C.V. (org.). **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: História, Política Pública, Economia e Recurso Hídrico**. São Paulo: ESALQ, 2021. p. 29-43.

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

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. Fourth Ed. McGraw-Hill, NY, USA, 2003.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (2005). PORTARIA Nº 518, DE 25 DE MARÇO DE 2004. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências**. Disponível em: < <http://app4.mdr.gov.br/snweb/src/pdf/Portaria-518-2004.pdf> >. Acesso em: 28 de dezembro de 2021.

MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. **Symposium of the Society for Experimental Biology**, London, v.19, p.205-234, 1965.

MONTEMURRO, N.; CUCCI, G; MASTRO, M. A.; LACOLLA, G.; LONIGRO, A. The nitrogen role in vegetables irrigated with treated municipal wastewater. **Agronomy Research**, v. 15, n. 5, p. 2012–2025, 2017.

MOTA, J. H.; YURI, J. E.; RESENDE, G. M.; OLIVEIRA, C.M.; SOUZA, R. J.; FREITAS, S. A. C.; RODRIGUES, J. C. Produção de alface americana em função da aplicação de doses e fontes de fósforo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 620-622, out./dez. 2003.

MOURA, M. Irrigação por gotejamento foi criada em deserto de Israel. **Portal a tarde**. 2014.

MUDRIK, A. S. **Manejo da irrigação por gotejamento em cafeeiros nas condições edafoclimáticas do cerrado mineiro**. Tese de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa. p.32-34. 2005.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. **Irrigation Science**, v.12, p.187-192, 1991.

NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R. G.; BUCKS, D. A. Water treatments in trickle irrigation systems. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.104, p.23-34, 1978.

NAKAYAMA, F. S; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. Arizona: ASAE, 1986. 382p.

NETO, A. C. F. **Análise de métodos simplificados de estimativa da ETo e da sensibilidade das variáveis do cálculo da lâmina de irrigação para a cultura do**

café. 2003. Tese (Doutorado em Meteorologia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

NUVOLARI, A.; COSTA, R. H. P. G. Tratamento de Efluentes. In: TELLES, D. A.; COSTA, R. H. P. G. **Reuso de Água**: Conceitos, Teorias e Práticas. 2 ed. São Paulo: Editora Blücher/FAT, 2010.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). **Wastewater Use in Agriculture**. Genebra: World Health Organization. 2006. (Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater). Disponível em <http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/wwuvol2intro.pdf> acessado em 09 Abr. 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020**. Água e Mudança Climática: Fatos e Dados. Paris, 2020

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO (FAO). **Agricultura sustentável no Brasil: Identificação de áreas prioritárias**. FAO: Brasília, 2017.

PANCHONI, L. C.; OTENIO, M.; GUERRA, N. M. M.; CRUZ, G. C. A.; SANTOS, V. **Avaliação físico-química e bioquímica de efluente infiltrado de laticínio**. Disponível em: <https://pt.engormix.com/pecuaria-leite/artigos/avaliacao-fisico-quimica-bioquimica-t38467.html>. Acesso em: 30 ago. 2018.

PENA, R. F. A. Distribuição da água no Brasil. **Brasil Escola**. 2020. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-brasil.htm>. Acesso em 28 set. 2021.

PERIN, K. **Reuso de efluente de lagoa de polimento no cultivo de alface hidropônica (*Lactuca sativa* L.) e de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

PINTO, M. C. K.; CRUZ, R. L.; FRIGO, E. P.; FRIGO, M. S.; HERMES, E. Contaminação das águas subterrâneas por nitrogênio devido á irrigação com efluente do tratamento de esgoto. **Irriga**. v. 18, n. 2, 2013.

PITORO, V. S. J. **Tratamento de efluentes de estação de tratamento de esgoto em filtros anaeróbios verticais para reuso na irrigação por gotejamento de couve-manteiga (*Brassica Oleracea* l. var. *Acephala*)**. Dissertação (Mestrado em Agronomia: irrigação e drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2019.

PROGRAMMES D'AIDE ET DE DEVELOPPEMENT DESTINES AUX ENFANTS DU MONDE (PADEM). **Je découvre en quoi l'eau est un luxe**. Dulange, 2020. Disponível em: <https://padem.org/eau/1-je-decouvre-en-quoi-leau-est-un-luxe/>. Acesso em: 03 mar. 2021.

PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; ELBANA, M.; DURAN-ROS, M.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F.; LAMM, F. R. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. **Agricultural Water Management**, v.97, p.883-891, 2010.

QUEGE, K. E. **Tratamento de esgoto sanitário pelo sistema zona de raízes utilizando plantas de bambu**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

QUEIROZ, A. A.; QUEIROZ, S. O. P.; ARAGÃO, C. A. Reuso de efluentes domésticos na irrigação por gotejamento do tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 20, n. 1, p. 36-42, 2015.

RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**, 2 ed. rev. ampl. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

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

RASCHID-SALLY, L.; CARR, R.; BUECHLER, S. Managing wastewater agriculture to improve livelihoods and environmental quality in poor countries, **Irrigation and Drainage**, vol. 54, no 1, p. 11-22. 2005.

REBOUÇAS, A. C. Água e desenvolvimento rural. **Revista Estudos Avançados**, v.15, n.43, p.327-344, 2001.

REGO, J. L.; OLIVEIRA, E.L.L.; CHAVES, A. F.; ARAÚJO, A. P. B.; BEZERRA, F. M. L.; SANTOS, A. B.; SUETÔNIO MOTA. Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.155-159, 2005.

RESENDE, G. M., YURI, J. E., COSTA, N. D. **Cultivo de alface-crespa no Submédio do Vale do São Francisco**. Instruções Técnicas da Embrapa Semiárido. Petrolina, 2018.

RHOADES, J. D., KANDIAH, A., MASHAL, A. M. **The use of saline water for crop production**. Rome: FAO, 133p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 48), 1992.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5.^a aproximação**. Viçosa - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

RIBEIRO, M. R.; BARROS, M. F. C.; FREIRE, M.B.G.S. Química dos solos salinos e sódicos. In: Melo, V.F.; Alleoni, L. R. F. (ed). **Química e mineralogia do solo**. Parte II – Aplicações. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.449-484.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington, D.C: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. (United States Department of Agriculture Handbook, 60).

RODRIGUES, R. R.; COLA, M. P. A.; NAZÁRIO, A. A.; AZEVEDO, J. M. G.; REIS, E. F. Eficiência e uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Ambiência**. Guarapuava, v.9, n. 2, p. 323-334, 2013.

SALES, M. A. L. **Irrigação de hortaliças utilizando efluente secundário desinfetado por radiação solar.** Tese (Doutorado em Agronomia: irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu – São Paulo, 2018.

SALES, M. A. L., SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M. Utilização da água residuária tratada por radiação solar na irrigação da cultura de cebolinha. **Irriga**, v. 24, n. 3, p. 645-661, 2019.

SAN JUAN, J. A. M. **Riego por goteo: teoría y práctica.** 4ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2000. 302p.

SANDRI D.; MATSURA, E. M; TESTEZLAF, R. 2009. Características químicas do solo com aplicação de água residuária na cultura de alface por diferentes sistemas de irrigação. **Revista DEA**, n180. 2, p. 1-9, 2009.

SANDRI, D. **Irrigação da cultura da alface com água residuária tratada com leitos cultivados com macrófita.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SANDRI, D.; MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, R. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.6, 2009.

SANTOS, A. P. R. **Características agrônômicas e qualidade da alface (*Lactuca sativa* L.) sob fertilização orgânica e mineral.** Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SANTOS, A. P. R. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades físicas e químicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim – TIFTON 85.** Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SANTOS, C. A. P. **Produção da alface crespa e umidade do solo em função de diferentes fontes de matéria orgânica e cobertura do solo.** 2011. 52 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Sergipe, São Cristovão.

SANTOS, C. S. **Reuso de água na cultura do milho em solos representativos da bacia do rio Ipojuca.** 2019. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SANTOS, C. S.; SANTOS, D. P.; SILVA, P. F.; ALVES, E. S.; SANTOS, M. A. L. Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Verde**. 2013, 8, 3, 10-16.

SANTOS, G. O. **Aplicação de efluente de tratamento de esgoto, via aspersão, no solo e em brachiaria**. Tese (Doutorado Agronomia: Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2015.

SANTOS, R. D. D. S. **Reuso de água residuária tratada no cultivo de hortaliças**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2019.

SANTOS, R. F.; BORSOI, A.; TOMAZZONI, J. L.; VIANA, O. H. Aplicação de nitrogênio na cultura da alface. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 2, n. 2, p. 69-77, 2012.

SENA, C. C. R.; FERREIRA, A.A.; SILVA, V. C. R. Mudança dos atributos químicos do solo após a aplicação de água. **Revista de Biotecnologia & Ciência**, Ipameri, v.9, n.2 p.1-10, 2020.

SENAR- Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. 2019b. **Irrigação: manejo e gestão em sistema localizado**. / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília: Senar, 55 p; (Coleção Senar, 251) ISBN: 978-85-7664-215-2

SGANZERLA, E. **Nova agricultura, a fascinante arte de cultivar com os plásticos**. Porto Alegre-RS: Plasticultura Gaúcha, 1997. 297p.

SHIKLOMANOV, I. **World Water Resources: A New Appraisal and Assessment for the 21st Century**". IHP, Unesco, 1998.

SILVA, A. L.; FARIA, M. A.; REIS, R. P. Viabilidade técnico econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.37-44, 2003.

SILVA, A. R. **Crescimento e a produtividade da alface em função da reposição hídrica**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) em Agronomia. Areia, PB, 2017.

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, n. 8, 17p., 2005.

SILVA, F. L. B.; LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; NEVES, A. L. R.; SILVA, G.L.; SOUSA, C. H. C. Interação entre salinidade e biofertilizante bovino na cultura do feijão-de-corda. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.383-389, 2011.

SILVA, I. N.; FONTES, L. O.; TAVELLA, L. B.; OLIVIEIRA, J.B.; OLIVEIRA, A. C. Qualidade de água na Irrigação. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 7, n. 3, p.1-5, 2011.

SILVA, J. G. F. **Irrigação Localizada**: Dimensionamento e manejo. Vitória ES: EMCAPA,1996. 74p.

SILVA, K. B.; SILVA JÚNIOR, M. J.; BATISTA, R. O.; SANTOS, D. B.; BARBOSA FILHO, S. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.3, p. 339-346, 2013.

SILVA, M. A.; SANTANA, C. G. Reuso da água: possibilidades de redução do desperdício nas atividades domésticas. **Revista do CEDS**: Periódico do Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável da UNDB, São Luís, v.1, n.1, ago./dez. 2014.

SILVA, M. A. S.; SANTOS, A. B.; MACHADO, P. L. O. A.; ALCANTARA, F. A.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. **Correção da acidez do solo**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/correcao-da-acidez-do-solo>. Acesso em: 14 Mar. 2022.

SONNINO, A. A. Inovação na agricultura: chave para vencer os desafios da segurança alimentar e das mudanças climáticas. **Agrária**, São Paulo, n. 15, p.71-85, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/agraria/article/view/79007/83081>. Acesso em: 20 ago. 2020.

SPEECE, R. E. **Anaerobic Biotechnology for Industrial WasteWaters**. EUA: Vanderbilt University, 394p. 1996.

SUPPORTIVY. Quel pays produit le plus de laitue? [7 janvier 2021](#). Disponível em: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=como+citar+uma+pagina+de+inter+net>. Acesso em: 20 dez. 2021.

TAVARES, B. R. S. D. **Grau de aceitabilidade do reuso de água de lagoas de estabilização na agricultura irrigada**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

TAVARES, T. L.; KÖNIG, A.; CEBALLOS, B. S. O.; AZEVEDO, M. R. Q. A. Efeitos da adubação do solo e da irrigação sobre os componentes de produção da alface. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.231-5, 2005.

TERA. **Irrigação é responsável pelo consumo de 72% da água no Brasil**, 2013. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/320413/irrigacao-responsavel-pelo-consumo-de-72-da-agua-no-brasil>. Acesso em: 03 mar. 2021.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L. O paradoxo da irrigação: produzir alimentos sem consumir água In: XII **CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**, 2002, Uberlândia, MG. 4p.

THIAGO, R. Cana com água residuária. Revista Cultivar.2009. **Agência FAPESP**. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/cana-com-agua-residuaria>. Acesso em: 23 set. 2021.

THICOÏPE, J. P. **Laitues**. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes. Paris, 1997

TONETTI, A. L., CORAUCCI FILHOM B., GUIMARÃES, J. R., FADINI, P. S., NICOLAU, C. E. Desnitrificação em um sistema simplificado de tratamento de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.18, n.4, p. 381-392, 2013.

TOSETTO, M. S. **Tratamento terciário de esgoto sanitário para fins de reuso urbano**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Campinas, Pós-Graduação em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2005.

TRANI, P. E.; PURQUÉRIO, L. F. V.; FIGUEIREDO, G. J. B.; TIVELLI, S. W.; BLAT, S. F. **Calagem e adubação da alface, almeirão, agrião d'água, chicória, coentro, espinafre e rúcula**. Campinas: IAC, 2014.

TRANI, P. E; TIVELLI, S. W.; CARRIJO, O. A. **Fertirrigação em hortaliças**. 2. ed. revista atualizada, Campinas, SP: Instituto Agrônômico, 2011. 51 p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos, SP: Rima, 2003. 248 p.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) - **Guidelines for Water Reuse**. 3. ed. Washington, DC. (USA), 2012. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100FS7K.txt>. Acesso em: 23 set. 2021.

UCKER, F. E.; ALMEIDA, R. A.; KEMERICH, P. D. C. Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, v. 7, n. 3, p.87-98, 31, dez., 2012.

UMBUZEIRO, G. A.; KUMMROW, F.; REI, F. F. C. Toxicologia, padrões de qualidade de água e a legislação. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v. 5, n. 1, Resenha, p. 1-14, jan./abr. 2010. Disponível em: <https://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2017/06-toxicologia-padroes-de-qualidade-de-ogua-e-a-legislacao.pdf>. Acesso em: 23 set. 2021.

UNICEF. 2,1 bilhões de pessoas não têm acesso a água potável em casa, e mais do dobro de pessoas não tem acesso a saneamento seguro. 13 Julho 2017. Disponível em: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=como+citar+uma+pagina+de+inter+net>. Acesso em: 27 dez. 2020.

- URBANO, V. R. **Aplicação de água de reuso tratada no cultivo de alface (Lactuca sativa L.)**. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.
- URBANO, V. R.; MENDONÇA, T. G.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural Water Management**, v. 181, p. 108–115, 2017.
- VALE, H. S. M.; ARRUDA, L. E. V.; COSTA, D. O.; COSTA, F. G. B.; BATISTA, R. O. Potencial de entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico tratado. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, n. 1, Cruz das Almas, BA, p. 63 – 70, 2013.
- VARALLO, A. C. T.; SOUZA, J. M.; REZENDE, S. S. R.; SOUZA, C. F. Avaliação da qualidade sanitária da alface (*Lactuca sativa* L.) irrigada com água de reuso comparada com amostras comercializadas. **Ambi-Água**, Taubaté, v.6, n.2, 2011. p.295-304.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**: report of a WHO scientific group. Geneva, 1989. Disponível em: <http://www.who.int/trs/WHO_TRS_778.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2020.
- WIEN, H. C. Lettuce. In: Wien, H. C. **The physiology of vegetable crops**. New York: Cab International, 1997.
- WILCOX, J.C.; SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. **Scientific Agricultural**, v.27, p.565-583, 1947.
- YURI, J. E.; MOTE, J. H.; RESENDE, G. M.; SOUZA, R. J. Nutrição e adubação da cultura da alface. In: PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. (Eds.). **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal, SP: FUNEP, FCAV, CAPES, 2016. p. 459-577.