

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCar
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE – PPGAA**

MARIANO VIEIRA DOS SANTOS DE SOUZA LOPES

**ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO COMO FONTE DE ÁGUA E NUTRIENTES NO
CULTIVO EM SUBSTRATO DO MORANGUEIRO**

**ARARAS
2022**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCar
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE – PPGAA

MARIANO VIEIRA DOS SANTOS DE SOUZA LOPES

**ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO COMO FONTE DE ÁGUA E NUTRIENTES NO
CULTIVO EM SUBSTRATO DO MORANGUEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós –
Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA
da Universidade Federal de São Carlos *campus*
Araras, como requisito para obtenção do título de
Mestre em Agricultura e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza
Coorientador: Prof. Dr. Jean Carlos Cardoso

ARARAS
2022

Lopes, Mariano Vieira dos Santos de Souza

Esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo em substrato do morangueiro / Mariano Vieira dos Santos de Souza Lopes -- 2022. 53f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras

Orientador (a): Claudinei Fonseca Souza

Banca Examinadora: Claudinei Fonseca Souza, Reinaldo Gaspar Bastos, Ênio Farias de França e Silva, Jean Carlos Cardoso

Bibliografia

1. Fibra de coco. 2. Água de reúso. 3. fertirrigação mineral. I. Lopes, Mariano Vieira dos Santos de Souza. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8
7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Mariano Vieira dos Santos de Souza Lopes, realizada em 28/02/2022.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza (UFSCar)

Prof. Dr. Reinaldo Gaspar Bastos (UFSCar)

Prof. Dr. Enio Farias de França e Silva (UFRPE)

Prof. Dr. Jean Carlos Cardoso (UFSCar)

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

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente.

DEDICATÓRIA

A minha avó Antónia Vieira,
pelo ensino e mostrar a beleza das
palavras quando ainda não sabia
ler. Além disso, sempre me apoiou
e incentivou ao longo da minha
caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as bênçãos e realização de sonhos que almejava neste processo de formação;

Neste curto processo de formação, tive muitas oportunidades e ensinamentos que serão de grande importância para minha vida pessoal e profissional. Foram momentos especiais que para sempre serão lembrados. Desta forma, gostaria de agradecer-los:

A minha avó Antônia Vieira, pelo cuidado, amor, carinho, e mesmo diante de tantas dificuldades e acesso à informação, sempre se preocupou para que eu tivesse as melhores oportunidades diante das suas condições;

A minha mãe Maria da Conceição, meus irmãos Antônio, Fernando, Lucyellen e Patrícia, e meus sobrinhos Pedro e Théo, por estarem comigo em todos os momentos, por desejarem energias positivas e sempre vibrarem positivamente com cada conquista que realizo;

A minha namorada Viviane, pelos momentos compartilhados, apoio e sempre encorajar na realização dos meus objetivos;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza, sendo uma pessoa que tenho muita gratidão e admiração, e que mesmo antes de iniciar mais um ciclo, sempre me apoiou, incentivou, orientou, proporcionou novas experiências e oportunidades incríveis que contribuíram de forma significativa para o meu crescimento pessoal e profissional;

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Jean Cardoso, e Prof. Dr. Fernando Sala, pelos ensinamentos e auxílio no decorrer da pesquisa que tanto contribuíram para a minha formação;

Ao grupo de pesquisa Engenharia de Água, Solo e Ambiente – EASA, pelo companheirismo, troca de conhecimentos e apoio na condução do experimento, em especial a Alessandra, Emily, Juliana, Lisiana, Priscila, Thiago e Rebeca;

Ao Laboratório de Materiais Poliméricos e Biossorbentes – LabMPB, Laboratório de Microbiologia Aplicada e Controle – LabMAC, Centro de Ciências Agrárias – CCA e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA pelo apoio, oportunidades e ensinamentos em todo processo de formação;

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro e bolsa de estudo concedida – Processo 2016/26102-3 e CNPq 409626/2018-0;

Portanto, gostaria de agradecer a todos que contribuíram de alguma forma no decorrer deste trabalho, no qual permitiu a realização de mais um sonho pessoal.

“Homens que têm vencido neste mundo têm sido guiado pela inspiração, pela visão, pela confiança em si mesmo e pela fé no desconhecido”

Wedberg

RESUMO

A distribuição desproporcional de recursos naturais e a demanda por água e nutrientes em sistemas agrícolas, torna importante a busca por fontes alternativas para a irrigação. Desta forma, uma medida mitigadora que vem sendo difundida é o uso de esgoto doméstico tratado na agricultura, além do fornecimento de água para as culturas agrícolas, pode garantir aumento na produção devido ao aporte de nutrientes e matéria orgânica. Assim, objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade da técnica de cultivo, a produtividade e a qualidade de morangos (*Fragaria x ananassa* Duch) San Andréas obtidos em cultivo com substrato, utilizando solução proveniente de esgoto doméstico tratado com e sem adição de fertilizantes minerais. O experimento foi realizado em estufa agrícola, na qual foram cultivados morangueiros num sistema com canaletas de isopor preenchidas com substrato de fibra de coco. Os três tipos de tratamentos: (TA) água potável mais fertilizantes minerais, (TRA) esgoto doméstico tratado complementado com fertilizantes minerais e (TR) apenas esgoto doméstico tratado foram delineados experimentalmente em blocos casualizados. Os resultados quanti-qualitativos foram avaliados através da análise de variância e seguida do teste de Shapiro-Wilk e teste de Tukey a 5% de significância. Os resultados experimentais evidenciaram que a utilização de esgoto doméstico tratado como única fonte de água e nutrientes (TR), resultou em plantas de baixa produtividade e qualidade de frutos comerciais. A produtividade e qualidade dos frutos como número de frutos, comprimento, diâmetro, massa fresca e sólidos solúveis totais, produzidos com a solução TRA foi semelhante estatisticamente ao sistema de cultivo convencional (TA), demonstrando a viabilidade fitotécnica do uso da água de esgoto tratado. A técnica de cultivo em substrato demonstrou ser também segura, não sendo reportado contaminações dos frutos pela bactéria *Escherichia coli*. O emprego do esgoto doméstico tratado promoveu a economia de 13,1% fertilizantes minerais e aproximadamente 4500 L de água potável durante todo o ciclo de cultivo. Com esses resultados, conclui-se que a utilização de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo com substrato apresenta viabilidade na produtividade e na qualidade de frutos de morangueiro sem comprometer a segurança alimentar.

Palavras-chaves: Fibra de coco, água de reúso, fertirrigação mineral, cultivo de hortaliças, San Andréas.

ABSTRACT

The disproportionate distribution of natural resources and the demand for water and nutrients in agricultural systems make it important to search for alternative sources for irrigation. Thus, a mitigating measure that has been disseminated is the use of treated domestic sewage in agriculture, in addition to providing water for agricultural crops, can ensure increased production due to the contribution of nutrients and organic matter. Thus, the objective of this work was to evaluate the feasibility of the cultivation technique, productivity and quality of strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch) San Andrés obtained in cultivation with substrate, using solution from treated domestic sewage with and without the addition of mineral fertilizers. The experiment was conducted in an agricultural greenhouse, in which strawberry plants were grown in a system with Styrofoam troughs filled with coconut fiber substrate. The three types of treatments: (TA) drinking water plus mineral fertilizers, (TRA) treated domestic sewage supplemented with mineral fertilizers, and (TR) treated domestic sewage only were experimentally designed in randomized block design. Quantitative results were evaluated using analysis of variance and followed by the Shapiro-Wilk test and Tukey's test at 5% significance level. The experimental results showed that the use of treated domestic sewage as the only source of water and nutrients (TR), resulted in plants with low productivity and commercial fruit quality. The productivity and quality of the fruits such as number of fruits, length, diameter, fresh mass and total soluble solids, produced with the TRA solution was statistically similar to the conventional growing system (TA), demonstrating the phytotechnical feasibility of using treated sewage water. The substrate culture technique also proved to be safe, with no reported contamination of the fruits by *Escherichia coli* bacteria. The use of treated domestic wastewater promoted savings of 13.1% mineral fertilizers and approximately 4500 L of drinking water during the entire cultivation cycle. With these results, it is concluded that the use of treated household wastewater as a source of water and nutrients in substrate cultivation presents feasibility in productivity and fruit quality of strawberry without compromising food safety.

Keywords: Coconut fiber, reuse water, mineral fertigation, vegetable cultivation, San Andrés

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1. (A) Índice médio de coleta de esgoto por estado no Brasil. Referência: 2018; (B) Índice de tratamento do esgoto coletado por município no Brasil. | 8 |
| Figura 2. Localização e características da área de estudo..... | 16 |
| Figura 3. Estação de Tratamento de Esgoto – ETE localizada no CCA/UFSCar campus Araras. | 17 |
| Figura 4. Esboço da ETE presente no campus CCA/UFSCar. | 17 |
| Figura 5. Esboço do sistema de cultivo com substrato do morango..... | 19 |
| Figura 6. Esquema visual das bancadas suspensas para o sistema de cultivo com substrato do morango. | 20 |
| Figura 7. Fertirrigação do morangueiro sob três tratamentos (TR, TRA e TA). (A) Reservatórios das soluções nutritivas. (B) Sistema de gotejamento com emissores..... | 20 |
| Figura 8. Componentes da irrigação e monitoramento do experimento. (A) Cabeçais de controle da irrigação individualizada. (B) controlador Wi-Fi e aplicativo. (C) Sensor de umidade e condutividade elétrica do solo. (D) Estação meteorológica..... | 21 |
| Figura 9. Determinação microbiológica dos frutos de morango em placa de Petrifilm™ para identificação de <i>Escherichia coli</i> . TA = Tratamento com água potável mais fertilizantes minerais; TRA = Tratamento com esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = Tratamento com esgoto doméstico tratado; 1 = amostra 1; 2 = amostra 2; 3 = amostra 3..... | 26 |
| Figura 10. Monitoramento dos valores médios do pH nas soluções nutritivas do sistema de cultivo com substrato. (A) valores de entrada da solução nutritiva em dias. (B) valores de saída da solução nutritiva em semanas. TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = somente esgoto doméstico tratado. | 31 |
| Figura 11. Cultivo com substrato do morango com três meses de experimento sob diferentes tratamentos. (A) TR = Tratamento com esgoto doméstico tratado; (B) TRA = Tratamento com esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais e (C) TA = Tratamento com água potável mais fertilizantes minerais..... | 32 |
| Figura 12. Monitoramento da condutividade elétrica (CE) na entrada do sistema das soluções nutritivas. TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = somente esgoto doméstico tratado. | 33 |

| | |
|---|----|
| Figura 13. Monitoramento dos valores médios semanais de condutividade elétrica (CE) nas soluções nutritivas do sistema de cultivo com substrato. (A) valores de CE nos perfis de cultivo. (B) valores de CE na saída do sistema. TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = somente esgoto doméstico tratado..... | 34 |
| Figura 14. Variação da temperatura e umidade relativa do ar no cultivo do morango..... | 35 |
| Figura 15. Representação dos frutos de morango coletado de cada sub parcela dos tratamentos analisados. TA = Tratamento com água potável mais fertilizantes minerais; TRA = Tratamento com esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = Tratamento com esgoto doméstico tratado; 1.1 = Bloco 1 e sub parcela 1; 2.1 = Bloco 2 e sub parcela 1; 2.2 = Bloco 2 e sub parcela 2; 3.1 = Bloco 3 e sub parcela 1; 3.2 = Bloco 3 e sub parcela 2; 4.1=Bloco 4 e sub parcela 1; 4.2= loco 4 e sub parcela 2. | 38 |
| Figura 16. (A) = Boxplot e teste de Tukey para o número de frutos de morango; (B) = Boxplot e teste de Tukey para massa fresca do morango; TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = somente esgoto doméstico tratado; médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 5%. | 38 |
| Figura 17. (A) = Boxplot e teste de Tukey para o diâmetro dos frutos de morango; (B) = Boxplot e teste de Tukey para o comprimento dos frutos de morango; TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = somente esgoto doméstico tratado; médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 5%. | 40 |
| Figura 18. Boxplot e teste de Tukey para os valores médios obtidos de sólidos solúveis totais (°BRIX); TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; TR = esgoto doméstico tratado; médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.. | 42 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1. Cobertura em serviço de esgotamento sanitário no Brasil. | 8 |
| Tabela 2. Limites de contaminação esperados em efluentes tratados para irrigação para vários tipos de cultura (<i>Escherichia coli</i> /coliformes termotolerantes)..... | 12 |
| Tabela 3. Área colhida e produção de morango nos principais estados produtores de morango no Brasil. | 13 |
| Tabela 4. Valores médios do efluente bruto (Entrada) e do efluente tratado (Saída) na ETE presente no CCA/UFSCar (anos de 2016 e 2017). | 18 |
| Tabela 5. Recomendações para as soluções no cultivo do morango. | 24 |
| Tabela 6. Caracterização do esgoto doméstico da ETE no CCA/UFSCar..... | 28 |
| Tabela 7. Valores do efluente bruto (Entrada) e eficiência de remoção dos nutrientes minerais. | 29 |
| Tabela 8. Fertilizantes minerais aplicados no tratamento TA e TRA, e nutrientes economizados. | 36 |
| Tabela 9. Economia de fertilizantes minerais aplicados no tratamento TA e TRA, e nutrientes economizados..... | 37 |
| Tabela 10. Síntese dos valores de análise de variância, teste de Tukey e teste de Shapiro-Wilk para os métodos de cultivo do morango referente ao número de frutos e massa fresca no período de estudo..... | 39 |
| Tabela 11. Síntese dos valores de análise de variância, teste de Tukey e teste de Shapiro-Wilk no cultivo do morango referente ao comprimento e diâmetro dos frutos no período de estudo..... | 41 |
| Tabela 12. Quantificação de bactéria (<i>Escherichia coli</i>) nos frutos do morango..... | 44 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. | OBJETIVO | 4 |
| 2.1 | Objetivos Específicos..... | 4 |
| 3. | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 5 |
| 3.1 | Escassez hídrica..... | 5 |
| 3.2 | Produção agrícola e uso de fertilizantes minerais no Brasil..... | 7 |
| 3.3 | Saneamento e reutilização do esgoto doméstico tratado no Brasil..... | 8 |
| 3.4 | Legislação sobre aplicação de esgoto doméstico tratado | 10 |
| 3.5 | Cultura do morangueiro e seu sistema de cultivo..... | 12 |
| 4. | MATERIAL E MÉTODOS | 16 |
| 4.1 | Caracterização da área de estudo..... | 16 |
| 4.2 | Esgoto doméstico tratado | 16 |
| 4.3 | Estrutura do sistema de cultivo com substrato fibra de coco | 18 |
| 4.4 | Análise do esgoto doméstico tratado..... | 21 |
| 4.5 | Recomendações e monitoramento das soluções nutritivas no cultivo do morango 24 | |
| 4.6 | Determinação das variáveis quantitativas do fruto..... | 25 |
| 4.7 | Estatística e análise de dados..... | 27 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 28 |
| 5.1 | Análise do esgoto doméstico tratado..... | 28 |
| 5.2 | Soluções nutritivas no sistema de cultivo com substrato do morango | 30 |
| 5.3 | Fatores climáticos no cultivo do morangueiro com substrato..... | 35 |
| 5.4 | Economia de água e fertilizantes minerais no cultivo do morangueiro com substrato | 36 |
| 5.5 | Análises quantitativas do morango..... | 37 |
| 5.5.1 | Número de frutos e massa fresca do morango..... | 37 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.5.2 | Diâmetro e comprimento dos frutos de morango | 40 |
| 5.5.3 | Sólidos solúveis totais (°BRIX) | 42 |
| 5.5.4 | Análise microbiológica do fruto | 43 |
| 6. | CONCLUSÕES | 45 |
| 7. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 46 |

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente tem levado diversos países a optarem pela sustentabilidade, na qual busca estabelecer um equilíbrio entre o desenvolvimento e o manejo adequado dos recursos naturais. A água é considerada um recurso de origem natural e renovável, entretanto, em algumas regiões do globo esse recurso pode ser escasso ou abundante (TEIXEIRA et al., 2019).

O Brasil é um país privilegiado por possuir uma grande riqueza hídrica, mas a distribuição deste recurso não ocorre de forma igualitária em suas regiões, ocasionando um cenário de desproporção. A região amazônica, por exemplo, conta com grande vazão de águas, baixa densidade populacional em relação as demais regiões do país e não desenvolve atividades que resultam em efluentes altamente poluidores. Em contrapartida, observamos a região metropolitana de São Paulo, na qual existe uma densa concentração industrial, demográfica e o abastecimento hídrico se dá a partir de pequenas bacias com baixa capacidade para fornecimento (MAGALHÃES et al., 2019; PINTO e HERMES, 2006).

Segundo Wainer et al. (2014), o setor agrícola é responsável pelo consumo de 70% da água doce disponível no globo, e supõe-se que até o ano de 2050 a demanda por água potável de qualidade nesse setor possa aumentar em 19%, ao mesmo tempo em que o volume de água precipitável tende a diminuir em torno de 10 a 20% em determinadas regiões, sendo ocasionado por fatores das mudanças climáticas como má distribuição de chuvas, aumento da temperatura, sendo diretamente relacionado com aumento na transpiração das plantas e conseqüentemente o volume de água consumida.

A falta de saneamento básico e a aplicação de fertilizantes, herbicidas e inseticidas usados em função do padrão de produção na agricultura moderna, promove um impacto ambiental insustentável na qualidade da água em escala global (CARVALHO et al., 2019). Desta forma, compreende-se a necessidade de buscar fontes alternativas de fornecimento de água. Uma medida já bastante difundida em outros países como Estados Unidos, Israel e Japão tem sido a utilização do esgoto doméstico tratado para fins de irrigação agrícola, a qual oferece uma fonte alternativa de água o ano inteiro (MARTÍNEZ et al., 2013; URBANO et al., 2017).

No Brasil, quando se trata da reutilização do esgoto doméstico tratado, não existe uma legislação a nível Federal ou Estadual que aborde os padrões máximos e mínimos, diretrizes ou métodos para seu uso e aplicação. Em síntese, não há legislações permitam sua reutilização no cultivo de hortaliças, sejam elas folhosas ou de frutos (FIGUEIREDO et al., 2021).

A mais recente resolução N° 503 de 2021 (BRASIL, 2021), estabelece alguns critérios e procedimentos para a reutilização de efluentes em sistemas de cultivo fertirrigado, onde esse reúso seja proveniente apenas de indústria de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias.

A aplicação do esgoto doméstico tratado na agricultura pode auxiliar em importante elemento de estratégia para política e gerenciamento de água e, além disso, contribuir na transformação de uma imagem negativa do esgoto numa sociedade economicamente e ambientalmente segura, no sentido de preservar os recursos hídricos existentes (HESPANHOL, 2002).

A fim de atender as exigências da atualidade, principalmente na melhoria do bem-estar humano no trabalho, o agricultor muitas vezes tem optado pelo cultivo em substrato, no qual o cultivo ocorre em ambiente protegido e, o solo é substituído por substrato (fibra de coco, por exemplo) irrigado por solução aquosa rica em nutrientes minerais. Este sistema tem evidenciado uma forma eficiente de obtenção de alimentos saudáveis, pois permite práticas que reduzam a adição de agrotóxicos, proporciona aumento na produção e garante ótima qualidade nutricional ao cultivo (SANTOS, 2018).

Segundo Antunes et al. (2007), as vantagens da agricultura em ambiente protegido para a cultura do morango (*Fragaria x ananassa* Duch) possibilitou a antecipação da colheita e maior rendimento de produção. O morangueiro é uma hortaliça que pertence à família Rosaceae, sendo uma herbácea perene e rastejante, sendo seu consumo é apreciado pelo sabor e ser rico em substâncias antioxidantes e ácido ascórbico (vitamina C). (AGUIAR et al., 2014).

Um fator determinante para o bom rendimento no cultivo do morangueiro no Brasil é a escolha da cultivar em razão da época do ano, visto que as cultivares de dias curtos como Oso grande, Camarosa, Camino Real e Festival são mais aptas a épocas do ano em que os dias possuem menor número de horas diários expostas a luz do sol, ou seja, menos de oito horas de luz durante o dia. Por outro lado, as cultivares de dias neutros como Albion, San Andrés, Monterrey, Portola, Aromas e Cristal são insensíveis ao fotoperíodo, propiciando o cultivo em qualquer época do ano. (VIDAL e SANTOS, 2017).

Especificamente a cultivar San Andrés, sendo de dias neutros, teve origem na Universidade da Califórnia – UC, é caracterizada por seu excelente sabor, qualidade e produtividade, sendo recomendada para consumo *in natura* (ANTUNES e JUNIOR, 2019). Neste contexto, a fim de tornar claro e compreensível a importância de pesquisas voltadas a viabilização do esgoto doméstico tratado em sistemas de cultivo em substrato, essa técnica é

uma fonte alternativa a água potável utilizada para a irrigação, podendo ser utilizada como fonte de nutrientes minerais que seriam lançados nos corpos hídricos, garantindo produtividade, qualidade e proporcionando benefícios ao cultivo de hortaliças, a exemplo do morango.

2. OBJETIVO

Esse trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade da técnica de cultivo, a produtividade e a qualidade de morangos (*Fragaria x ananassa* Duch) San Andréas obtidos em cultivo com substrato, utilizando solução proveniente de esgoto doméstico tratado com e sem adição de fertilizantes minerais.

2.1 Objetivos Específicos

- Avaliar a possibilidade de emprego do esgoto doméstico tratado da ETE do CCA/UFSCar como fonte alternativa às soluções comerciais recomendadas para o cultivo do morango;
- Analisar a produtividade do cultivar San Andréas, bem como número de frutos, comprimento, diâmetro, massa fresca e sólidos solúveis totais do morango produzidos com água proveniente do esgoto doméstico tratado da ETE do CCA/UFSCar;
- Quantificar a contagem microbiológica dos frutos de morango produzidos com esgoto doméstico tratado;
- Avaliar o potencial dessa fonte de água servir como fertilizante, substituindo parcialmente o uso de fertilização mineral.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Escassez hídrica

Toda e qualquer atividade que o ser humano possa desenvolver, necessita de alguma forma do aproveitamento dos recursos naturais. Neste caso, a água pode ser considerada o centro de suas necessidades por suprir questões ambientais, sociais ou econômicas. Todavia, quando sua aplicabilidade é realizada de forma errônea, geram consequências que podem afetar diretamente a sua qualidade e seus múltiplos usos (SANTOS et al., 2020).

A água é um recurso natural essencial à vida, e para ser considerada recurso hídrico é necessário agregar valor a ela. Desta forma, os recursos hídricos vêm sofrendo pressões por parte do crescimento populacional, bem como do setor industrial e agropecuário (CANTELLE et al., 2018).

É ciente que gradativamente as águas de qualidade para fins potáveis vêm se exaurindo em algumas regiões do globo e que, atitudes humanas como consumo irresponsável e falta de sustentabilidade causam poluições dos corpos hídricos culminando na redução das águas de qualidade disponíveis. Essa preocupação relacionada as questões ambientais atingem diversos setores, sendo eles a área social, política ou econômico, os quais exigem reflexões sobre a aplicabilidade dos recursos naturais nos países industrializados e em desenvolvimento.

Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OECD (2012) que é constituída por 38 países, nela estima-se que até 2050 aproximadamente 70% da população irá residir em áreas urbanas, esse acréscimo pode atingir um patamar de 80% na demanda por recursos naturais, onde a água é de fundamental importância para suprir as mais variadas necessidades.

De acordo com os dados obtidos pelo Sistema de Informação Global da FAO sobre Água e Agricultura – FAO AQUASTAT (2015), cerca de 69% do consumo mundial de água fica destinado a agricultura (abrangendo irrigação, pecuária e aquicultura), 12% aos municípios, sendo direcionado ao uso doméstico e 19% ao uso industrial. Neste seguimento, o *Water Assessment Programme – WWAP* (2014), afirma que embora os dados sobre uso e qualidade da água sejam de caráter duvidoso, há possibilidade de afirmar que a agricultura seja o setor com maior demanda por água, consumindo 70% do total.

Quando discutimos a questão da disponibilidade hídrica no Brasil e no mundo, este assunto tem fortemente ganhado destaque nas últimas décadas, onde o tema é abertamente discutido na mídia, congressos, fóruns e salas de aulas. O que tem motivado tais preocupações é o fato de

estarmos vivendo em situação de crescente ameaça ao acesso a água potável de qualidade para atender toda a população.

O Brasil possui uma grande riqueza hídrica, aproximadamente 12% da água superficial do mundo está no país. Porém, mesmo apresentando esse percentual de maior disponibilidade hídrica, o país presencia problemas relacionados a escassez hídrica, onde está diretamente relacionado a distribuição irregular desse recurso. A região norte é o local mais favorecido, possuindo 68% do recurso, por outro lado, a região sudeste corresponde a 6% (RIBEIRO, 2018).

De acordo com Pasqualetto et al. (2020) de toda água doce disponível no Brasil, cerca de 55% do seu consumo está voltado ao uso agrícola, onde o setor de irrigação é o principal consumidor. Neste seguimento, abastecimento urbano constitui o segundo maior uso, sendo 22%, industrial 15%, animal 6% e abastecimento rural 2%. Além disso, mesmo o país possuindo uma grande riqueza hídrica a sua distribuição nas regiões é desproporcional (MAGALHÃES et al., 2019).

A região sudeste enfrentou uma seca histórica que iniciou em 2013 e se estendeu até fevereiro de 2015, a falta de água foi considerada a mais grave nos últimos 71 anos afetando mais de 70 cidades, deixando-as à beira de um colapso (MARTIRANI e PERES, 2016).

Os impactos gerados pela estiagem em 2014 forçaram que diversos setores da sociedade como indústria e agricultura fizessem o uso consciente dos recursos hídricos, no qual pudesse promover o emprego da água de forma responsável e procurando medidas mitigadoras que pudessem proporcionar um bem-estar social, econômico e ambiental (JACOBI et al., 2016).

No que se refere à quantidade e qualidade dos recursos hídricos disponíveis, o relatório do Sistema de Informação Global da FAO sobre Água e Agricultura – FAO AQUASTAT (2015), indica uma melhoria contínua da eficiência na agricultura e do tratamento de esgoto doméstico, visando mitigar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas na maioria dos países da OECD.

Em contrapartida, em países com baixa condições de investimento no nesse setor, assume-se que a deterioração da qualidade hídrica nas próximas décadas vem fomentando a eutrofização dos corpos hídricos, perda de biodiversidade e doenças. Por fim, inundações e secas se tornarão eventos cada vez mais comuns, mais graves e menos previsíveis. Estima-se que o número de pessoas em risco de inundações deverá aumentar dos atuais 1,2 bilhões para cerca de 1,6 bilhões em 2050 (OECD, 2012).

Com base nessas projeções, é possível compreender que iniciativas devem ser tomadas para mitigar os impactos sobre os recursos hídricos disponíveis no globo. Desta forma, a escassez de água tem levado a um crescente interesse em usar o esgoto doméstico tratado na irrigação, indústria e recarga das águas subterrâneas (CARVALHO et al., 2018).

3.2 Produção agrícola e uso de fertilizantes minerais no Brasil

No decorrer dos anos, a agricultura exerceu um papel fundamental no progresso da sociedade, possibilitando que o homem se “fixa-se” em locais que proporcionasse benefícios e abandonasse sua vida de nômade (RIBEIRO et al., 2018). A demanda na produção de alimentos nos últimos anos, incentiva o produtor a buscar novas técnicas sustentáveis de cultivo a fim de aumentar sua produção em uma menor área de cultivo.

O Brasil é considerado uma potência mundial no setor agrícola, sendo um dos maiores exportadores em escala global de produtos no setor agrícola (soja, milho, carne, algodão e produtos florestais) e compete diretamente com países como China, Estados Unidos, Índia e Rússia. Logo, todo esse reconhecimento está diretamente relacionado aos fatores como clima, disponibilidade hídrica e áreas agricultáveis do país (MARTINS, 2021).

Associado a isto, o uso de fertilizantes minerais é encarado como uma necessidade devido o padrão de produção, além disso, tem-se um custo a mais em processos de plantações (OLIVEIRA et al., 2019). Com base na Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA (2022), o setor agrícola do Brasil consome 7% de toda produção global de fertilizantes minerais, sendo o quarto colocado no *ranking* mundial, ficando atrás das potências mundiais como China, Índia e Estados Unidos.

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM (2012), setor que abordam o consumo dos principais fertilizantes minerais, o Brasil ocupa a quinta colocação na demanda de Nitrogênio (3%), quarta de Fósforo (9%) e terceira em Potássio (15%), respectivamente, expressando aumento de 3% ao ano de fertilizantes minerais.

A demanda por fertilizantes minerais, evidencia que o Brasil fica submetido às importações para suprir suas necessidades. Além disso, quase 70% dos fertilizantes minerais usados no país são provenientes de importações, sendo em média 32 milhões de toneladas importadas por ano, sendo o Mato Grosso foi o maior consumidor de fertilizantes, seguido pelos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Goiás. Já as culturas com maiores índices no consumo de fertilizantes minerais foram: soja, milho, cana-de-açúcar e café (ANDA, 2022).

Desta forma, Oliveira et al. (2019) afirmam que essa dependência por fertilizantes minerais resulta em problemas ao agronegócio, na qual faz-se necessário criar estratégias para solucionar tais necessidades de fertilizantes minerais e de insumos primários de produção.

3.3 Saneamento e reutilização do esgoto doméstico tratado no Brasil

Quando se discute a questão do esgotamento sanitário no Brasil, Santos e Vieira (2020) apresentam dados sobre a cobertura dos serviços de esgotamento sanitário no país, onde a partir do abastecimento de água para população (83,6%), apenas 53,2% de todo esgoto gerado são coletados. Já o esgoto gerado corresponde 45,3% com qualidade de tratamento e, o reúso do efluente em relação ao esgoto tratado são 1,5% (Tabela 1).

Tabela 1. Cobertura em serviço de esgotamento sanitário no Brasil.

| Serviço | Indicador | Proporção (%) |
|---------|--|---------------|
| Água | Abastecimento de água em relação a população total | 83,6 |
| Esgoto | Coleta de esgoto total no Brasil | 53,2 |
| | Tratamento de esgoto total gerado no Brasil | 45,3 |
| Reúso | Efluente usado em relação ao esgoto tratado | 1,5 |

Fonte: Adaptada de Santos e Vieira (2020).

A coleta de esgoto por estado no Brasil, demonstra que o índice médio de atendimento acima de 70% ocorreu somente para o Distrito Federal e mais três estados: São Paulo, Minas Gerais e Paraná. Já o índice médio com situação preocupante, sendo abaixo de 10% na coleta de esgoto foram: Rondônia, Pará e Amapá. Os demais estados apresentaram um índice médio de coleta do esgoto na faixa de 10 a 70% (Figura 1 A) (BRASIL, 2019).

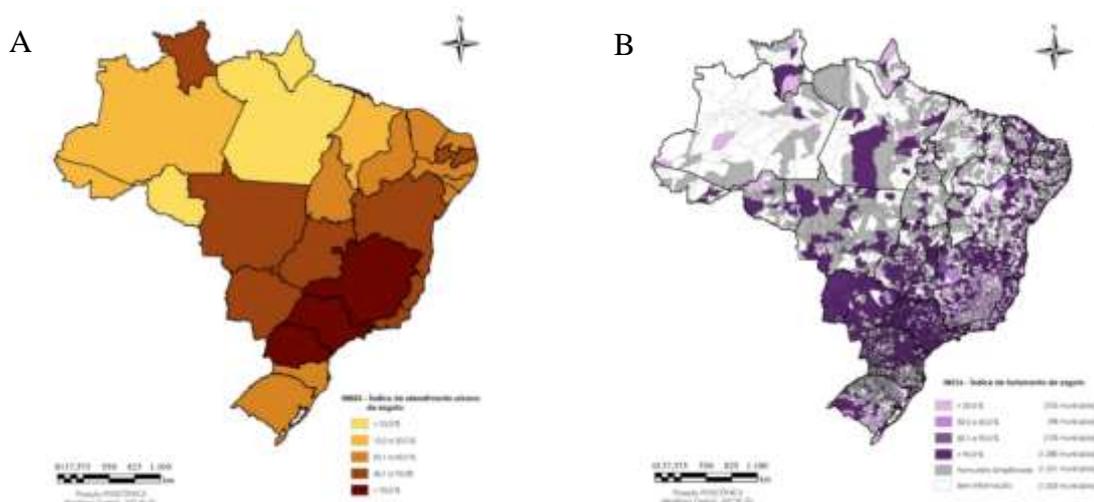


Figura 1. (A) Índice médio de coleta de esgoto por estado no Brasil. Referência: 2018; (B) Índice de tratamento do esgoto coletado por município no Brasil.

Fonte: BRASIL, 2019.

Com relação a Figura 1 B, pode-se constatar que em relação ao índice de tratamento a partir do esgoto coletado, apenas 1580 municípios (28,3%) tratam mais de 90% do esgoto coletado e 936 municípios (16,8%) fazem o tratamento do esgoto em até 89%. Por sua vez, 1531 municípios (27,4%) disponibilizam apenas um formulário simplificado de tratamento, e 1523 municípios (27,3%) não apresentam nenhuma informação sobre o tratamento do esgoto.

De acordo com a Agência Nacional de Águas – ANA (2017), o Brasil possui informações de 2.657 Estações de Tratamento de Esgoto – ETEs em 1.598 cidades, na qual atende aproximadamente 71 milhões de habitantes. Diante de tais informações, somente 36,5% das ETEs apresentam eficiência na remoção da matéria orgânica superior a 80%. Já 1427 ETEs (53,7%) tem capacidade remover matéria orgânica na faixa de 60 a 80% e, o restante das ETEs (9,8%), obtém no máximo 60% de eficiência.

Segundo Santos e Vieira (2020), com base na coleta e tratamento do esgoto doméstico no Brasil, apenas 1,5% são aplicados na reutilização. A importância de atingir a meta sobre a universalização do saneamento básico no país, reduz a contaminação pela descarga direta de esgoto nos corpos hídricos, melhora suas condições, proporciona a prática do reúso a partir desses efluentes tratados, permite a utilização mais racional, além de ser uma fonte alternativa de água disponível o ano inteiro (MARTÍNEZ et al., 2013).

Essa possibilidade de reaproveitamento do esgoto doméstico tratado se tornou uma opção atraente, destacando-se nos últimos anos como uma alternativa em potencial podendo acrescentar como benefício, a redução da quantidade de esgotos lançados nos corpos d'água sem o devido tratamento e a redução da pressão sobre mananciais devido à substituição da água potável por uma água de qualidade menos nobre na agricultura. Além disso, proporciona a preservação hídrica em regiões cuja demanda é superior a disponibilidade e, em situações em que ocorre a escassez (RICART e RICO, 2019).

A demanda por água na agricultura vem aumentando, de tal forma que se não houver uma gestão adequada somada a busca por novas fontes de abastecimento, a produção de alimentos poderá ser comprometida. Estudos apontam aumento significativo na produção agrícola em países que já optaram pelo uso de esgoto tratado na agricultura, quando sua aplicação é administrada de forma correta (HESPANHOL, 2002).

A utilização do esgoto doméstico tratado tem se mostrado eficiente, os resíduos do esgoto possuem nutrientes naturais podendo ser aplicados na irrigação fornecendo nutrientes a cultivar, realizando dessa forma uma economia de fertilizantes minerais e garantindo boa produtividade no campo (CARVALHO et al., 2018; URBANO et al., 2017).

Mendonça (2018) reforça que o esgoto doméstico tratado possui nutrientes minerais e matéria orgânica que são de proveito às plantas, na qual podem ser aplicados na agricultura e potencializar a produção de alimentos. Desta forma, pesquisadores estudam diversas tecnologias do esgoto doméstico na agricultura através de métodos que possa viabilizar sua aplicação em diversas culturas.

Como exemplo disso, Cuba et al. (2015) estudaram o potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface sob diferentes tratamentos, e puderam identificar que o esgoto tratado sem complementação de fertilizantes minerais apresentava deficiência nutrientes e redução da massa fresca da alface. Contudo, não foi detectado presença de bactéria *Escherichia coli*, e foi possível obter economia de fertilizantes a partir do método empregado.

Mendes et al. (2016) aplicaram o efluente tratado visando os aspectos agrônômicos e sanitários no cultivo do rabanete. O método de cultivo no solo associado ao uso do efluente tratado, não comprometeu a composição nutricional e a produção do rabanete. Por outro lado, o experimento evidenciou a contaminação microbiológica em termos de coliformes totais e *Escherichia coli*, e não apresentou padrões sanitários para o consumo *in natura*. Por sua vez, Figueiredo et al. (2021) através do emprego do esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes para morango sob cultivo hidropônico, corroborou uma economia de 33% de fertilizantes minerais na cultura do morango.

Com intuito de garantir a proteção do consumidor, a produção dos alimentos e as pessoas envolvidas com os métodos de reutilização do esgoto doméstico tratado, faz-se necessário analisar as questões sanitárias a partir da sua aplicação, na qual pode ocorrer a proliferação de patógenos que estão presentes no efluentes (DALTRO FILHO, 2004).

3.4 Legislação sobre aplicação de esgoto doméstico tratado

Segundo a resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (nº 54 de 28 de novembro de 2005), o reúso é determinado como a utilização do efluente doméstico com tratamento de baixa qualidade ou não, na qual a partir de sua aplicação possa proporcionar a conservação dos corpos hídricos atendendo os usos de abastecimento público. Ainda nesta resolução, o reúso pode ser aplicado de forma direta e indireta. O reúso direto é quando o efluente é realizado de forma planejada e ocorre o transporte da água até o local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos. Já o indireto é caracterizado pela utilização da água após sua diluição.

Quando abordamos a questão sobre o uso do esgoto doméstico tratado no Brasil, nós não possuímos uma legislação a nível Federal que aborde os padrões de uso e qualidade, e permita o uso na agricultura ou outros fins, tornando um desafio aos interessados pesquisar sobre o assunto abordado.

A resolução N° 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2005), dispõe sobre critérios e procedimentos para aplicação do lodo de esgoto e seus derivados em áreas agrícolas, na qual tem intuito de mitigar impactos ambientais e promover benefícios à agricultura. Nesta resolução de N° 357, são estabelecidos parâmetros para macro e micronutrientes como: carbono orgânico total, fósforo, nitrogênio nas suas diversas formas, potencial hidrogeniônico, potássio, sódio, dentre outros parâmetros. Contudo, o artigo 12 afirma que é proibido a aplicação de qualquer lodo de esgoto ou produtos derivados em pastagens e olericulturas, não estabelecendo parâmetros de qualidade para aplicação do esgoto doméstico tratado (BRASIL, 2005).

Na resolução N° 430 de 2011 do CONAMA, são abordadas as condições e padrões de lançamento de efluentes, o Art. 27 informa que é permitido reutilizar o esgoto doméstico tratado, caso tenha interesse. Porém, não estabelece parâmetros de qualidade, não informa se é permitido para uso na agricultura como irrigação ou onde deve ser aplicado, gerando uma insegurança para pessoas interessadas em aplicar o esgoto doméstico tratado (BRASIL, 2011).

Conseqüentemente, a mais recente resolução N° 503 de 2021 (BRASIL, 2021), estabelece alguns critérios e procedimentos para a reutilização de efluentes em sistemas de cultivo fertirrigado, onde esse reúso seja proveniente apenas de indústria de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias. Porém, vale ressaltar que neste estudo aplicou-se solução nutritiva proveniente de Estação de Tratamento de Esgoto – ETE passando por um sistema de cultivo com substrato fertirrigado.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB lançou em 2006 a Instrução Técnica n° 32, visando controlar a aplicação o esgoto tratado por intermédio de seus critérios. Nesta Instrução Técnica, esgoto tratado que apresente condutividade elétrica (CE) na faixa 0,75 e 2,9 dS m⁻¹ só pode ser utilizado em solo que possua boa capacidade de drenagem (CETESB, 2006).

Segundo a resolução conjunta de São Paulo de Secretários de Estado da Saúde e de Infraestrutura e Meio Ambiente – SIS/SIMA de N° 01 de 2020, estabelecem modalidades, critérios, diretrizes para o reúso direto não potável da água, abrangendo exclusivamente as seguintes modalidades: sendo destinada somente a campos esportivos, parques públicos,

irrigação de cereais, culturas a serem industrializadas, silvicultura, frutíferas, forragens para feno e silagem, sendo proibida a sua aplicação no cultivo de hortaliças (BRASIL, 2020).

No primeiro encontro sobre o uso adequado de águas residuárias na agricultura, realizado em 1985 na cidade de Engelberg – Suíça, foram discutidas as primeiras recomendações para a qualidade microbiológica de efluentes tratados destinados à irrigação (MENNDONÇA, 2018).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2006), são consideradas dois tipos de irrigação com base nessas recomendações: restrita e irrestrita. A irrigação irrestrita está atribuída a culturas com raízes ou folhas, irrigação por gotejamento de culturas elevadas ou rente ao solo, e casos em que dependa dos requisitos da agência reguladora do local. Já a irrigação restrita está relacionada à irrigação de todas as culturas, com exceção daquelas em que o consumo é realizado cruas (Tabela 2).

Tabela 2. Limites de contaminação esperados em efluentes tratados para irrigação para vários tipos de cultura (*Escherichia coli*/coliformes termotolerantes)

| Tipo de irrigação | Cultura | Nível para monitoramento de verificação (E. coli por 100 mL) * |
|--------------------------|---|---|
| Irrestrita | Culturas de raízes | $\leq 10^3$ |
| | Cultura de folhas | $\leq 10^4$ |
| | Irrigação por gotejamento de culturas elevadas | $\leq 10^5$ |
| | Irrigação por gotejamento de culturas rentes ao solo | $\leq 10^3$ |
| | Depende dos requisitos da agência reguladora local | $\leq 10^1$ ou $\leq 10^0$ |
| Restrita | Agricultura intensiva (proteção de adultos e crianças menores de 15 anos) | $\leq 10^4$ |
| | Agricultura altamente mecanizada | $\leq 10^5$ |
| | Remoção de patógenos em tanque séptico | $\leq 10^6$ |

* = média geométrica

Fonte: Adaptada de World Health Organization (2006).

3.5 Cultura do morangueiro e seu sistema de cultivo

O morangueiro é uma angiosperma dicotiledônia da família *Rosaceae*, e subfamília *Rosoideae*. Essa grande e diversificada família inclui muitas espécies produtoras de frutos de estimado valor para o consumo humano, como maçãs, pêssegos, framboesas e amoras, sendo planta da espécie pertencente ao gênero *Fragaria L.* são muito variáveis, tanto do ponto de vista funcional quanto estrutural (SIMÕES et al., 2019).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO (2019), a produção mundial de morango é progressiva em números absolutos nos últimos anos,

onde o Brasil se destaca no *ranking* dos principais países que produzem morango no mundo, ficando em 13º lugar com produção de 165.440 toneladas cultivada em uma área de 4.500 ha. Já a China ocupa a primeira colocação com produção acima superior a três toneladas numa área de 133.144 ha. Já a Polônia (177.921ton e 49.642ha), Rússia (175.652ton e 26.565ha) e Estados Unidos (1.449.280ton e 21.327ha) ocupam as próximas posições respectivamente.

No Brasil não existem registros oficiais que marcam a data em que a cultura do morangueiro começou a ser introduzida no país, mas acredita-se que ela tenha começado a se difundir a partir do ano de 1950 no estado de Minas Gerais, porém foi só a partir dos anos 80 que a cultura apresentou um marco de expansão (ANTUNES et al., 2016).

Na América do Sul, o Brasil ocupa a posição de destaque na produção de morango, concorrendo com países como Venezuela, Colômbia, Peru e Argentina. No Brasil, os estados que se destacam na produção de morango são: Minas Gerais; Paraná; Rio Grande do Sul; São Paulo; Espírito Santo; Santa Catarina; Distrito Federal; Bahia e Rio de Janeiro (Tabela 3) (ANTUNES et al., 2020).

Tabela 3. Área colhida e produção de morango nos principais estados produtores de morango no Brasil.

| Estado | Área (ha) | Produção (ton) |
|---------------|------------------|-----------------------|
| MG | 2.100 | 84.400 |
| PR | 650 | 21.450 |
| RS | 518 | 21.763 |
| SP | 425 | 13.801 |
| ES | 247 | 8.510 |
| SC | 225 | 9.900 |
| DF | 200 | 7.400 |
| BA | 100 | 2.700 |
| RJ | 35 | 980 |
| Total | 4500 | 165.440 |

MG = Minas Gerais; PR = Paraná; RS = Rio Grande do Sul; SP = São Paulo; ES= Espírito Santo; SC = Santa Catarina; DF = Distrito Federal, BA = Bahia e RJ = Rio de Janeiro; ha = hectares; ton = toneladas. Fonte: Adaptada de Emater(es), Emater-Ascar-RS (L. Moura) Incaper, Embrapa, UFSC, J. A. Maiorano e A. T. Watanabe (Dextru/CATI/SAA-SP) citada por Antunes et al., (2020).

Segundo Gonçalves et al. (2016), a cultivar San Andrés foi lançada ao mercado no ano de 2009 e foi produzida pela Universidade da Califórnia, EUA, sendo recomendada para consumo *in natura*. Além disso, a planta é moderadamente resistente ao oídio (*Sphaerotheca macularis*), antracnose (*Colletotrichum fragariae*), murcha de verticílio (*Verticillium albo-atrum*), podridão-da-coroa (*P. coctorum*) e tolerante ao ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*). Além das características do fotoperíodo, na cultura do morangueiro o manejo adequado da água e dos

nutrientes é indispensável para garantir uma boa colheita em qualquer época do ano (VIDAL e SANTOS, 2017).

Nas condições de manejo da cultura San Andrés em que a solução nutritiva, tratos culturais e temperatura na faixa de 15 °C a 26°C, tem apresentado as seguintes características: planta pouco vigorosa; frutas simétricas (cônico longo) de alta qualidade; bom sabor e indicada para produção em sistemas protegidos, onde apresenta elevado rendimento em cultivo fora do solo (ANTUNES et al., 2016; GONÇALVES et al., 2016).

No preparo da solução nutritiva, independentemente do sistema de cultivo adotado ou origem da água, neste caso, o esgoto doméstico tratado, deve possuir condutividade elétrica inferior a 0,4 dS m⁻¹ levando em consideração que a cultura do morangueiro é muito sensível a elevadas condutividades. Contudo, a solução nutritiva drenada no substrato deve manter-se com condutividade elétrica (CE) abaixo de 1,5 dS m⁻¹ e potencial hidrogeniônico (pH) apenas monitorado (ALVES et al., 2019).

A técnica do sistema de cultivo com substrato vem sendo aplicada em nas últimas décadas em quase todas as regiões do país. Além disso, a denominação “sem solo” é por motivos da solução que é drenada (aquela não absorvido pelo morangueiro) não ser reaproveitada durante o ciclo de produção (GONÇALVES et al., 2016).

Ainda Gonçalves et al. (2016), afirmam que esse sistema de cultivo com substrato, normalmente associam o sistema de cultivo utilizando algum substrato, podendo ser casca de arroz carbonizada, areia, fibra de coco ou espumas sintéticas. O substrato fibra de coco tem ganhado destaque, pois é um dos substratos mais utilizado no sistema, sendo o mesmo originário da casca de coco verde. Desta forma, a fibra possui baixa capacidade de retenção de água, alta porosidade, baixa densidade e pH entre 4,9 a 5,6.

Segundo Alves et al. (2019), a técnica de cultivo do morango com substrato tem ganhado espaço em todo o país, na qual destaca-se suas vantagens como: o sistema de bancadas permitem melhor ergonomia nas operações dos tratos culturais e colheita; Possibilidade de produção em áreas com baixo potencial de produção; Período de colheita prolongada, podendo produzir durante os doze meses do ano; Melhor controle da solução nutritiva das plantas, permitindo, assim, obterem-se mudas com maior vigor e mais qualidade fisiológica; Redução de problemas fitossanitários, principalmente os relacionados ao sistema radicular, em virtude de as plantas serem cultivadas em substrato e por fim, menor agressão ao meio ambiente e menor pressão de doenças, permitindo a substituição parcial dos agrotóxicos por práticas culturais adequadas, uso de agentes de controle biológico, assim como produtos alternativos,

reduzindo o nível de contaminação dos frutos, visto que o cultivo é realizado em ambiente protegido e acima do solo.

Já as desvantagens no sistema de cultivo com substrato, são: elevado custo de implantação inicial; dependendo da região pode apresentar dificuldade de matéria prima para formulação de substratos; necessita do monitoramento constante do potencial hidrogeniônico (pH) e da condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva fornecida à cultura. Além da dependência de energia elétrica com fornecimento constante; maior nível de capacitação do agricultor, entre outros.

A produção do morangueiro fora do solo, usando os métodos ideais para cultivo permite que a planta produza frutos com nível de produção três vezes maior quando comparado com o cultivo direto no solo (BORTOLOZZO et al., 2005).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O cultivo do morango (*Fragaria x ananassa* Duch) foi conduzido em estufa agrícola do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental – DRNPA instalado no Centro de Ciências Agrárias – CCA na Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, *campus* Araras, localizado no município de Araras – SP com latitude igual a 22°18'53,23'' Sul e longitude igual a 47°23'00,91'' Oeste e altitude de 629 m (Figura 2).

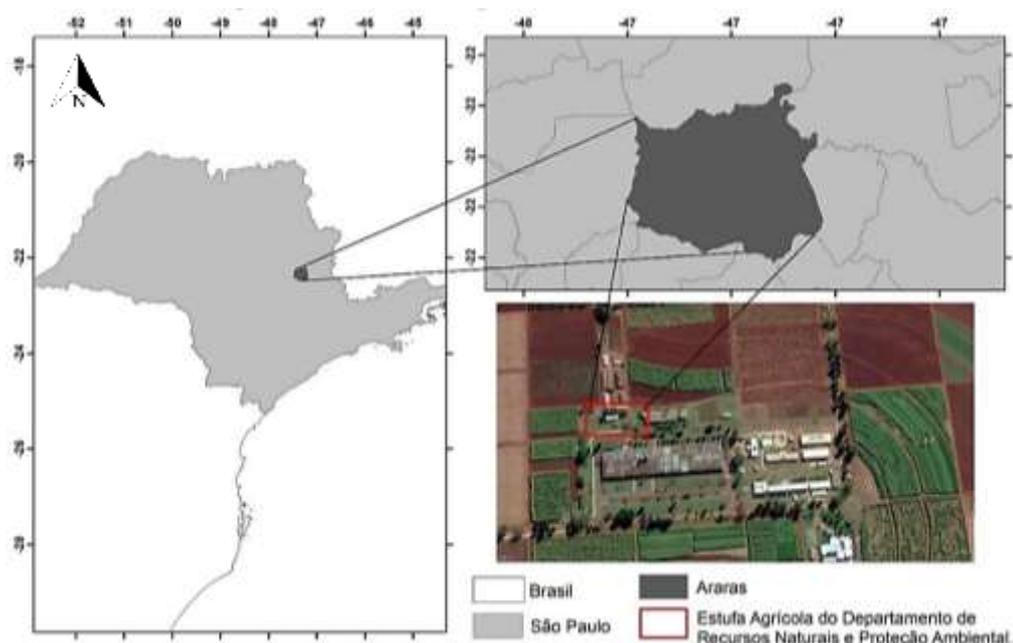


Figura 2. Localização e características da área de estudo.

Fonte: Do autor.

A caracterização climática da região de acordo com a classificação de Köppen-Geiger é do tipo “Cfa” subtropical úmido, onde temos duas estações bem definidas, sendo uma seca no período de abril a setembro e outra chuvosa de outubro a março (MEDEIROS et al., 2021).

4.2 Esgoto doméstico tratado

O esgoto doméstico tratado utilizado na solução nutritiva para o cultivo com substrato do morango foi captado na Estação de Tratamento de Esgoto – ETE da própria UFSCar *campus* Araras (Figura 3), a estação tem capacidade para receber e tratar 2000 L de esgoto por dia, com detenção hidráulica de 22 horas em períodos de maior fluxo, podendo chegar até 48 horas em períodos de menor fluxo (OLIVEIRA et al., 2019).



Figura 3. Estação de Tratamento de Esgoto – ETE localizada no CCA/UFSCar campus Araras.

Fonte: Do autor.

Para melhor depuração dos resíduos e maior garantia do aproveitamento de nutrientes oriundos do efluente, a estação de tratamento é dividida em três unidades, seguindo o esquema de um biofiltro (Figura 4). Na primeira unidade, o efluente bruto é recebido em uma caixa de gordura, que retém maior parte dos sólidos presentes, e tem capacidade de 24 L, então segue um tanque séptico (faz parte da etapa preliminar, atende as exigências da NBR 7229/93, possui diâmetro 1,7 m, altura de 2,57 m e volume 5,0 m³), que por intermédio da ação gravitacional separa o restante dos sólidos, os quais irão se sedimentar e passar por um processo de digestão anaeróbia no fundo do tanque.

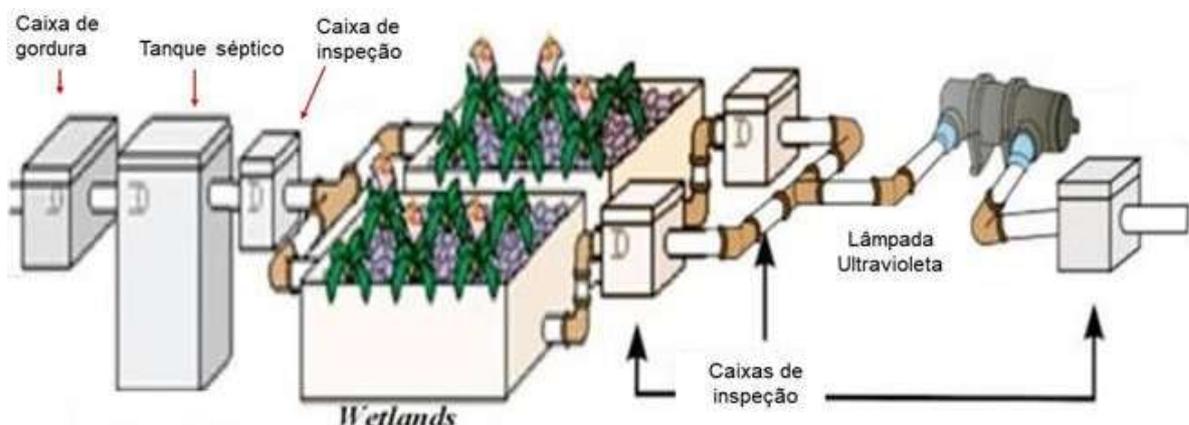


Figura 4. Esboço da ETE presente no campus CCA/UFSCar.

Fonte: Garay e Souza (2015).

Na segunda unidade, o efluente segue por uma tubulação de Policloreto de Polivinila - PVC até o tanque de *wetlands*, conhecido como Sistema Alagado Construído – SAC, o qual é

preenchido com pedras brita e conta com a presença do Papiro (*Cyperus alternifolius*), uma planta ornamental adaptada para solos úmidos e saturados, mostrando-se eficiente no tratamento de efluentes domésticos. Na última unidade, o efluente segue em tubulação, passando através da radiação ultravioleta (UV – dose de radiação de 0,43 mW.s.cm⁻²), responsável pela redução da carga patogênica e, então, é armazenado em um tanque de equalização até que seja utilizado no experimento.

Todas as unidades da estação de tratamento são compostas de material impermeabilizante (polietileno), com o intuito de evitar possíveis contaminações do solo e lençol freático. A qualidade do esgoto doméstico bruto tratado é caracterizada na Tabela 4 (OLIVEIRA et al., 2019).

Tabela 4. Valores médios do efluente bruto (Entrada) e do efluente tratado (Saída) na ETE presente no CCA/UFSCar (anos de 2016 e 2017).

| Parâmetros | Unidades | Entrada | Saída | Eficiência (%) |
|----------------|--------------------------|---------------------|----------------------|----------------|
| pH | | 6,8 | 6,4 | --- |
| Turbidez | NTU | 87,3 | 2,7 | 96,9* |
| CE | dS m ⁻¹ | 0,6 | 0,4 | 30,6* |
| OD | mg L ⁻¹ | 3,3 | 6,5 | 98,5 |
| Na | mg L ⁻¹ | 8,2 | 10,3 | 26,7 |
| K | mg L ⁻¹ | 49,4 | 15,7 | 68,2* |
| Ca | mg L ⁻¹ | 13,5 | 16,6 | 22,9 |
| NT | mg L ⁻¹ | 23,4 | 10,7 | 54,1* |
| PT | mg L ⁻¹ | 5,6 | 3,6 | 36,1* |
| Mg | mg L ⁻¹ | 10,3 | 8,8 | 14,6* |
| TOC | mg L ⁻¹ | 60 | 23,6 | 60,6* |
| CT | NMP 100 mL ⁻¹ | 4,7x10 ⁷ | 8,8x10 ³ | 99,98* |
| <i>E. coli</i> | NMP 100 mL ⁻¹ | 2,6x10 ⁷ | 6,1 x10 ² | >99,99* |

pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; OD = oxigênio dissolvido; Na = sódio; Ca = cálcio; NT = nitrogênio total; PT = fósforo total; K = potássio; COT = carbono orgânico total; Mg = magnésio; CT = coliformes totais; *E. coli* = bactérias *Escherichia coli*; *eficiência de remoção do parâmetro = quanto foi reduzido durante as Unidades de Tratamento.

Fonte: Oliveira et al. (2019)

4.3 Estrutura do sistema de cultivo com substrato fibra de coco

A pesquisa foi realizada no período 22 de fevereiro a 23 de agosto de 2021, englobando seis meses de pesquisa. A cultivar de morango utilizada no estudo foi a San Andréas, na qual as mudas foram adquiridas da empresa Silvano Mudas de Hortaliças, localizada no município de Pouso Alegre – MG, sendo certificada para comercialização de mudas. No cultivo do morango, foi adotado o sistema de cultivo com substrato utilizando a fibra de coco.

A estufa agrícola possuía estrutura metálica do tipo teto em arco coberta em polietileno transparente com as seguintes dimensões: 20 m de comprimento; 6,40 m de largura; pé-direito

com 5 m e tela do tipo sombrite fechando as laterais. O dimensionamento interno era composto por 12 bancadas de cultivo divididas em quatro blocos, cada bancada media 2 m de comprimento e 1,8 m de largura. Além disso, as bancadas eram compostas por quatro perfis de cultivo medindo 0,32 m de largura e 0,19 m de altura. Já o espaçamento adotado era 0,30 m entre perfis de cultivo, 0,25 m por planta e 0,70 m por bancada.

Desta forma, o tamanho amostral foram 16 plantas por perfil de cultivo (2 linhas de plantas por perfil), que somam 64 plantas por bancada, 256 plantas por tratamento e 768 plantas no total. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizado compostos por 3 tratamentos e 4 repetições (parcelas), com cada parcela subdividida em 2 subparcelas representadas por 2 perfis ou 4 linhas de plantas (32 plantas), sendo a área útil de cada subparcela constituída por 18 plantas, e as demais representando a bordadura.

Os tratamentos utilizados foram: (TA) – água potável mais fertilizantes minerais, a quantificação dos fertilizantes minerais foi de acordo com o proposto por Fernandes Junior et al. (2002); (TRA) – esgoto doméstico tratado complementado com fertilizantes minerais, após análise química da água a mesma foi complementada com fertilizantes minerais seguindo a concentração adotada em TA; e (TR) – apenas esgoto doméstico tratado, a qual também passava por análise química. Logo, a Figura 5 ilustra o sistema de cultivo com substrato empregado na cultura do morango.

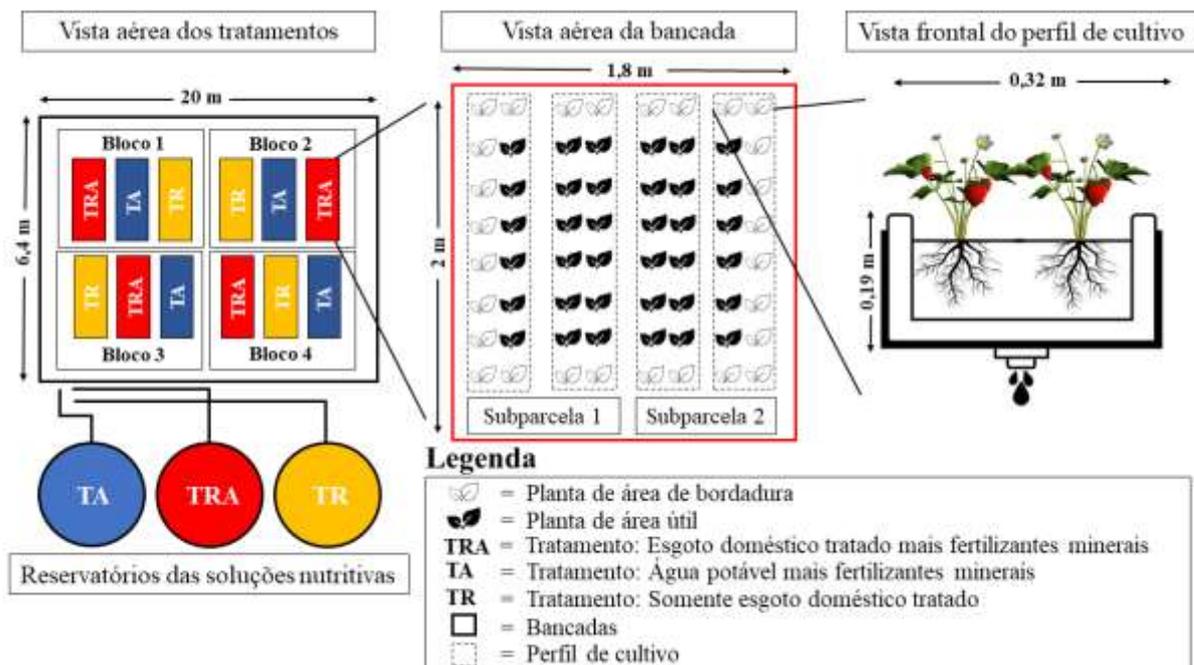


Figura 5. Esboço do sistema de cultivo com substrato do morango.

Fonte: Do autor.

Neste seguimento, cada perfil de cultivo era constituído de material isopor e assentados em dois perfis de metal em forma de “L” para proporcionar resistência ao isopor sobre as bancadas de madeira. Sua parte superior foi coberta por *mulching* plástico, através do qual eram inseridas as mudas de morango para que através de suas raízes pudessem absorver a solução nutritiva que iria ser fertirrigada no substrato (Figura 6).



Figura 6. Esquema visual das bancadas suspensas para o sistema de cultivo com substrato do morango. Fonte: Do autor.

Cada tratamento contou com um recipiente com capacidade de 500 L para armazenamento da solução nutritiva e possuía sistema de bombeamento e irrigação individualizado, pelos quais as diferentes soluções nutritivas foram aplicadas via fertirrigação (Figura 7 A). Posteriormente, a irrigação foi realizada por gotejamento, utilizando tubos gotejadores com emissores autocompensantes espaçados 0,25 m, vazão de 3,5 L h⁻¹ e pressão de serviço de 50-350 kPa, da marca NannDanJain, modelo NaanPC, conforme o consumo hídrico dos diferentes tratamentos. Desta maneira, em cada perfil de cultivo foi instalado um tubo gotejador com 8 emissores (Figura 7 B).

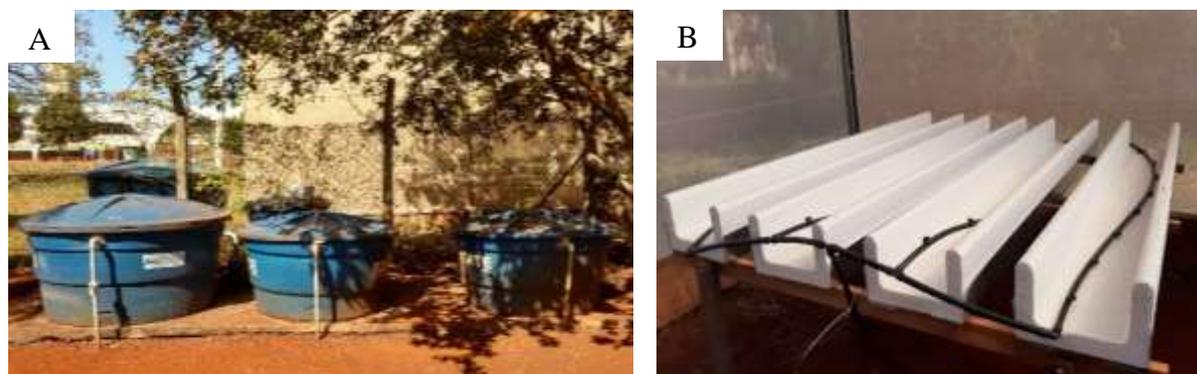


Figura 7. Fertirrigação do morangueiro sob três tratamentos (TR, TRA e TA). (A) Reservatórios das soluções nutritivas. (B) Sistema de gotejamento com emissores.

Fonte: Do autor.

Antes de cobrir os tubos gotejadores com *mulching*, realizou-se um teste de uniformidade medindo a vazão por minuto de um gotejador aleatório por linha com o auxílio de béquer e proveta, totalizando 8 gotejadores, sendo aplicada no cálculo do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) (CUNHA et al., 2014) (Equação 1).

$$CUC = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right\} \quad (1)$$

em que,

n = número de gotejadores observados;

X_i = vazão de cada gotejador, em $L h^{-1}$;

\bar{x} = vazão média dos gotejadores, em $L h^{-1}$.

Cada tratamento contou com uma linha de irrigação independente (Figura 8 A), nas quais apenas o painel era compartilhado. Desta forma, no painel de controle, foi instalado um controlador digital Wi-Fi (Figura 8 B). Conseqüentemente, foram instaladas 2 sondas capacitância, modelo Teros 12 – METER, com hastes de 0,055 m por tratamento para o monitoramento da umidade e condutividade elétrica do substrato (Figura 8 C). Além disso, foi instalada dentro da estufa uma estação meteorológica modelo ATMOS 41 – METER para coletar informações ambientais como temperatura e umidade relativa do ar (Figura 8 D). Já o manejo do sistema de irrigação foi realizado através do monitoramento diário das sondas de capacitância, mantendo a umidade do substrato de fibra na capacidade de campo.



Figura 8. Componentes da irrigação e monitoramento do experimento. (A) Cabeçais de controle da irrigação individualizada. (B) controlador Wi-Fi e aplicativo. (C) Sensor de umidade e condutividade elétrica do solo. (D) Estação meteorológica.

Fonte: Do autor.

4.4 Análise do esgoto doméstico tratado

O esgoto doméstico tratado foi coletado entre os meses de fevereiro a julho de 2021, as análises foram realizadas antes do experimento a fim de caracterizar sua qualidade bem como

quantificar a concentração de fertilizantes minerais que seria adicionado no tratamento (TRA). Desta forma, baseada na metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), foi utilizado um recipiente esterilizado para coletar 0,5 L de amostra de água no tanque de equalização.

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Física do Solo e Qualidade da Água do próprio CCA – UFSCar, no qual foram analisados em duplicata os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos como pH, condutividade elétrica (CE), turbidez, fósforo total (PT), cálcio (Ca), magnésio (Mg), coliformes totais (CT) e termotolerantes (*Escherichia coli*).

Para determinação dos parâmetros do esgoto tratado, foram utilizados equipamentos de bancada. O pH foi analisado pelo pHmetro da marca TECNAL equipamentos científicos, modelo TEC-3MPp mantendo o eletrodo ao final de cada leitura sob solução de cloreto de potássio (KCl) a 3 molar (M). Conseqüentemente, a condutividade elétrica (CE) foi realizada com o condutivímetro da marca Científica, modelo Mca-150P, e ao final de cada leitura o eletrodo era mantido sob água destilada. Já as leituras da turbidez foram feitas no equipamento da MS TECNOPON[®], modelo TB-1000, numa faixa de zero (0) à 1000 Unidades Nefelométricas de Turbidez – NTU.

Neste seguimento, os teores de fósforo total (PT), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram quantificados em espectrofotômetro de bancada, modelo Íris-HI801 UV-vis do fabricante HANNA¹ *Instruments*. A quantificação do (PT) ocorreu através do método de ácido vanadomolibdofosfórico e leitura a 420 nm, a de (Ca) foi feita por meio da adaptação do método de oxalato e leitura a 466 nm. Por fim, a de (Mg) foi uma adaptação do método de Calmagite e leitura a 466 nm.

Na análise microbiológica, utilizou-se o método enzimático (sistema Colilert da IDEXX). Este sistema detecta a presença simultânea de organismos termotolerantes e *Escherichia coli*, as análises foram obtidas em um prazo de 24 horas e o resultado é expresso através do número mais provável (NMP) para uma amostra de 100 mL do efluente tratado.

Para indicar a presença de microrganismos, o teste baseia-se na técnica do substrato definido, onde o substrato nitrofenil- β -D-galatocpiranosídeo é degradado por uma enzima, a β -D-galactosidase, e produz o nitrofenol, substância de cor amarela e que indica a presença de termotolerantes. Conseqüentemente, para *Escherichia coli* o teste possui o substrato β -D-glucuronídeo, degradado pela enzima β -glucuronidase, que resulta no 4-metil-umbeliferona, este de coloração amarelo fluorescente.

Para a quantificação, utilizou-se da cartela Quanti-tray, onde após selagem e incubação a 35 °C por período de 24 horas fez-se a contagem dos cubos (amarelos para termotolerantes e amarelo fluorescente utilizando luz ultravioleta de 365 nm para *E. coli*) (IDEXX, 2005).

A determinação do Sódio (Na) e Potássio (K) foi realizada no Laboratório de Materiais Poliméricos e Biossorventes – LabMPB no CCA – UFSCar, sendo quantificados após filtragem (Papel Filtrante Qualy²), utilizando fotômetro de chama da marca Digimed¹, modelo DM-62, baseando-se o método na conversão das amostras líquidas em gases, decomposição dos átomos, moléculas e excitação elétrica das moléculas restantes (OLIVEIRA et al., 2018).

Segundo Lesch e Suarez (2009), a Razão de Adsorção de sódio – RAS pode ser obtida pela proporção de sódio (Na) dividida pela raiz quadrada de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), exemplificado na (Equação 2).

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

em que,

RAS - Razão de Adsorção de Sódio;

Na - concentração de Sódio (mmol L⁻¹);

Ca - concentração de Cálcio (mmol L⁻¹);

Mg - concentração de Magnésio (mmol L⁻¹).

Teores de carbono orgânico total (TOC) e nitrogênio total (NT) foram realizadas no Laboratório de Microbiologia Aplicada e Controle – LabMAC no CCA – UFSCar, utilizando o analisador TOC - LCPN SHIMADZU®. O método de análise está relacionado na oxidação do material orgânico da amostra a 720°C em presença de atmosfera oxidante, na qual é catalisada por alumina e platina que transforma o material em CO₂. Sua contagem foi realizada através de um analisador de gases em infravermelho (NDIR) com alcance de detecção de 4,0 µg L⁻¹.

As análises físico-químicas da água foram realizadas quando era necessário preparar um novo recipiente de solução a ser fertirrigada, pois as concentrações de nutrientes do efluente poderiam variar e assim a complementação com os fertilizantes minerais se daria de forma exata. Já as análises microbiológicas, foram realizadas apenas uma vez, já que estas não interferem no cultivo. Todas as análises foram realizadas de acordo com a metodologia *Standard Methods for the Examination of water and wastewater* (APHA, 2012).

4.5 Recomendações e monitoramento das soluções nutritivas no cultivo do morango

O preparo da solução nutritiva nos tratamentos TA e TRA foram realizados de acordo com o proposto por Fernandes Junior et al. (2002) para a cultura do morangueiro em sistemas de cultivo com substrato em ambiente protegido, sendo que a solução variava em função da fase vegetativa de crescimento e fase de frutificação (Tabela 5).

Tabela 5. Recomendações para as soluções no cultivo do morango.

| Nutrientes | Fase vegetativa (mg L ⁻¹) | Fase de frutificação (mg L ⁻¹) |
|------------|---------------------------------------|--|
| N | 102,67 | 94,40 |
| P | 39,99 | 39,99 |
| K | 116,13 | 140,76 |
| Ca | 76,19 | 76,19 |
| Mg | 27,47 | 27,47 |
| S | 36,23 | 36,23 |
| Fe | 1,79 | 1,79 |
| Mn | 0,55 | 0,55 |
| B | 0,33 | 0,52 |
| Zn | 0,20 | 0,20 |
| Cu | 0,08 | 0,08 |

N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; Fe = ferro; Mn = manganês; B = boro; Zn = zinco; Cu = cobre; Mo = molibdênio.

Fonte: Adaptada de Fernandes Junior et al. (2002).

A caracterização do esgoto doméstico tratado da ETE presente CCA/UFSCar, resultaram em duas análises que seriam aplicadas no cultivo do morangueiro. A primeira caracterização foi relacionada à água que já estava armazenada no tanque de equalização. Já a segunda, foi em função do efluente presente no tanque séptico que iria passar por mais duas etapas na ETE, sendo armazenado no tanque de equalização.

As adições dos fertilizantes minerais no TRA foram realizadas de acordo com os resultados da caracterização do esgoto doméstico tratado, descontando os teores de nutrientes já presentes no efluente e adequando a solução. Consequentemente, o preparo da solução do TA foi de acordo com a concentração sugerida. A fim de evitar a formação de precipitados, as diluições dos fertilizantes minerais foram realizadas em baldes separados antes de serem adicionados nos reservatórios de cada tratamento.

Com o propósito de manter as condições ideais para o desenvolvimento do morango, o potencial hidrogeniônico (pH) foi monitorado na entrada (reservatórios das soluções nutritivas) e saída (Solução drenada após perfil de cultivo) do sistema. Consequentemente, a condutividade

elétrica (CE) foi monitorada na entrada, meio (solução nutritiva presente no substrato do perfil de cultivo) e na saída do sistema.

O monitoramento do pH na entrada do sistema de cultivo com substrato foi realizado para cada tratamento (TA, TRA e TR), em que os valores médios obtidos de pH estava em função do preparo de novas soluções nutritivas que era fertirrigada, e seu preparo variava de 10 a 15 dias, sendo preparadas 13 caixas de 350 L durante o período de estudo.

Por sua vez, o monitoramento do pH na saída do sistema ocorreu em 26 semanas de experimento, onde a solução nutritiva não adsorvida pela planta era drena e coletada em cada perfil de cultivo. Em seguida, após as leituras, era realizado uma média semanal de pH para cada tratamento. A fertirrigação da solução nutritiva foi realizada de acordo com a necessidade de manejo da cultura do morango.

Os dados do monitoramento da condutividade elétrica (CE) ocorreram em três etapas no sistema de cultivo com substrato, sendo CE de entrada (reservatórios das soluções), CE do meio (solução nutritiva presente no perfil de cultivo) e CE na saída (solução nutritiva drenada após sistema de cultivo).

Em situações que as concentrações de sais eram acumuladas na fibra, efetivava-se a sua correção, na qual era adicionado água nos reservatórios das soluções nutritiva com intuito de reduzir a concentração de nutrientes lançados através da fertirrigação para que ocorresse a lixiviação de sais presentes na fibra. Logo, segundo a literatura, a condutividade elétrica deveria ser mantida entre 1,3 e 1,5 dS m⁻¹, e o pH apenas monitorado (FERNANDES JUNIOR et al., 2002).

4.6 Determinação das variáveis quantitativas do fruto

A colheita do morango foi realizada no período de 09 de abril a 23 de agosto de 2021 quando o fruto apresentava aproximadamente 70% avermelhados ou totalmente maduros, seguindo o que foi preconizado por Fernandes e Junior et al. (2002). Para as avaliações das características quali-quantitativas do morango, foi extraído 1 fruto médio aleatório da área útil de cada sub parcela do experimento, sendo 8 frutos por tratamento, um total de 24 frutos analisados. Desta forma, ao longo da pesquisa foram realizadas 35 colheitas conforme o manejo da cultura.

A amostra coletada em cada sub parcela, foi encaminhada e analisada no Laboratório de Física do Solo e Qualidade da Água no CCA UFSCar. Para o estudo quali-quantitativo, foram realizadas colheitas semanais, na qual os frutos foram pesados em balança analítica a fim de

determinar a massa fresca em gramas (g) por planta, quantificado o número de frutos por planta, e com auxílio de um paquímetro, foram analisados o comprimento e diâmetro frutos por planta.

A análise de sólidos solúveis totais (°BRIX), foi realizada macerando um morango por vez de cada sub parcela, e com auxílio de uma pipeta de Pasteur, foram adicionadas 2 gotas sobre a lâmina do refratômetro portátil da marca KASVI, modelo K52-032 que quando direcionado contra a luz permitia a leitura de sólidos solúveis expressando os respectivos valores em graus.

Para análise microbiológica do morango, foi coletado um fruto médio aleatório da área útil de cada bancada, sendo 4 frutos de morango por tratamento e um total de 14 frutos analisados. Os frutos de morango foram previamente identificados e, posteriormente, encaminhados ao laboratório de Física do solo e Qualidade da Água para respectivas análises (Figura 9).

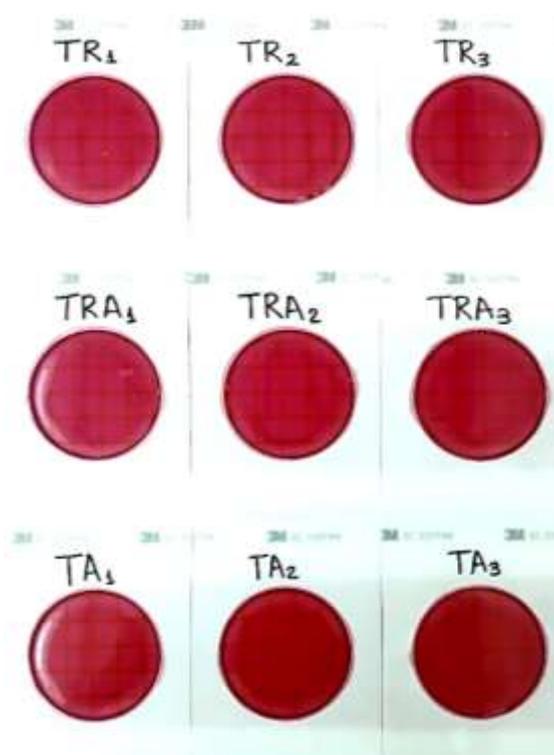


Figura 9. Determinação microbiológica dos frutos de morango em placa de Petrifilm™ para identificação de *Escherichia coli*. TA = Tratamento com água potável mais fertilizantes minerais; TRA = Tratamento com esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = Tratamento com esgoto doméstico tratado; 1 = amostra 1; 2 = amostra 2; 3 = amostra 3.

Fonte: Do autor.

No laboratório, seguiu-se a metodologia descrita pela Instrução Normativa de número 62 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2003), onde foi pesado 25 g de morango para cada tratamento e adicionadas numa solução composta de 225 mL de água deionizada e 0,1% de solução pepitonada.

As análises foram realizadas em triplicata para cada tratamento, sendo pipetado 1 mL da solução e inoculando em placas Petrifilm™ da marca 3M™. Neste seguimento, as amostras foram encubadas na estufa de DBO com temperatura constante de 35°C no período de 24 horas para contagem de *Escherichia coli*. Desta forma, os resultados obtidos foram expressos em Unidades Formadoras de Colônia (UFC g⁻¹), posteriormente em log (UFC g⁻¹).

De acordo com Alves (2017), as Placas de Petrifilm™ da marca 3M™ que são utilizadas para contagem de *Escherichia coli*, contêm nutrientes do meio Vermelho Violeta Bile (VRB), um agente geleificante solúvel em água fria, um indicador de atividade glicuronidásica e um indicador que facilita a enumeração da colônia.

4.7 Estatística e análise de dados

As análises estatísticas para os parâmetros como potencial hidrogeniônico – pH, condutividade elétrica – CE, umidade relativa do ar e temperatura são apresentados as médias e coeficiente de variação em percentagem (%). Os gráficos foram elaborados utilizando o *software* ORIGIN 6.0 *version* (Origin, Microcal software, Inc., versão: 6.0; Northampton, Massachusetts - USA. 2000).

Os resultados para as variáveis quantitativas (número de frutos, massa fresca, diâmetro e comprimento) e qualitativas (sólidos solúveis totais °BRIX) do morango foram analisados estatisticamente através do *software* R (R CORE TEAM, 2021), sendo os dados submetidos inicialmente à análise de variância (ANOVA) e aplicação do teste de Tukey para a comparação das médias de tratamentos duas a duas. A pressuposição de normalidade foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk. Já o nível de significância adotado em todas as análises foi o de 5%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise do esgoto doméstico tratado

Os resultados obtidos a partir dos valores médios das duas caracterizações do esgoto tratado proveniente da ETE no CCA/UFSCar (Tabela 3), evidenciaram que o efluente apresentou uma concentração de nutrientes minerais inferior as necessidades recomendadas por Fernandes Junior et al. (2002) para aplicação no cultivo com substrato do morango (Tabela 6).

Tabela 6. Caracterização do esgoto doméstico da ETE no CCA/UFSCar.

| Parâmetros | Caracterização 1 | Caracterização 2 |
|---|------------------|------------------|
| pH | 7,64 ± 0,02 | 7,04 ± 0,04 |
| CE (dS m ⁻¹) | 0,38 ± 0,01 | 0,35 ± 0,01 |
| Turbidez (NTU) | 1,17 ± 0,04 | 0,81 ± 0,11 |
| COT (mg L ⁻¹) | 13,86 ± 0,32 | 3,72 ± 0,02 |
| NT (mg L ⁻¹) | 19,60 ± 0,49 | 8,27 ± 0,25 |
| PT (mg L ⁻¹) | 40,24 ± 0,35 | 28,55 ± 2,76 |
| K (mg L ⁻¹) | 7,23 ± 0,12 | 5,25 ± 0,07 |
| Ca (mg L ⁻¹) | 16,12 ± 0,70 | 10,00 ± 4,24 |
| Mg (mg L ⁻¹) | 10,67 ± 0,58 | 9,00 ± 0,07 |
| Na (mg L ⁻¹) | 33,27 ± 0,49 | 21,40 ± 0,28 |
| RAS | 1,14 ± 0,03 | 0,78 ± 0,02 |
| Coliformes totais (NMP 100 mL ⁻¹) * | 616,70 | 550,40 |
| <i>Escherichia Coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹) * | 19,40 | 15,50 |

pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica; NT = nitrogênio total; COT = carbono orgânico total; PT = fósforo total; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Na = sódio; RAS = Razão de adsorção de sódio; NMP = número mais provável; * = neste parâmetro não existe desvio padrão; -- = Valor adimensional.

Fonte: Dados do experimento.

De acordo com Figueiredo et al. (2021), a origem do efluente e as etapas no tratamento do esgoto doméstico podem influenciar nas concentrações dos nutrientes minerais. Desta forma, a caracterização e o tratamento do esgoto ocorreram em dois períodos distintos, na qual notou-se que para todos os parâmetros analisados, os teores de nutrientes minerais presente no tanque de equalização (caracterização 1) foi superior ao esgoto que estava armazenado no tanque de séptico e que, posteriormente, passaria pelas etapas de tratamento da ETE (caracterização 2) (Tabela 6).

O esgoto doméstico que estava no tanque de equalização passou pelo sistema da ETE em janeiro de 2020. Já o esgoto doméstico presente no séptico, ficou armazenado no período de fevereiro de 2020 a maio de 2021. Entretanto, o efluente só passou nas próximas etapas da ETE quando houve necessidade de utilizá-lo para o manejo no cultivo do morango. O atraso no uso e aplicação desse esgoto está diretamente relacionado aos efeitos causados pela pandemia que iniciou em março de 2020, sendo o período de quarentena.

O estudo realizado por Oliveira et al. (2019) na ETE do CCA/UFSCar, constataram um baixo teor nas concentrações dos macronutrientes presentes no efluente bruto na entrada do sistema, onde a eficiência da remoção dos nutrientes minerais NT, PT e K ocorreram na segunda etapa do sistema de tratamento. O tanque *Wetlands* foi responsável por atuar na redução dos nutrientes minerais, por outro lado, o sistema não tem capacidade de remover Ca e Mg (Tabela 7). Neste sentido, mesmo não havendo a etapa do tanque *Wetlands* no sistema de tratamento, os teores de nutrientes minerais que chegam na ETE não seriam suficientes para serem aplicados no sistema de cultivo com substrato do morango.

Tabela 7. Valores do efluente bruto (Entrada) e eficiência de remoção dos nutrientes minerais.

| Nutrientes minerais | Entrada (mg L⁻¹) | Eficiência (%) |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| NT | 23,4 | 74,6 |
| PT | 5,6 | 82,7 |
| K | 49,4 | 71,4 |
| Ca | 13,5 | NR |
| Mg | 10,3 | NR |

NT = nitrogênio total; PT = fósforo total; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio e NR = *Wetlands* não removeu.

Fonte: Adaptação de Oliveira et al. (2019).

Neste seguimento, Martinez e Silva Filho (2004) consideram que o esgoto doméstico tratado possua CE acima de 0,75 dS m⁻¹ no preparo das soluções nutritivas. Por sua vez, o esgoto doméstico tratado apresentou média das caracterizações: 0,38 e 0,35, respectivamente (Tabela 6). Quando aos teores de pH, nas duas caracterizações do esgoto doméstico obtiveram valores médios acima de 7, sendo considerado ideal para irrigação no cultivo do morangueiro uma faixa entre 5,5 a 6,5 (COCCO et al., 2016).

Antunes et al. (2016) discutem sobre o pH quando apresenta valor acima de 7 no preparo de solução nutritiva, na qual pode resultar em precipitação de carbonatos de cálcio, magnésio e alguns fertilizantes minerais fosfatados de baixa solubilidade quando aplicados na fertirrigação. Logo, quando houve a diluição dos fertilizantes minerais no esgoto doméstico tratado, não corroborou a precipitação dos nutrientes com baixa solubilidade.

No estudo de realizado por Oliveira et al. (2019), evidenciaram a não redução de Ca e Mg na segunda etapa do tratamento do esgoto doméstico tratado. Em síntese, esses nutrientes minerais estão diretamente relacionados a Razão de Adsorção de Sódio – RAS (Equação 2). Desta forma, Cordeiro (2001) pontua o teor mínimo, médio e máximo de salinidade com base na CE para fins de irrigação, onde: CE menos de 0,25 dS m⁻¹ resulta em baixa salinidade; 0,25 dS m⁻¹ a 0,75 dS m⁻¹ média salinidade; 0,75 a 2,25 dS m⁻¹ alta e acima de 2,25 dS m⁻¹ muito

alta, na qual não pode ser usada em condições normais. Já o RAS até 1,5 não oferece nenhum perigo, com valores entre 1,5 e 2,5 é considerada marginal e acima de 2,5 não é adequada para fins irrigação.

Considerando os valores estabelecidos por Cordeiro (2001), as caracterizações da RAS e CE apresentadas (Tabela 6), corroborou que o esgoto doméstico tratado apresentava CE com salinidade média, sendo valores médios abaixo de $0,4 \text{ dS m}^{-1}$. Já o teor de sódio (RAS) foi inferior a 1,5 pontuando que o esgoto doméstico tratado não apresentava riscos ao sistema de cultivo com substrato.

As caracterizações microbiológicas do esgoto doméstico da ETE abordaram os parâmetros de coliformes totais e coliformes termotolerantes a fim de determinar a qualidade da água. A presença de *Escherichia coli* é considerada pela resolução 357/2005 como indicador na contaminação por matéria fecal, sendo de exclusividade do trato intestinal humano ou de animais homeotérmicos (Brasil, 2005). Neste sentido, o esgoto tratado possui uma baixa carga microbiana (Tabela 6), na qual está diretamente relacionado a terceira etapa do tratamento, pois o esgoto passa por um sistema de luz ultravioleta com capacidade de remoção de 99,98% para coliformes totais, e 99,99% para remoção de *Escherichia coli* (OLIVEIRA et al., 2019).

A resolução conjunta de São Paulo de Secretários de Estado da Saúde e de Infraestrutura e Meio Ambiente – SIS/SIMA de N° 01 de 2020 prevê que o esgoto doméstico tratado possua turbidez ≤ 2 (NTU), onde só pode ser aplicada em sistema de irrigação paisagística, combate a incêndios, lavagem de veículos, espaços públicos e construção civil. Nas caracterizações realizadas na Tabela 6, os valores obtidos abrangem esse padrão. Vale ressaltar que independente do padrão de qualidade do esgoto doméstico tratado, no Brasil, não é permitido aplicá-lo no cultivo de hortaliças, sejam elas folhosas ou de frutos (FIGUEIREDO et al., 2021).

5.2 Soluções nutritivas no sistema de cultivo com substrato do morango

A partir da coleta de dados referente a entrada da solução nutritiva no sistema de cultivo com substrato (Figura 10 A), o tratamento TRA apresentou valor médio de pH 6,5 com coeficiente de variação $\pm 4,6$. Já no tratamento TA, a média também foi 6,5 com coeficiente de variação $\pm 2,6$. No tratamento TR, sendo representado apenas com esgoto doméstico tratado, a média foi de 7,6 ($\pm 3,6$).

Na saída do sistema (Figura 10 B), o tratamento TA apresentou valor médio de pH 7,1 com coeficiente de variação $\pm 3,6$ e para o tratamento TRA a média foi 6,9 ($\pm 3,5$). Já o TR, na qual é aplicado somente o esgoto doméstico tratado, a média foi de 7,4 (± 4). A realização do

monitoramento do pH nas soluções nutritivas, tanto na entrada quanto na saída, permitiu observar uma oscilação dos seus respectivos valores para cada tratamento analisado.

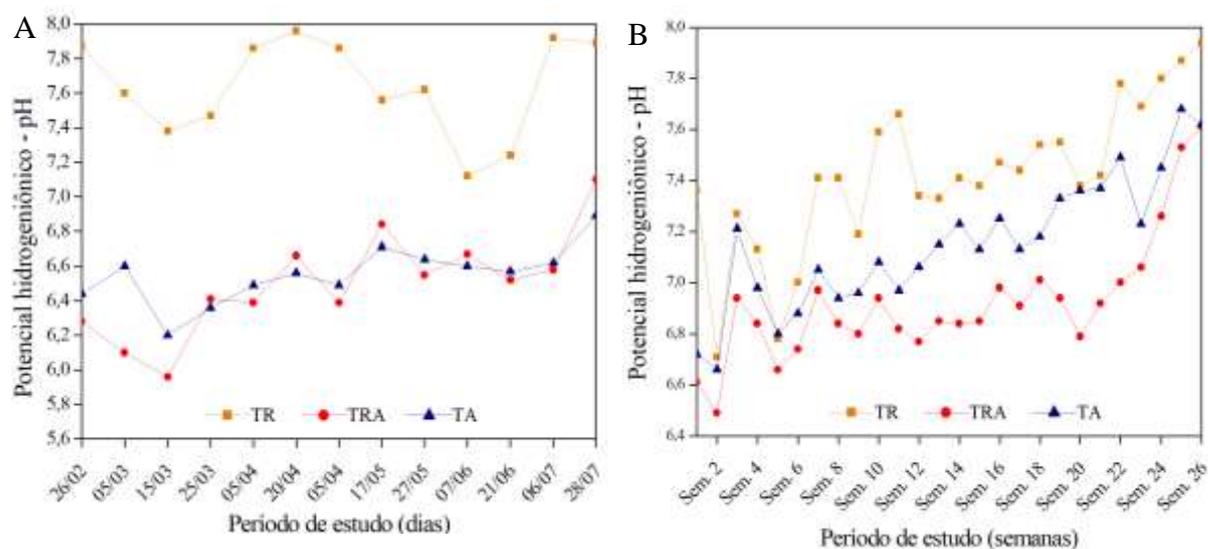


Figura 10. Monitoramento dos valores médios do pH nas soluções nutritivas do sistema de cultivo com substrato. (A) valores de entrada da solução nutritiva em dias. (B) valores de saída da solução nutritiva em semanas. TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = somente esgoto doméstico tratado.

Fonte: Dados do experimento.

De acordo com Sausen et al. (2020), esta situação em cultivo com substrato é esperada, pois a maioria das soluções nutritivas não possuem capacidade tampão, e isso possibilita que o pH varie com o tempo, não se mantendo constante na faixa esperada.

Segundo Antunes et al. (2016), o pH da solução nutritiva que será fertirrigada no cultivo do morango deve manter-se numa faixa entre 5,5 e 6,5. Em síntese, os valores médios referentes a entrada da solução nutritiva nos tratamentos TA e TRA mantiveram-se dentro da faixa recomendada, apresentando valores médios de pH 6,5 cada. Já a solução nutritiva do tratamento TR o valor médio de pH ficou acima do recomendado, sendo 7,6 (Figura 10 A).

Em relação a saída da solução nutritiva, os valores médios de pH obtidos em todos os tratamentos TR (7,4), TRA (6,9) e TRA (7.1) ficaram acima dos valores recomendado, sendo notório o aumento gradativo nas concentrações de pH ao longo do experimento, sendo este valor relacionado ao acúmulo de nutrientes minerais na fibra de coco (Figura 10 B).

No cultivo com substrato, a solução nutritiva drenada na saída do sistema não foi reaproveitada (restante não adsorvido pela planta) e, por esse motivo, o acompanhamento dos valores de pH e condutividade elétrica (CE) são considerados cruciais, pois as soluções sofrem modificações durante o crescimento e o desenvolvimento da cultura (GONÇALVES et al., 2016).

Furlani et al. (2009) afirmam que soluções nutritivas que apresentam pH acima de 6,5 podem ocasionar deficiência de nutrientes minerais como fósforo (P), manganês (Mn), ferro (Fe) e boro (B). Já Antunes et al. (2016) asseguram que pH acima de 7 afeta diretamente o crescimento vegetativo da planta, favorecendo a formação de precipitados e consequentemente reduzindo a disponibilidade sua necessárias de nutrientes necessários. Por sua vez, Martinez e Silva Filho (2004) reiteram que elevada concentração de pH pode ocasionar alterações nas estruturas celulares das plantas.

O experimento com três meses de cultivo permitiu observar que a partir da disponibilidade de nutrientes minerais e concentração de pH ideal para o morango, as plantas dos tratamentos TRA (Figura 11 B) e TA (Figura 11 C), visualmente, não evidenciaram em suas características físicas problemas relacionados a falta de nutrientes minerais e tamanho reduzido das plantas.

Quando relacionamos os tratamentos TRA e TA com o tratamento usando somente o esgoto doméstico tratado (TR) (Figura 11 A), levando em consideração o valor médio de pH mais a quantidade de nutrientes minerais presentes na solução, é notória nas características físicas da planta a falta de nutrientes minerais, na qual a adsorção desses nutrientes são inferiores as necessidades recomendadas para a planta. Em síntese, esses fatores interferiram diretamente no crescimento da planta, número de folhas e produção de frutos reduzidos qualiquantitativamente.



Figura 11. Cultivo com substrato do morango com três meses de experimento sob diferentes tratamentos. (A) TR = Tratamento com esgoto doméstico tratado; (B) TRA = Tratamento com esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais e (C) TA = Tratamento com água potável mais fertilizantes minerais.

Fonte: Do autor.

Nos reservatórios nutricionais, seguiu o mesmo esquema de anotações realizadas no pH, onde os valores médios obtidos da CE estavam relacionados as soluções nutritivas que eram fertirrigada para o tratamento TA, TRA e TR (Figura 12).

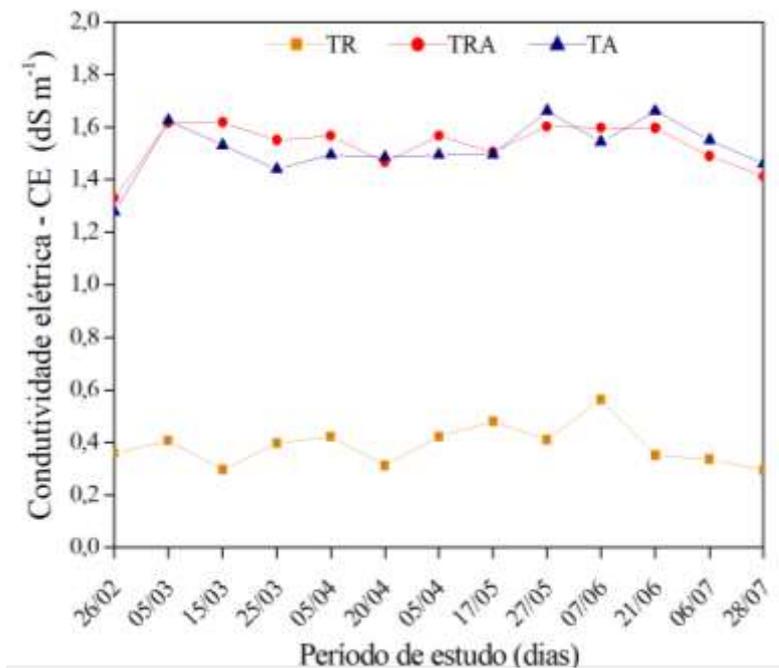


Figura 12. Monitoramento da condutividade elétrica (CE) na entrada do sistema das soluções nutritivas. TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = somente esgoto doméstico tratado.

Fonte: Dados do experimento.

Na entrada do sistema (reservatórios das soluções nutritivas), o tratamento TRA apresentou valor médio de CE $1,53 \text{ dS m}^{-1}$ com coeficiente de variação $\pm 5,74\%$. Neste seguimento, o tratamento TA a média da CE foi $1,52 \text{ dS m}^{-1}$, sendo o coeficiente de variação $\pm 6,73\%$. Já no tratamento TR, representado apenas com esgoto doméstico tratado, a média da CE foi $0,39 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 19,71\%$).

Os dados do monitoramento da CE na solução nutritiva que permanecia nos perfis de cultivo (Figura 13 A), correspondiam em leituras diárias e, posteriormente feito uma média semanal para cada tratamento, na qual foram coletados sob as mesmas condições de manejo de irrigação da cultura por meio sondas capacitância, modelo 12 – METER, com hastes de $0,055 \text{ m}$. Desta forma, a média da condutividade elétrica nesta etapa do tratamento TA foi $1,23 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 20,86\%$), para o tratamento TRA a média foi $1,22 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 21,45\%$) e para o TR $0,25 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 18,2\%$).

Conseqüentemente, o monitoramento da CE na saída do sistema foi realizado com a solução que era drenada através dos perfis de cultivo de cada tratamento, sendo feito uma média semanal no período de 26 semanas estudado (Figura 13 B). No tratamento TA o valor médio dos dados coletados para a CE foi $1,25 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 29,92\%$), para o tratamento TRA a média da CE foi $1,29$

dS m⁻¹ com coeficiente de variação ($\pm 23,23\%$). Por fim, no tratamento TR a CE foi 0,25 dS m⁻¹ ($\pm 11,56\%$).

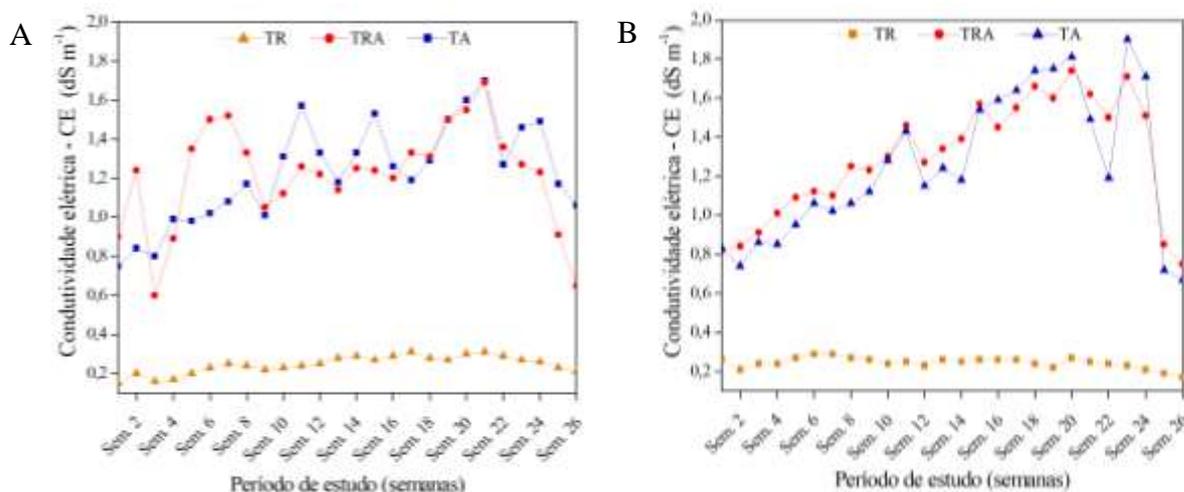


Figura 13. Monitoramento dos valores médios semanais de condutividade elétrica (CE) nas soluções nutritivas do sistema de cultivo com substrato. (A) valores de CE nos perfis de cultivo. (B) valores de CE na saída do sistema. TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = somente esgoto doméstico tratado.

Fonte: Dados do experimento.

De acordo com os dados apresentados, as médias da condutividade elétrica (CE) nos tratamentos TRA (1,53 dS m⁻¹) e TA (1,52 dS m⁻¹) na entrada do sistema (Figura 12), ficaram levemente acima do valor atribuído por Furlani e Fernandez Junior (2004) sem sair da faixa recomendada, sendo 1,5 dS m⁻¹.

Analisando os valores médios obtidos para CE nos tratamentos TA e TRA na entrada (Figura 12), no meio (solução presente nos perfis de cultivo juntamente com a fibra de coco) (Figura 13 A) e na saída do sistema (Figura 13 B), tais concentrações se encaixam nas recomendações de Gonçalves et al. (2016), na qual considera que a solução nutritiva em sistema de cultivo com substrato deva permanecer na faixa de 1,2 a 1,8 dS m⁻¹ sem causar danos a planta.

Desta forma, notou-se nas três etapas de monitoramento das soluções nutritivas (entrada, meio e saída), os tratamentos TA e TRA tiveram maiores oscilações nos valores de CE quando comparado com o tratamento TR. Desta forma, Gonçalves et al. (2016) ainda afirmam que esse fator de oscilação está relacionado ao desenvolvimento da cultura, corroborando modificações na solução nutritiva.

Quando as soluções nutritivas nos tratamentos TA e TRA apresentavam valores de CE acima de 1,6 dS m⁻¹, aplicava-se água de abastecimento nos reservatórios com intuito de diluir a solução nutricional e, por meio da fertirrigação, reduzir a concentração de sais presentes nos

perfis de cultivos dos respectivos tratamentos. Desta forma, atentou-se as recomendações Cordeiro (2001) que classifica os teores de salinidade da solução nutritiva com base nos valores obtidos na CE.

Os valores de CE obtidos em ambas as etapas no tratamento TR, salienta o fato do esgoto doméstico tratado não dispor a quantidade nutrientes necessários para o cultivo do morango, sendo visivelmente notória a falta fertilizante na planta quando comparamos com os tratamentos TRA e TA. Conseqüentemente, quando o valor da CE da solução fertirrigada apresenta valores abaixo de $0,4 \text{ dS m}^{-1}$ associado com um pH acima da faixa recomendada, são fatores que resultam diretamente crescimento da planta (ANTUNES et al., 2016; GHEYI et al., 2016).

5.3 Fatores climáticos no cultivo do morangueiro com substrato

Os resultados da variação de temperatura e umidade relativa do ar (Figura 14), foram coletados da estação meteorológica presente na estufa agrícola, onde os valores médios obtidos para temperatura durante a pesquisa foi $21,3 \text{ }^\circ\text{C}$ e coeficiente de variação $\pm 8,7\%$. Já a umidade relativa do ar obteve valor médio 57% e coeficiente de variação $\pm 20\%$.

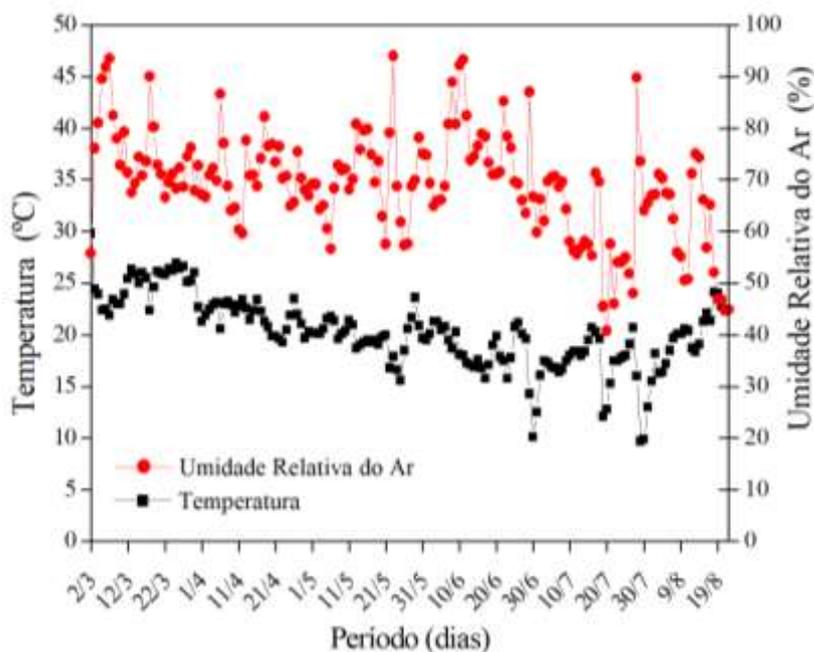


Figura 14. Variação da temperatura e umidade relativa do ar no cultivo do morango.

Fonte: Dados do experimento.

Desta forma, os valores médios obtidos na temperatura ($21,3 \text{ }^\circ\text{C}$) e umidade relativa do ar (57%) para o cultivo do morango permaneceram nas faixas recomendadas por Lopes et al. (2019), onde o ideal é que amplitude de temperatura esteja na faixa de 15 a $28 \text{ }^\circ\text{C}$, pois quando tais valores ficam superior ou inferior do recomendado pode ocasionar a perda do potencial

produtivo da planta. Já a umidade relativa do ar, o recomendado é que a cultura se desenvolva próxima a 60%, visto que, umidade acima do valor permitido pela cultura, provoca o aparecimento de doenças nas folhas e frutos, além de tornar os frutos sem sabor devido ao baixo acúmulo de sólidos solúveis totais (°BRIX).

5.4 Economia de água e fertilizantes minerais no cultivo do morangueiro com substrato

As caracterizações realizadas no esgoto doméstico tratado proveniente da ETE no CCA/UFSCar, possibilitou identificar o teor de nutrientes minerais presentes na água. Além disso, assegurou calcular o volume de água e quantidade necessária de fertilizantes minerais necessários para aplicação nos tratamentos TRA e TA, sendo preparado 13 caixas de solução nutritiva contendo o volume de 350 L para cada de tratamento no cultivo do morango. A Tabela 8 pontua as concentrações de fertilizantes minerais aplicados nos tratamentos TRA e TA e suas respectivas economias em percentagem quando comparado com o tratamento TA.

Tabela 8. Fertilizantes minerais aplicados no tratamento TA e TRA, e nutrientes economizados.

| Fertilizantes minerais | Quantidade aplicado | | Economia de nutrientes (%) |
|--|---------------------|----------|----------------------------|
| | TA (kg) | TRA (kg) | |
| Nitrato de cálcio Ca (NO ₃) ₂ | 2,502 | 1,775 | 29,1 |
| Nitrato de potássio KNO ₃ | 0,910 | 1,047 | 15* |
| Fosfato monopotássico (MKP) KH ₂ PO ₄ | 0,910 | 0,546 | 40 |
| Fosfato monoamônico (MAP) NH ₄ H ₂ PO ₄ | -- | 0,205 | 100* |
| Sulfato de potássio K ₂ SO ₄ | 0,683 | 1,001 | 46,6* |
| Sulfato de magnésio MgSO ₄ | 1,593 | 1,160 | 27,2 |
| Total | 6,598 | 5,733 | 13,1 |

TA = água potável complementado com fertilizantes minerais; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; * = aumento no consumo de fertilizantes minerais, não houve economia; -- = não foi aplicado nutriente.

Fonte: Dados do experimento.

Seguindo as recomendações de Fernandes Junior et al. (2002) no cultivo do morangueiro, observou-se que mesmo ocorrendo aumento no consumo de alguns fertilizantes minerais como nitrato de cálcio, sulfato de potássio e fosfato monoamônico no preparo das soluções nutritivas do tratamento TRA, o uso e aplicação do esgoto doméstico tratado a partir de sua caracterização promoveu uma economia total de 13,1% de fertilizantes minerais.

Neste seguimento, abordando a economia total dos macronutrientes a partir da aplicação do esgoto doméstico tratado complementado com fertilizantes minerais, essa técnica de cultivo possibilitou uma economizar aproximadamente 30% de cálcio e magnésio, e 14% de nitrogênio e fósforo total. Por sua vez, os macronutrientes potássio (3%) e enxofre (2%) houve leve

aumento na demanda dos respectivos macronutrientes minerais, na qual está diretamente relacionado as necessidades recomendadas para o cultivo do morangueiro (FERNANDES JUNIOR et al. (2002) (Tabela 9).

Tabela 9. Economia de fertilizantes minerais aplicados no tratamento TA e TRA, e nutrientes economizados.

| Elementos | Quantidade aplicado | | Economia de nutrientes (%) |
|--------------|---------------------|----------|----------------------------|
| | TA (kg) | TRA (kg) | |
| N | 0,50 | 0,43 | 14 |
| P | 0,47 | 0,41 | 14 |
| K | 1,22 | 1,26 | 3* |
| Ca | 0,48 | 0,34 | 29 |
| Mg | 0,14 | 0,10 | 27 |
| S | 0,31 | 0,32 | 2* |
| Total | 3,13 | 2,85 | 9 |

TA = água potável complementado com fertilizantes minerais; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; N = nitrogênio total; P = fósforo total; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre. * = aumento no consumo de fertilizantes minerais.

Fonte: Dados do experimento.

Quando abordamos o tema economia de água e ponderamos os 13 preparos de soluções nutritivas (350 litros) para os tratamentos TRA e TR, essa técnica de fertirrigação utilizando o esgoto doméstico tratado para fins agrícolas proporcionou uma economia total de aproximadamente 9100 L de água para potável durante os seis meses de cultivo do morangueiro, considerando a aplicação de 4550 L de esgoto doméstico tratado para cada tratamento (TRA e TR). Desta forma, o efluente que seria lançado diretamente nos corpos hídricos, proporcionou economia de fertilizantes minerais, água potável e benefícios a cultivar.

5.5 Análises quantitativas do morango

5.5.1 Número de frutos e massa fresca do morango

A Figura 15 representa os frutos coletados em cada sub parcela do estudo. Os resultados dos valores médios obtidos através da ANOVA sobre o número de frutos (Figura 16 A) e massa fresca em quilogramas (kg) (Figura 16 B) para cada sub parcela dos tratamentos TA, TRA e TR nos seis meses de cultivo do morangueiro com substrato, evidenciou diferença entre os tratamentos TA e TRA em relação ao TR, mas a ANOVA não consegue detectar qual difere de qual. Desta forma, foi aplicado o teste de Tukey para comparação das médias duas a duas, a fim de investigar qual(is) dos tratamentos apresentou(aram) os melhores resultados de produção.

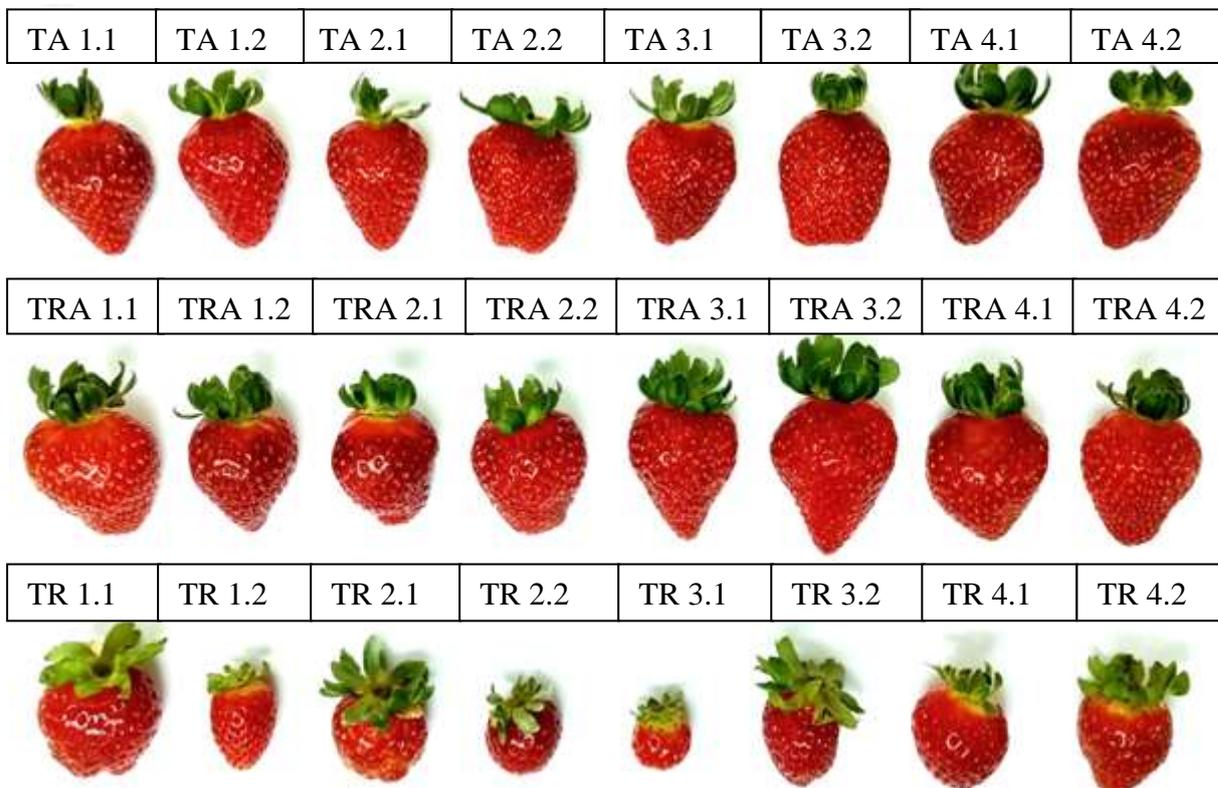


Figura 15. Representação dos frutos de morango coletado de cada sub parcela dos tratamentos analisados. TA = Tratamento com água potável mais fertilizantes minerais; TRA = Tratamento com esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = Tratamento com esgoto doméstico tratado; 1.1 = Bloco 1 e sub parcela 1; 2.1 = Bloco 2 e sub parcela 1; 2.2 = Bloco 2 e sub parcela 2; 3.1 = Bloco 3 e sub parcela 1; 3.2 = Bloco 3 e sub parcela 2; 4.1= Bloco 4 e sub parcela 1; 4.2= loco 4 e sub parcela 2.

Fonte: Do autor.

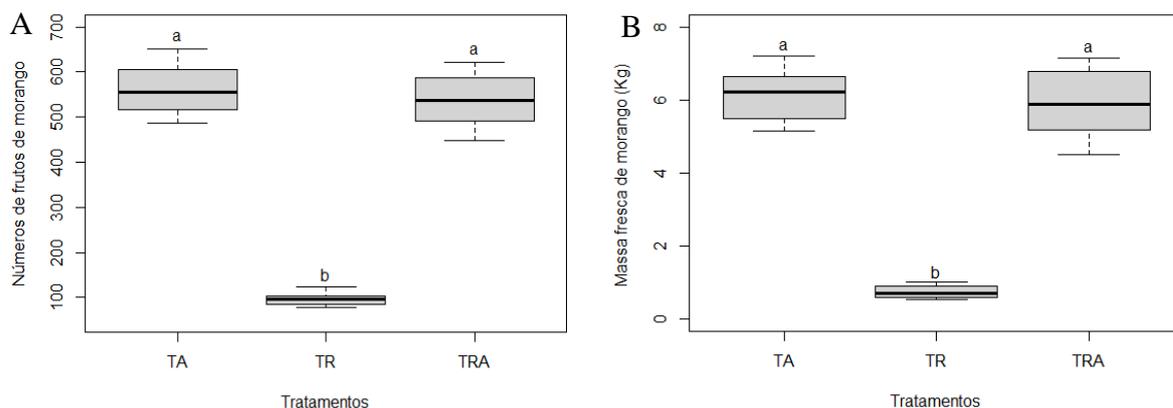


Figura 16. (A) = Boxplot e teste de Tukey para o número de frutos de morango; (B) = Boxplot e teste de Tukey para massa fresca do morango; TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = somente esgoto doméstico tratado; médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 5%.

Fonte: Dados do experimento.

Após aplicação do teste de Tukey, verificou-se que o tratamento TA, com média de 562 frutos por sub parcela e 31 frutos por planta, não diferiu estatisticamente do tratamento TRA, com média de 538 frutos por sub parcela e 30 frutos por planta. Em contrapartida, o tratamento TR obteve pior desempenho, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, com média de 97 frutos por sub parcela e 5 frutos por planta. De acordo com o teste de Shapiro-Wilk, os resíduos podem ser considerados normais e o coeficiente de variação entre as sub parcelas dos tratamentos foi $\pm 12,24\%$.

Os resultados de massa fresca do morango, o tratamento TA com média de 6,131 kg por sub parcela e 0,341 kg por planta, não diferiu estatisticamente do tratamento TRA, com média de 5,917 kg por sub parcela e 0,329 kg por planta. Por outro lado, o tratamento TR apresentou resultados insatisfatórios, com média de 0,749 kg por sub parcela e 0,042 kg por planta. Logo, o teste de Shapiro-Wilk confirmou que os resíduos podem ser considerados normais para cada sub parcela, e seu o coeficiente de variação entre os tratamentos foi $\pm 16,66\%$ (Tabela 10).

Tabela 10. Síntese dos valores de análise de variância, teste de Tukey e teste de Shapiro-Wilk para os métodos de cultivo do morango referente ao número de frutos e massa fresca no período de estudo.

| Tratamentos | Número de Frutos por Planta – NFP | Massa Fresca (kg) |
|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| TA | 562 a | 6,131 a |
| TRA | 538 a | 5,917 a |
| TR | 97 b | 0,749 b |
| ----- ANOVA ----- | | |
| p-valor | 5,12 e ⁻¹⁵ * | 4,45 e ⁻¹³ * |
| C.V. (%) | 12,24 | 16,66 |
| ----- Shapiro-Wilk ----- | | |
| p-valor | 0,90 | 0,95 |

TR = esgoto doméstico tratado; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; * = significativo (p-valor<0,05); C.V. = coeficiente de variação em percentagem.

Fonte: Dados do experimento.

Richter et al. (2018) avaliaram a produção de morango e a massa fresca em diferentes sistemas de cultivo verificaram que a cultivar San Andrés quando submetida ao cultivo sem solo, foi a cultivar que demonstrou o maior potencial na produção, sendo 3,9 números de frutos por planta, 19 g em massa fresca de fruto por planta, além de ter sido comparado ao nível de produção no solo e com outras cultivares como Albion e Captola que apresentam bons resultados em sistema de cultivo com substrato.

Neste seguimento, Piovesan e Hojo (2020) também avaliaram o desempenho da cultivar San Andrés utilizando diferentes substratos, e mais uma vez o cultivo com substrato, na qual

utiliza a fibra de coco, evidenciou o potencial de produção com a aplicação desse método. Já Figueiredo et al. (2021), avaliaram a produção de morango em sistema hidropônico sob os mesmos métodos de tratamentos (TR, TRA e TA) e observaram a massa fresca do morango por planta em gramas nos tratamentos TA (89,55 g) e TRA (81,82 g), na qual apresentaram os maiores desempenhos produção por planta quando comparado com o tratamento que foi aplicado apenas esgoto doméstico tratado sem adição de fertilizantes minerais (23,76 g).

Desta forma, a baixa disponibilidade de fertilizantes minerais no esgoto doméstico tratado associado ao pH mais alto dessa solução pode causar efeitos negativos no desempenho da cultivar, onde a possibilidade de explorar o potencial de produção do morango é afetado pela falta de nutrientes e concentração de pH que a planta demanda. Porém, quando o esgoto doméstico tratado é associado a complementação de fertilizantes minerais e concentração de pH ideal a cultivar, o nível de produção é perceptível na planta, sendo comparado ao mesmo nível do sistema de tratamento convencional (TA).

5.5.2 Diâmetro e comprimento dos frutos de morango

Os dados do valores médios obtidos por meio da ANOVA sobre o diâmetro do fruto de morango em centímetros (Figura 17 A) e comprimento dos frutos (cm) por planta (Figura 17 B) para os tratamentos TA, TRA e TR no período de cultivo, demonstrou diferença entre os tratamentos TA e TRA em comparação ao TR. Com o propósito de identificar qual(is) tratamentos diferiu(aram) de si, foi aplicado o teste de Tukey para comparação das médias, a fim de investigar qual(is) dos tratamentos apresentou(aram) os melhores resultados.

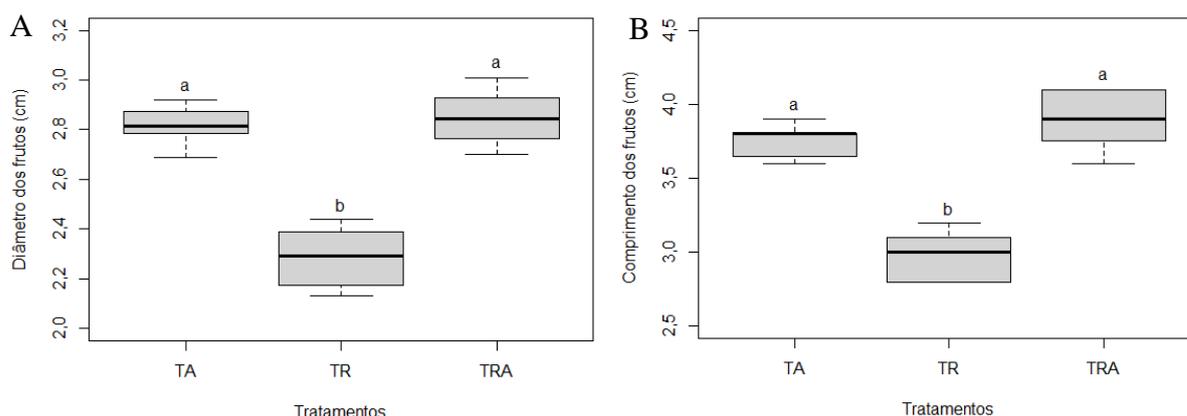


Figura 17. (A) = Boxplot e teste de Tukey para o diâmetro dos frutos de morango; (B) = Boxplot e teste de Tukey para o comprimento dos frutos de morango; TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TR = somente esgoto doméstico tratado; médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de significância 5%.

Fonte: Dados do experimento.

O teste de Tukey demonstrou que o tratamento TRA obteve valor médio de 3,9 cm de comprimento do fruto por planta, não diferindo estatisticamente do tratamento TA, com valor médio de 3,8 cm do fruto por planta. Por outro lado, o tratamento com apenas esgoto doméstico tratado (TR) obteve menor comprimento do fruto por planta, com 2,9 cm diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Segundo o teste de Shapiro-Wilk, os resíduos foram considerados normais e seu coeficiente de variação entre os tratamentos foi $\pm 4,59\%$.

Os valores do diâmetro do fruto, o tratamento TRA alcançou média de 2,85 cm por planta, e não diferiu estatisticamente de TA, com valor médio de 2,82 cm por planta. No entanto, o tratamento TR apresentou valor médio do diâmetro do fruto 2,29 cm por planta. O teste de Shapiro-Wilk confirmou que os resíduos podem ser considerados normais, sendo o coeficiente de variação dos tratamentos $\pm 3,81$ (Tabela 11).

Tabela 11. Síntese dos valores de análise de variância, teste de Tukey e teste de Shapiro-Wilk no cultivo do morango referente ao comprimento e diâmetro dos frutos no período de estudo.

| Tratamentos | Comprimento dos frutos (cm) | Diâmetro dos frutos (cm) |
|--------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| TRA | 3,9 a | 2,85 a |
| TA | 3,8 a | 2,82 a |
| TR | 2,9 b | 2,29 b |
| ----- ANOVA ----- | | |
| p-valor | $2,87 e^{-10}$ * | $1,65 e^{-10}$ * |
| C.V. (%) | 4,59 | 3,81 |
| ----- Shapiro-Wilk ----- | | |
| p-valor | 0,13 | 0,34 |

TR = tratamento com esgoto doméstico tratado; TRA = esgoto doméstico tratado mais complementação de fertilizantes minerais; TA = tratamento água potável mais complementação de fertilizantes minerais; * = significativo (p-valor $<0,05$); C.V. = coeficiente de variação.

De acordo com o Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura – PBMH e Produção Integrada de Morango – PIMo (2009), o comprimento, diâmetro, qualidade e ausência de defeitos dos frutos de morango são aspectos importantes na classificação comercial, na qual possuem duas classes comerciais, sendo a classe 15 e classe 35.

A classificação 35, são frutos que possuem comprimento acima de 3,5 cm. Desta forma, os tratamentos TRA (3,9 cm) e TA (3,8 cm) estariam agrupados nesta classe. Já a classe 15 classifica os frutos de morango com comprimento de 1,5 a 3,5 cm. Logo, os resultados obtidos nesta pesquisa evidenciam que o tratamento TR (2,9 cm) se enquadra na classificação 15. Porém, mesmo que o tratamento com esgoto doméstico tratado (TR) esteja agrupado na classe 15, o fruto não poderia ser comercializado por motivos de qualidade em função da deficiência nutricional.

Segundo Passos e Trani (2013) a ausência de nitrogênio e cálcio afeta diretamente a qualidade do morango ocasionando o mal desenvolvimento e menor produção e deterioração dos frutos. A falta de fertilizantes minerais no tratamento associado com a concentração de pH alto no tratamento TR, possibilitou que não houvesse qualidade do produto para fins comerciais, apresentando deformações no fruto e tamanho reduzindo quando comparados com os tratamentos TRA e TA.

Antunes et al. (2016) ressaltam que a variação nas dimensões dos frutos de morango é motivada por fatores genéticos, ambientais, nutricionais e fisiológicos. Associando todos esses fatores, o tratamento TR (2,29 cm) obteve o menor valor médio do diâmetro dos frutos quando comparados com os tratamentos TRA (2,85 cm) e TA (2,82 cm). Portanto, reitero que, ao explorar o potencial do esgoto tratado associado a complementação de nutrientes necessários, faz com que a cultivar de morango San Andréas desempenhe um nível de produção que é igual ao tratamento TA.

5.5.3 Sólidos solúveis totais (°BRIX)

Com relação aos dados de sólidos solúveis totais no período de estudo, os resultados obtidos na ANOVA apontaram para diferença significativa dos tratamentos TA e TRA em relação ao tratamento TR. Desta forma, o teste de Tukey foi aplicado para comparação das médias duas a duas (Figura 18).

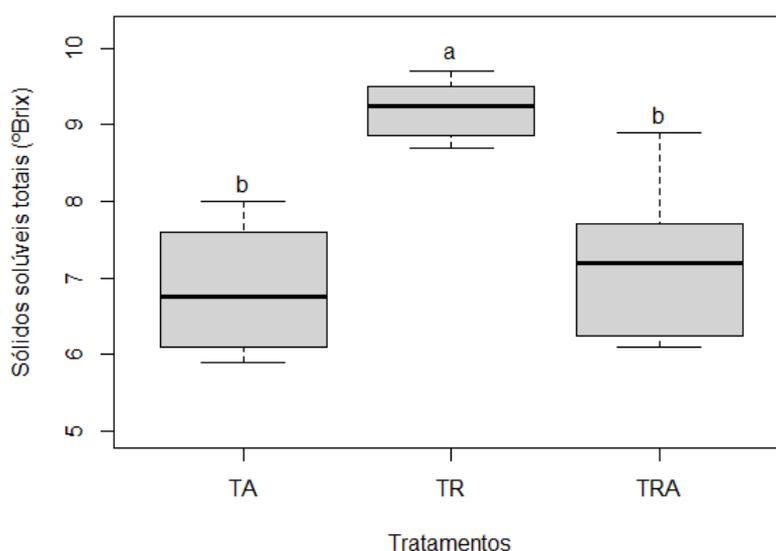


Figura 18. Boxplot e teste de Tukey para os valores médios obtidos de sólidos solúveis totais (°BRIX); TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; TR = esgoto doméstico tratado; médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%.

Fonte: Dados do experimento.

Quando aplicado o teste de Tukey para os tratamentos TRA (7,2) e TA (6,9) não foram considerados estatisticamente diferentes entre si, mas ambos diferiram do tratamento TR (9,2). Já o teste de Shapiro-Wilk demonstrou que os resíduos podem ser considerados normais, sendo o coeficiente de variação entre os tratamentos $\pm 10,04\%$.

No estudo realizado por Antunes et al. (2016), afirmam que os sólidos solúveis totais (°BRIX) é usado como indicador de qualidade, sendo responsável pela doçura do fruto e o valor de °BRIX encontrado para a cultivar San Andrés foi 6,96. Por sua vez, Franco et al. (2017) avaliaram a cultivar San Andrés sendo cultivada em função de diferentes densidades de plantio e obteve valores de °BRIX numa faixa de 6,5 a 6,9. Porém a obtenção dos valores teve diversas interferências no período de avaliação apresentando um resultado não significativo para a variável.

Os valores médios obtidos de sólidos solúveis totais para cada tratamento neste experimento, permitiu observar que o cultivo do morango em ambiente protegido fornecendo nutrientes minerais, concentração de pH e cuidados necessários à planta, fez com que o teor de °BRIX fosse satisfatório nos tratamentos TRA (7,2) e TA (6,9), apresentando valores próximos as pesquisas realizadas por Antunes et al. (2016) e Franco et al. (2017).

Em síntese, os valores médios obtidos para sólidos solúveis totais no tratamento com esgoto doméstico tratado foi 9,2 °BRIX, embora a fertirrigação do tratamento TR ocorresse com baixo teor de nutrientes minerais e alto valor de pH, resultando em frutos com tamanho e produção reduzida, o valor obtido para os sólidos solúveis totais foi consideravelmente alto. Tais resultados estão em função do sistema de produção da planta, corroborando na concentração de todos os nutrientes presentes e disponibilizando na produção desses frutos de tamanho reduzido, logo, aumentando a concentração dos sólidos solúveis totais.

5.5.4 Análise microbiológica do fruto

Os resultados das análises microbiológicas do morango para os tratamentos TR, TRA e TA estão apresentadas na Tabela 12. A Resolução de Diretoria Colegiada – RDC de nº 12, de 2001 aborda a questão de alimentos que são considerados impróprios para consumo, devido uma possível contaminação fecal. Desta forma, não há padrão máximo estabelecido para coliformes totais, mas os limites máximos de coliformes termotolerantes para morangos frescos e similares, *in natura*, inteiras, selecionadas ou não, são permitidos até 2×10^3 M, onde é o limite que, em plano de duas classes, separa o produto aceitável do inaceitável, ou seja, em um plano de três classes, M separa o lote com qualidade intermediária aceitável do lote inaceitável. Valores acima de M são inaceitáveis (ANVISA, 2001).

Tabela 12. Quantificação de bactéria (*Escherichia coli*) nos frutos do morango.

| Tratamentos | <i>Escherichia Coli</i> (NMP) |
|-------------|-------------------------------|
| TR | Ausente |
| TRA | Ausente |
| TA | Ausente |

TR = apenas esgoto doméstico tratado; TRA = esgoto doméstico tratado mais fertilizantes minerais; TA = água potável complementada com fertilizantes minerais; NMP = número mais provável.

Fonte: Dados do experimento.

O método aplicado para obtenção dos resultados microbiológicos nos frutos do morango se enquadra aos padrões máximos estabelecidos pela Resolução de nº 12 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, onde a presença de coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*) é ausente nas amostras analisadas (Tabela 11).

Segundo Cuba et al. (2015), o sistema fora do solo atua como barreira, limitando que a solução nutritiva fertirrigada tenha contato com a planta somente através das raízes, e a parte superior do perfil de cultivo foi coberto por *mulching* plástico. Neste seguimento, Reis e Olivares (2006) afirmam que, bactérias não possuem estruturas ativas que permitam sua penetração em tecidos vegetais intactos.

Consequentemente, a técnica de cultivo do morangueiro com substrato evidenciou que mesmo o esgoto doméstico tratado evidenciando baixa concentração de bactéria *Escherichia coli* (Tabela 6) na solução nutritiva dos tratamentos TR e TRA, os resultados das análises microbiológicas nos frutos de morango mostraram-se ausente a presença de *Escherichia coli*, ou seja, os frutos de morango não tiveram contato direto com o esgoto doméstico tratado por motivos de ser um sistema de cultivo que faz com que o fruto não tenha contado direto com a solução nutritiva, pois esse sistema de cultivo em substrato possui uma barreira onde os perfis de cultivo são cobertos por plásticos *mulching*.

Na legislação brasileira, a aplicação do esgoto doméstico tratado não é permitida em qualquer cultivo de hortaliças, por isso não se discute parâmetros com limites mínimos ou máximo para questão microbiológica. Em contrapartida, os resultados obtidos neste experimento, na qual sua aplicação é empregada em sistema de cultivo com substrato, além de ser uma medida mitigadora, evidencia que há possibilidade de explorar o potencial do esgoto doméstico tratado levando em consideração os métodos de cultivo através da fertirrigação.

Figueiredo et al. (2021) analisaram o esgoto doméstico tratado em condição hidropônica sob os mesmos métodos de tratamentos, onde salienta a importância da hidroponia a fim de assegurar a qualidade sanitária das culturas produzidas a partir do esgoto doméstico tratado.

6. CONCLUSÕES

Os dados obtidos no experimento evidenciaram que o emprego do esgoto doméstico tratado complementado com fertilizantes minerais, auxiliando como fonte de água e nutrientes no cultivo do morangueiro com substrato durante os seis meses de estudo foi satisfatória. A aplicabilidade do esgoto doméstico tratado associada a complementação de fertilizantes minerais (TRA), permitiu explorar o potencial do morangueiro proporcionando a mesma produção e qualidade quando comparado com o sistema de cultivo convencional (TA), na qual utiliza água potável mais fertilizantes minerais.

O emprego do esgoto doméstico tratado sem adição de fertilizantes minerais na fertirrigação, não proporcionou qualidades comerciais as plantas e frutos, causando diversos fatores como deficiência nutricional na planta, reduzida produtividade e qualidade quando comparados com os tratamentos que receberam fertilizantes minerais.

A produtividade e qualidade dos frutos da cultivar San Andréas, como número de frutos, comprimento, diâmetro, massa fresca e sólidos solúveis totais, produzidos com esgoto doméstico tratado (TRA) foi semelhante estatisticamente ao sistema de cultivo convencional (TA).

A técnica de cultivo com substrato não permitiu o contato direto dos frutos com esgoto doméstico tratado, demonstrando ser uma barreira física para a contaminação dos frutos por bactéria (*Escherichia coli*).

O emprego do esgoto doméstico tratado possibilitou ser uma fonte alternativa viável, pois promoveu a economia de 13,1% fertilizantes minerais e aproximadamente 4500 L de água potável.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução – RDC nº. 12, de 02 de janeiro de 2001.** Disponível em:

<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_12_2001.pdf/15ffddf6-3767-4527-bfac-740a0400829b>. Acesso em: 13 de agosto 2021.

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 Agrônomo, 7^a Ed, 2014. 452 p. **Boletim Técnico n.200**. Disponível: http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/porassunto/pdf/boletim200_iac.pdf

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

ALVES, H. Qualidade microbiológica e físico-química de morango (*Fragaria x ananassa* Duch) exposto ao gás ozônio durante o armazenamento. 2017.

ALVES, R. T.; LOPES, H. R. D.; SOARES, J. R. R.; OLIVEIRA, N. M. P. A cultura do morangueiro no Distrito Federal. Emater-DF, Brasília, DF, 2019.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standards **Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22^a ed. 2012

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**, p. 88. Brasília: ANA, 2017.

ANDRADE, G. F.; BARROS, D. B. Bioindicadores microbiológicos para indicação de poluição fecal. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, n. 34, p. e1099-e1099, 2019.

ANTUNES, L. E. C.; BONOW, S.; REISSER JÚNIOR, C. Morango: crescimento constante em área e produção. **Embrapa Clima Temperado-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2020.

ANTUNES, L. E. C.; JUNIOR, C. R. Recomendação da utilização do sistema de produção fora de solo para morangueiro. **Embrapa Clima Temperado-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2019.

ANTUNES, L. E. C.; REISSER JUNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. Morangueiro. **Embrapa Clima Temperado-Livro técnico (INFOTECA-E)** 1^a ed. 2016. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1092843>

ANTUNES, O. T.; CALVETE, E. O.; ROCHA, H. C.; NIENOW, A. A.; CECCHETTI, D.; RIVA, E.; MARAN, R. E. Produção de cultivares de morangueiro polinizadas pela abelha jataí em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 1, p. 94-99, 2007. Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/hb/v25n1/a18v25n1.pdf>

ARAÚJO, B.M.; SANTOS, A.S.P.; LIMA, M.A.M.; SOARES, S.R.A.; PERDIGÃO, C.A.; MELO, M.C. Avaliação do potencial de reúso de efluentes de ETE em áreas irrigadas da bacia hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu com vistas a universalização. **Revista Augustus**, v. 24, n. 49, p. 179-191, 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). **Estatísticas**. Disponível em: <<http://anda.gov.br>>. Acesso em: 19 jan. 2022.

ATKINSON, C. J.; DODDS, P. A. A.; FORD, Y. Y.; MIERE, J. E. E.; TAYLOR, J. M.; BLAKE, P. S.; PAUL, N. Efeitos da cultivar, do número de frutas e da radiação fotossinteticamente ativa refletida na produtividade de *Fragaria* × *ananassa* e nas concentrações de ácido elágico e ácido ascórbico da fruta. **Annals of Botany**, v. 97, n. 3, p. 429-441, 2006.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado 1. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 152-169, 2008.

BORTOLOZZO, A. R.; VALDEBENITO SANHUEZA, R. M.; MELO, G. W. B. de; KOVALESKI, A.; BERNARDI, J.; HOFFMANN, A.; BOTTON, M.; FREIRE, J. de M.; BRAGHINI, L. C.; VARGAS, L.; CALEGARIO, F. F.; FERLA, N. J.; PINENT, S. M. J. **Produção de morangos no sistema semi-hidropônico**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2005. 24 p. (Embrapa Uva e Vinho. Circular técnica, 62).

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO: **24º Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2018**, p. 180. Brasília, 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **RESOLUÇÃO Nº 121, DE 16 DE DEZEMBRO DE 2010**: Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal. Brasília/DF: MMA, 2010. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/reuso-deagua-recursos-hidricos/37-resolucao-n-54-de-28-de-novembro-de-2005/file>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 357, 17/03/2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 430, 14/05/2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA N° 503, 14/12/2021**. Define critérios e procedimentos para o reúso em sistemas de fertirrigação de efluentes provenientes de indústrias de alimentos, bebidas, laticínios, frigoríficos e graxarias.

BRASIL. Resolução Conselho Nacional de Recursos Hídricos n° 54, de 28 de novembro de 2005 - Estabelece critérios gerais para reúso de água potável. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 30 de agosto de 2006.

BRASIL. Secretários de Estado da Saúde e de Infraestrutura e Meio Ambiente (SES/SIMA). **Resolução N° 01, 13/02/2020**. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas.

CALVETE, E. O.; COSTA, R. C.; MENDONÇA, H. F. C.; CECATTO, A. P. Sistemas de produção fora do solo. In: ANTUNES, L. E. C.; REISSER JUNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. Morangueiro. Embrapa Clima Temperado-Livro técnico, 2016.p. 219-259.

CANTELE, T. D.; LIMA, E. C.; BORGES, L. A. C. Panorama dos recursos hídricos no mundo e no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 4, p. 1259-1282, 2018.

CARVALHO, O.; OLIVEIRA, L. S.; CRUZ, G. Impactos ambientais gerados pela modernização no sistema agrícola mundial. **Revista SODEBRAS–Volume**, v. 4, n. 160-1705, p. 3-05, 2019.

CARVALHO, R. S. C.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Influence of the use of wastewater on nutrient absorption and production of lettuce grown in a hydroponic system. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.203, p.311-321, 2018.

CASARIN, Fátima; SANTOS, Mônica. **Água: o ouro azul: Usos e abusos dos recursos hídricos**. Editora Garamond, 2018.

CETESB (Companhia de Tecnologia Ambiental do Estado de São Paulo). Instrução técnica n.31. Exigências técnicas para o reúso de água, para fins de aplicação em culturas provenientes de ETE: CETESB, 2006.

CORDEIRO, G. G. Qualidade de Água para Fins de Irrigação: conceitos básicos e práticos. **Embrapa Semiárido-Documentos (INFOTECA-E)**, 2001.

CUBA, R. S.; CARMO, J. R.; SOUZA, C. F. Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 574-586, 2015.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; TEIXEIRA, M. B.; CARVALHO, J. J.; MOURA, L. M. F.; SANTOS, C. C. Coeficientes de uniformidade em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.8, n.6, p.444-454, 2014.

DALTRO FILHO, J. **Saneamento ambiental:(doença, saúde e o saneamento da água)**. São Cristóvão, UFS/Fundação Oviedo Teixeira, 2004.

DANTAS, C. E. S.; ALVES, G. G. M.; ARAUJO, G. J. M.; LIMA, A. R. Estufa automatizada para o cultivo de morangos no semiárido, 2019.

FAO AQUASTAT. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - Sistema de Informação Global sobre Água e Agricultura, 2015. Disponível em: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm. Acesso em: 21 dezembro de 2021.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura - Faostat 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#search/Strawberries>. Acesso em: 20 dezembro de 2021.

FERNANDES-JÚNIOR, F.; FURLANI, R.; RIBEIRO, I. J. A.; CARVALHO, C. R. L. Produção de frutos e estolhos do morangueiro em diferentes sistemas de cultivo em ambiente protegido FIGUEIREDO, C. G.; SALA, F. C.; SOUZA, C. F. Esgoto doméstico tratado como fonte de nutrientes. **Bragantia**, v. 61, n. 1, p. 25-34, 2002.

FERREIRA, P. S. F.; MOTTA, P. C.; SOUZA, T. C.; SILVA, T. P.; OLIVEIRA, J. F.; SANTOS, A. S. P. Avaliação preliminar dos efeitos da ineficiência dos serviços de saneamento na saúde pública brasileira. **Revista internacional de ciências**, v. 6, n. 02, p. 214-229, 2016.

FIGUEIREDO, C. G.; SALA, F. C.; SOUZA, C. F. Esgoto doméstico tratado como fonte de nutrientes para morango sob cultivo hidropônico. **Revista internacional de Reciclagem de Resíduos Orgânicos na Agricultura**, v. 10, n. 4, p. 353-362, 2021.

FRANCO, E.O.; ULIANA, C.; LIMA, C.S.M. Características físicas e químicas de morango ‘San Andreas’ submetido a diferentes posicionamentos de slab, densidades de plantio e meses de avaliação. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 18, n. 2, p. 115-120, 2017.

FURLANI, P.R.; FERNANDEZ JÚNIOR, F. Cultivo hidropônico de morango em ambiente protegido. **Simpósio nacional do morango & encontro de pequenas frutas e frutas nativas do MERCOSUL**, v. 2, p. 102-115, 2004.

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. Cultivo hidropônico de plantas: parte 3 - Produção de mudas para hidroponia. 2009. **Acesso em**, v. 6, 2021.

GARAY, D.A.; SOUZA, C.F. Esterilizador UV no tratamento de esgoto para reuso agrícola. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 44., 2015, São Pedro. **Anais**. São Pedro: Conbea, 2015. p. 1 - 4. Disponível

em:<<http://publicacoes.conbea.org.br/anais/busca/?pagina=1&ano;=&categoria;=&opcos=souza>>.

GHEYI, H. R.; SILVA, N. S.; LACERDA, C. F.; FILHO, E. G. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. 38 p.

GONÇALVES, M. A.; VIGNOLO, G. K.; ANTUNES, L. E. C.; REISSER, J. C. Produção de morango fora do solo. **Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 32p**, 2016.

HESPANHOL, I. et al. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

IDEXX Laboratories Inc. **Cartilha explicativa do método Colilert, Tecnologia do substrato definido**. Disponível em:<https://idexxcom-iveb02da1e51e754c9cb292133b-9c56c33.aldryn-media.com/filer_public/d5/f8/d5f81805-8ceb-4893-b0b7-b95db8ffab/colilert-procedure-en.pdf>

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 1ª edição digital, 2008, 1020 p. Disponível em:<http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf>

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira 7ª Edição**, BRASÍLIA, v. 7, p. 38-45, dez. 2012.

JACOBI, P. R.; EMPINOTTI, V. L.; SCHMIDT, L. Escassez hídrica e direitos humanos. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 1, p. 0-0, 2016.

L. B.; FADIGAS, E. A. F. A.; CARVALHO, C. E. Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável. In: **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. 2005.

LESCH, S. M.; SUAREZ, D. L. Nota técnica: Uma breve nota sobre o cálculo do índice de RAS ajustado. **Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas e Biológicos**, v. 52, n. 2, p. 493-496, 2009.

LIMA, S. M. S.; HENRIQUE, I. N.; CEBALLOS, B. S. O.; SOUZA, J. T.; ARAUJO, H. W. C. Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 21-25, 2021.

LISBOA, J.; PALHA, M. G.; OLIVEIRA, C. M. Influência do substrato na fenologia, na biometria e produtividade das cultivares de morangueiro Camarosa, Rábida, San Andreas e Portola. **Actas Portuguesas de Horticultura**, v. 26, p. 19-28, 2016.

LOPES, H. R. D.; ALVES, R. T.; SOARES, J. R. R.; OLIVEIRA, N. M. P. A cultura do morangueiro no Distrito Federal. **Emater-DF**, Brasília, DF, 2019.

MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P.; CIASCA, B. S. Uso da água no Brasil e sua relação com condicionantes econômicos: análise a partir de simulações com um modelo de equilíbrio geral. Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

MARTINEZ, H. E. P.; DA SILVA FILHO, J. B. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2004.

MARTÍNEZ, S.; SUAY, R.; MORENO, J.; SEGURA, M. L. Reuse of tertiary municipal wastewater effluent for irrigation of Cucumis melo L. **Irrigation Science**, v. 31, p. 661-672, 2013.

MARTINS, G. 2021. Diagnóstico sobre sistemas de dados agrícolas do Brasil para um sistema nacional de avaliação de danos e perdas por desastres na agricultura. Brasília, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura **FAO**, p. 93, 2021.

MARTIRANI, L. A.; PERES, I. K. Crise hídrica em São Paulo: cobertura jornalística, percepção pública e o direito à informação. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, p. 01-20, 2016.

MENDES, P. E. F.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Efluente tratado na agricultura: aspectos agrônômicos e sanitários no cultivo do rabanete. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 10, n. 1, p. 428-438, 2016.

MENDONÇA, L. C. A importância do reúso de efluentes de esgotos domésticos tratados na agricultura. **Sistemas sustentáveis de esgotos: orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reúso na agricultura**, p. 293, 2018.

OCDE (2020), Inquéritos Económicos da OCDE: Brasil 2020, **Editores OCDE**, Paris, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/250240ad-en>. Acesso em: 21 de dezembro de 2021.

OECD – Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico. Perspectivas ambientais da OCDE para 2050: as consequências da inação. Paris: Publicação da OECD, 2012. 349 p.

OHSE, S.; NETO-DOURADO, D.; MANFRON, P. A.; SANTOS, O. S. Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. **Scientia agrícola**, v. 58, n. 1, p. 181-185, 2001.

OLIVEIRA, A. A. S.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Adaptação de efluente doméstico para uso agrícola por tratamento biológico, físico e desinfecção por ultravioleta. **Revista Ambiente e Água**, v. 14, p. 1-10, 2019.

OLIVEIRA, M. P.; MALAGOLLI, G. A.; CELLA, D. Mercado de fertilizantes: Dependência de importações do Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 1, p. 489-498, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). O estado da Segurança Alimentar e Nutricional no Brasil: Um retrato multidimensional. Relatório 2014. Brasília, agosto 2021.

PASQUALETTO, T. L. L.; PASQUALETTO, A.; PASQUALETTO, A. G. N. Análise da Disponibilidade e Demanda de Recursos Hídricos no Brasil. **Trabalho Inscrito na Categoria de Artigo Completo ISBN-978-65-86753-02-8. XVI Fórum Ambiental**, p. 2088-2113, 2020.

PASSOS, F. A.; TRANI, P. E. Calagem e adubação do morangueiro. **Instituto Agrônomo, Centro de Horticultura, Campinas, SP**, 2013.

PBMH & PIMo - Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura & Produção Integrada de Morango. **Normas de Classificação de Morango**. São Paulo: CEAGESP, 2009. (Documentos, 33).

PINTO, N. O.; HERMES, L. C. Sistema simplificado para melhoria da qualidade da água consumida nas comunidades rurais do semiárido do Brasil. **Embrapa Meio Ambiente. Documentos**, 2006.

PIOVESAN, F. L.; HOJO, E. T. D. Desempenho de morangueiro San Andreas com a utilização de diferentes substratos. **Revista Cultivando o Saber**, p. 59-68, 2020.

R CORE TEAM, R: *A language and environment for statistical computing*. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Áustria, 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, J. A.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 285 p. **Boletim Técnico n.100**.

REIS, V. M.; OLIVAREAS, F. L.; Documentos 216: Vias de penetração e infecção de plantas por bactérias. Seropédica – RJ. **Embrapa Agrobiologia**, p. 34. 2006.

RIBEIRO, J. G.; MARINHO, D. Y.; ESPINOSA, J. W. M. Agricultura 4.0: desafios à produção de alimentos e inovações tecnológicas. In: **Simpósio de Engenharia de Produção**, p. 1-7. 2018.

RIBEIRO, S. L. Considerações iniciais sobre a segurança hídrica do Brasil. **Revista Brasileira de Estudos de Defesa**, v. 4, n. 1, 2018.

RICART, S.; RICO, A.M. Assessing technical and social driving factors of water reuse in agriculture: a review on risks, regulation and yuck factor. **Agricultural water management**, v. 217, n. 20, p. 426-439, 2019.

RICHTER, A. F.; FAGUERAZZI, F.; ZANIN, D. S.; CAMARGO, S. S.; ARRUDA, A.; KRETZSCHAMAR, A. A.; RUFATO, L.; SILVA, P. S. Produtividade e qualidade do morango sob cultivo de solo e semi-hidropônico. **Revista Científica Rural**, v. 20, n. 1, p. 193-203, 2018.

SANTOS, A. A. SISTEMA DE CULTIVO HIDROPÔNICO. **SIMTEC**, v. 4, n. 1, p. 14, 2018. Disponível em: <<http://simtec.fatectq.edu.br/index.php/simtec/article/view/298>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: Aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 8, n.1, p. 50-68, 2020.

SANTOS, M. V.; MENEZES, J. A.; SILVA, D. A. P.; DUARTE, M. L.; FLORESTA, A. C. Uso e ocupação do solo e qualidade da água do rio Crato no município de Humaitá-AM, Brasil. **Revista Valore**, v. 5, p. 5040, 2020.

SAUSEN, D.; FERREIRA, C. R. L; LOPES, S. C. D.; MARQUES, L. P; SOUZA, A. J. M.; ALVES, E. C. G. A.; PATROCÍNIO, E. S. A. Cultivo fora do solo: uma alternativa para áreas marginais. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14888-14903, 2020.

SIMÕES, G. S.; SANTOS, Z. F.; LIMA, R. A. A IMPORTÂNCIA DA FAMÍLIA ROSACEAE NO CONTEXTO SOCIOAMBIENTAL. **Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 111-124, 2019.

TEIXEIRA, J.P.S.; CARRIJO, R.A.; FERREIRA, D.M. Aproveitamento de Água Pluvial para fins não potáveis: proposta de aplicação em residência unifamiliar em Franca-SP. **Creare-Revista das Engenharias**, v. 2, n. 1, 2019.

URBANO, V. R.; MENDONÇA, T. G.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Efeitos da irrigação com água residual tratada nas propriedades do solo e no rendimento da alface. **Agricultural water management**, v. 181, p. 108-115, 2017.

VENANCIO, D. F. V.; SANTOS, R. M.; CASSARO, S.; PIERRO, P. C. C. A crise hídrica e sua contextualização mundial. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, 2015.

VIDAL, H. R.; SANTOS, M. J. Variedades de morango para cultivo no verão. **Campo e Negócio. Hortifruti**, 2017. Disponível em: <http://www.agrocultivo.com.br/download/publicacoes/05032017.pdf>>. Acesso: 10 de junho de 2021

WAINER, I.; PRADO, L. F.; KHODRI, M.; BLIESNER-OTTO, B. Reconstrução do índice do dipolo subtropical do Atlântico Sul nos últimos anos 12000 anos a partir da temperatura da superfície. **Scientific reports**, v. 4, p. 5291, 2014.

WWAP (*Programa de Avaliação Mundial da Água*). 2012. Relatório 4 das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Mundial da Água: Gerenciando a Água sob Incerteza e Risco. Paris, UNESCO.