

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

CAROLINE GOULART FIGUEIREDO

ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO COMO FONTE DE NUTRIENTES NO
CULTIVO HIDROPÔNICO DO MORANGUEIRO

ARARAS

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCar
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA

CAROLINE GOULART FIGUEIREDO

**ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO COMO FONTE DE NUTRIENTES NO
CULTIVO HIDROPÔNICO DO MORANGUEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA), da Universidade Federal de São Carlos como requisito para obtenção do Título de **Mestre em Agricultura e Ambiente**.

Orientador: Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza

Coorientador: Prof. Dr. Fernando César Sala

ARARAS

2020

Figueiredo, Caroline Goulart

Esgoto doméstico tratado como fonte de nutrientes no cultivo hidropônico do morangueiro / Caroline Goulart Figueiredo. -- 2020.
61 f. : 30 cm.

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

Orientador: Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza

Banca examinadora: Prof. Dr. Fernando César Sala, Prof. Dr. Reinaldo Gaspar Bastos, Prof^a. Dr^a. Tamara Maria Gomes

Bibliografia

1. Reúso de efluentes. 2. Morango. 3. Hidroponia. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Helena Sachi do Amaral – CRB/8 7083



Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Caroline Goulart Figueiredo, realizada em 11/03/2020:

Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza
UFSCar

Prof. Dr. Reinaldo Gaspar Bastos
UFSCar

Profa. Dra. Tamara Maria Gomes
USP

Prof. Dr. Fernando César Sala
UFSCar

DEDICATÓRIA

Ao meu avô Antonio Silvino, pelo
apoio, incentivo e inspiração durante
toda minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e a concretização de mais esse sonho;

O caminho percorrido até aqui, apesar de árduo, trouxe muitas contribuições para minha vida pessoal e profissional. Os momentos e aprendizados compartilhados com pessoas especiais e fundamentais para a realização deste trabalho jamais serão esquecidos, e por isso gostaria de agradecê-las:

Aos meus avós Antonio e Deolinda, pelo cuidado, pelo exemplo de vida, de humildade e por festejar cada conquista minha como se fosse deles;

À minha mãe Lucivalda, por me encorajar a ir em busca dos meus sonhos e estar ao meu lado em todos os momentos;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Claudinei, pelas oportunidades e ensinamentos que tanto contribuíram para o meu crescimento;

Ao Prof. Dr. Fernando Sala, meu coorientador por todo auxílio no decorrer do projeto;

Aos amigos do Lab-MPB, pela amizade, momentos de descontração e auxílio nas análises;

Aos amigos do EASA, em especial Harim, Liniker, Priscila, Nataly e Lisiana, pelo companheirismo, apoio e contribuição na condução do experimento;

Ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) e Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA);

Aos Técnicos de campo, laboratório e funcionários do CCA em geral, pela prontidão e ajuda oferecidas;

E por fim, à todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho e conclusão desta etapa, que se tornou tão importante ao longo de minha trajetória.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e, suporte financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Brasil (FAPESP) – Processo 2013/14893-7.

“Talvez, meio caminho andado seja a gente acreditar no que faz. Mas acima de tudo, o que mais nos incentiva, que mais nos valoriza e também mais nos torna conscientes de nossa responsabilidade, é saber que outros creem em nós. E não há palavras que descrevam o que sentimos ao saber dos sacrifícios a que eles se impõem por crerem não apenas em nós, mas também no que cremos”

Albert Einstein

RESUMO

Com o crescimento da população mundial e consequente aumento da demanda por alimentos o setor agrícola será impactado, resultando no maior consumo de água e nutrientes para atender as exigências dos cultivos agrícolas. Desta forma, a utilização de esgotos domésticos tratados pode ser uma alternativa para garantir o aproveitamento de nutrientes e promover a racionalização e conservação dos corpos hídricos. Este estudo visou comparar a produção, qualidade e estado nutricional do morangueiro cultivado em sistema hidropônico utilizando solução nutritiva convencional e esgoto doméstico tratado, buscando economia no uso de fertilizantes. O experimento foi realizado em estufa agrícola em sistema hidropônico NFT (Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes) com três tratamentos: (TA) composto por água potável e fertilizantes químicos, (TRA) água de reúso complementada com fertilizantes químicos e (TR) água de reúso. Cada tratamento foi composto por quatro bancadas de cultivo, sistema moto bomba, temporizador e recipiente de 500 L para armazenamento de solução nutritiva. Em cada bancada foram utilizados quatro perfis hidropônicos com capacidade para 12 plantas, totalizando 48 plantas por bancada e 192 por tratamento. As bancadas foram divididas em quatro blocos casualizados. Foram avaliados o teor de nutrientes da água de reúso comparada à solução nutritiva convencional, a quantidade de nutrientes utilizados nos tratamentos, a qualidade microbiológica dos frutos, o estado nutricional das plantas e os aspectos quantitativos e qualitativos dos frutos. O tratamento TR apresentou diferença significativa quando comparado aos demais, com sintomas visuais de deficiência nutricional nas plantas, menor produtividade, frutos mais ácidos e de menor diâmetro. O teor de sólidos solúveis não foi alterado pelos tratamentos, assim como a qualidade microbiológica dos frutos, que não indicou presença de *Escherichia coli*. A utilização da água de reúso para compor a solução nutritiva possibilitou obter economia de 33 % de fertilizantes químicos no tratamento TRA, em comparação ao TA. A água de reúso quando suplementada atende todos os parâmetros da cultura do morangueiro, equiparando-se ao cultivo com solução nutritiva convencional.

Palavras-chave: *Fragaria ananassa* x *dusch*, NFT, água de reúso, cultivo de hortaliças.

ABSTRACT

With the growth of the world population and the consequent increase in demand for food, the agricultural sector will be impacted, resulting in greater consumption of water and nutrients to meet the demands of agricultural crops. Thus, the use of treated domestic sewage can be an alternative to ensure the use of nutrients and promote the rationalization and conservation of water bodies. This study aimed to compare the production, quality and nutritional status of strawberries grown in a hydroponic system using conventional nutrient solution and treated domestic sewage, seeking savings in the use of fertilizers. The experiment was carried out in an agricultural greenhouse in an NFT hydroponic system (Nutrient Laminar Flow Technique) with three treatments: (TA) consisting of drinking water and chemical fertilizers, (TRA) reused water supplemented with chemical fertilizers and (TR) drinking water. reused. Each treatment consisted of four cultivation benches, a motor pump system, timer and 500 L container for storage of nutrient solution. In each bench, four hydroponic profiles with capacity for 12 plants were used, totaling 48 plants per bench and 192 per treatment. The benches were divided into four randomized blocks. The nutrient content of the reused water was compared to the conventional nutrient solution, the amount of nutrients used in the treatments, the microbiological quality of the fruits, the nutritional status of the plants and the quantitative and qualitative aspects of the fruits. The TR treatment showed a significant difference when compared to the others, with visual symptoms of nutritional deficiency in the plants, lower productivity, more acidic fruits and smaller diameter. The content of soluble solids was not altered by the treatments, as well as the microbiological quality of the fruits, which did not indicate the presence of *Escherichia coli*. The use of reused water to compose the nutrient solution made it possible to obtain savings of 33% in chemical fertilizers in the TRA treatment, compared to TA. The reused water when supplemented meets all the parameters of the strawberry culture, being equivalent to the cultivation with conventional nutrient solution.

Keywords: *Fragaria ananassa* x *dusch*, NFT, reused water, vegetables cultivation.

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1. Estufa agrícola com sistema hidropônico utilizado para condução do experimento.	17
Figura 2. Esquema das bancadas de cultivo.	18
Figura 3. Sistema de retorno da solução nutritiva.	19
Figura 4. Mudas em estágio de transplante.	20
Figura 5. Copo utilizado contendo a muda e o substrato fibra de coco.....	20
Figura 6. Esquema da estação de tratamento de esgoto.	21
Figura 7. Monitoramento do pH das soluções nutritivas dos tratamentos durante o desenvolvimento da cultura.	31
Figura 8. Plantas de morango dos diferentes tratamentos aos 71 DAT. (A) Tratamento cultivado com água potável e fertilizantes químicos TA; (B) Tratamento cultivado com água de reúso complementado com fertilizantes químicos TRA e (C) Tratamento cultivado somente com água de reúso TR.	32
Figura 9. Monitoramento da condutividade elétrica das soluções nutritivas dos tratamentos durante o desenvolvimento da cultura.	33
Figura 10. Plantas de morango dos diferentes tratamentos aos 120 DAT. (A) Tratamento cultivado com água potável e fertilizantes químicos TA; (B) Tratamento cultivado com água de reúso complementado com fertilizantes químicos TRA e (C) Tratamento cultivado somente com água de reúso.	35
Figura 11. Plantas do tratamento TR (direita) apresentando crescimento reduzido da parte aérea quando comparadas às plantas do TRA (esquerda).	40
Figura 12. Diferença visual entre os sistemas radiculares das plantas dos diferentes tratamentos. Sistema radicular de planta do TA (A); Sistema radicular de planta do TRA (B); Sistema radicular de planta do TR (C).	41
Figura 13. Sintomas iniciais de amarelecimento (A); Folhas com branqueamento (B); Folhas com clorose internerval (C).	42

INDÍCE DE TABELAS

Tabela 1. Diretrizes de qualidade microbiológica recomendadas pela OMS para reúso agrícola.	10
Tabela 2. Valores máximos de alguns parâmetros que devem ser atendidos pelas classificações 1 e 2 de águas doce, de acordo com a Resolução 375/05 CONAMA.	11
Tabela 3. Parâmetros da caracterização física, química e microbiológica do efluente doméstico após tratamento.	25
Tabela 4. Soluções nutritivas adaptadas de Furlani e Fernandes Junior (2004) para o cultivo do morangueiro.....	26
Tabela 5. Quantidade de sais utilizados em TRA quando comparados ao TA e porcentagem economizada.	34
Tabela 6. Análise de variância da produtividade média por planta de morango.....	35
Tabela 7. Massa fresca dos frutos de morango de cada tratamento (g planta ⁻¹) após 120 dias de cultivo.....	36
Tabela 8. Médias dos resultados de pH e sólidos solúveis dos frutos dos diferentes tratamentos.	37
Tabela 9. Diâmetro médio dos frutos de morango dos diferentes tratamentos.	38
Tabela 10. Resultados da análise química foliar dos tratamentos aos 30 e 60 dias após o transplante (DAT) e faixa de nutrientes recomendada por Passos e Trani (2013).....	39
Tabela 11. Resultados da análise microbiológica dos frutos de morango.....	44

SÚMARIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVO	3
3 REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 Reúso agrícola	4
3.2 Legislação sobre o reúso e qualidade da água para o cultivo de hortaliças.....	8
3.3 Sistemas hidropônicos e cultivo de morango	12
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1 Estrutura do experimento.....	17
4.2 Água de reúso	21
4.3 Análise da água de reúso	22
4.4 Solução nutritiva.....	24
4.5 Análise dos morangos.....	26
4.6 Análise estatística	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 Análise da água de reúso	29
5.2 Solução nutritiva.....	30
5.4 Análise quantitativa	35
5.5 Análise da qualidade dos frutos.....	36
5.5.1 pH e sólidos solúveis	36
5.5.2 Diâmetro dos frutos	38
5.6 Avaliação agronômica	39
5.6.1 Estado nutricional do cultivo.....	39
5.7 Análise microbiológica dos frutos de morango.....	43
6 CONCLUSÕES	45
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
APÊNDICES	56

1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) estima o aumento de 24 % da população mundial até o ano de 2050, a qual passará de 7,5 bilhões de pessoas em 2017 para 9,8 bilhões em 2050 (ONU, 2017).

Com o crescimento significativo da população mundial presume-se que a produção agrícola mundial precisará aumentar em 60 % para atender as necessidades e mudanças nos hábitos alimentares da população (CHAKRABORTY et al., 2017).

O aumento da produção agrícola implicará em maior consumo de nutrientes, estima-se que até o ano de 2025 o Brasil utilizará em suas lavouras 43,6 milhões de toneladas de fertilizantes, sendo que, nesse período a taxa de importação poderá corresponder a 76 % da demanda total (SIMÕES et al., 2018).

Ao tempo em que o país demonstra tamanha dependência de importação de fertilizantes, o mesmo gera 9,1 mil toneladas de esgotos por dia, ricos em nutrientes e 45 % deste total são despejados nos corpos hídricos sem nenhum tipo de tratamento (ANA, 2017). Segundo Kumwimba e Zhu (2017) a descarga de esgotos não tratados continua sendo uma das causas mais importantes do processo de eutrofização, que é um dos maiores entraves para a proteção dos recursos hídricos e biota aquática.

A distribuição irregular dos recursos hídricos associados a deterioração da qualidade dos mesmos, impulsiona a busca por fontes hídricas complementares e revela o reúso de águas como alternativa iminente (JARAMILLO e RESTREPO, 2017).

O emprego de esgotos domésticos tratados na irrigação constitui a forma mais comum de reúso agrícola e apresenta vantagens, pois, os esgotos domésticos são compostos por 99,93 % de água e contém nutrientes e matéria orgânica que são benéficos às plantas (MENDONÇA, 2018).

Além da busca por fontes hídricas complementares, é crescente a procura por sistemas de produção que permitam o uso eficiente da água. Para Santos et al. (2013) os sistemas hidropônicos apresentam potencial para tornar o uso da água mais eficiente.

Uma cultura que vem demonstrando tendência de migração do cultivo convencional para o cultivo hidropônico é a do morangueiro (*Fragaria ananassa* x *dusch*), essa migração justifica-se pela facilidade ergonômica que o sistema proporciona, por não apresentar necessidade de rotação da cultura e também por minimizar o uso de agrotóxicos (GONÇALVES et al., 2016; PAULUS et al., 2018).

No Brasil, a produção de morango está concentrada nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo e Minas Gerais, mas vem se expandindo entre outros estados e já alcançou a produção de 105 mil toneladas por ano. A cultura apresenta importância socioeconômica para o país, por estar situada em propriedades com base na agricultura familiar e contribuir com a geração de renda e emprego para as famílias (ANTUNES et al., 2016).

Diversas plantas de importância econômica podem ser cultivadas em sistemas hidropônicos utilizando água de reúso, a qual pode suprir de forma total ou parcial, o nitrogênio e fósforo necessários para seu desenvolvimento, assim, resultando na redução do uso de fertilizantes e no custo do tratamento de águas residuárias (RANA et al., 2011).

Christou et al. (2016) avaliaram a produção de morango irrigado com água de reúso através das técnicas de aspersão, gotejamento e gotejamento sob cobertura plástica, os autores constataram que todos os métodos de irrigação se mostraram eficientes e a utilização da água de reúso não interferiu de forma significativa nas características de comercialização dos frutos.

Compreende-se então que, pesquisas e estudos para viabilizar o uso de esgotos domésticos tratados na hidroponia surgem como uma necessidade para buscar informações e conhecimentos que validem a alternativa para utilizar esse efluente na agricultura, podendo obter como vantagens a diminuição de descargas de efluentes nos cursos d'água, a ciclagem dos nutrientes que não foram totalmente eliminados no processo de tratamento utilizado e também a mitigação adicional de riscos à saúde, ao minimizar o contato efluente-planta e a exposição humana.

2 OBJETIVO

Este estudo visou comparar a produção, qualidade e estado nutricional do morangueiro cultivado em sistema hidropônico utilizando solução nutritiva convencional e esgoto doméstico tratado, buscando economia no uso de fertilizantes.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Reúso agrícola

O ciclo hidrológico caracteriza a circulação da água entre a atmosfera e a superfície terrestre, o qual depende da energia solar para que ocorra. O sol faz com que parte da água da superfície terrestre evapore e integre a atmosfera, então, a umidade atmosférica precipita sob os oceanos e continentes (SOITO, 2019).

O Brasil possui cerca de 12 % da água doce disponível no mundo e mesmo com a maior disponibilidade hídrica mundial enfrenta problemas de escassez devido a distribuição irregular desse recurso. A região norte do país, por exemplo, detém cerca de 68 % da água disponível e a região sudeste que é a mais populosa possui apenas 6 % das reservas hídricas (ANA e CEBDS, 2009; RIBEIRO, 2018).

Segundo Whately e Campanili (2016), o entrave central da questão da água no Brasil e no mundo não está diretamente relacionada a disponibilidade da mesma, mas sim às formas de utilização, que vem acelerando a degradação desse recurso. Fatores como consumo excessivo, desperdício e poluição têm contribuído para o risco de expor vastas áreas do planeta ao estresse hídrico.

Desde 2010, a Agência Nacional das Águas (ANA) já apontava que muitos municípios brasileiros, no decorrer dos anos seguintes poderiam apresentar problemas de abastecimento hídrico, ocasionados pela baixa qualidade das águas disponíveis ou mesmo por escassez. Ainda segundo a ANA (2010), este cenário não reflete apenas na população, como também na agricultura, uma vez que o desafio deste setor é equilibrar a segurança hídrica, alimentar e energética.

Uma das maneiras de garantir a segurança alimentar é aumentando a área irrigada no Brasil e no mundo, o que acaba gerando também maior demanda pelo uso da água. Desta forma, compreende-se a necessidade da aplicação de técnicas mais eficientes para irrigação, de modo a garantir água suficiente e de qualidade para não comprometer o abastecimento urbano (ASSAD, 2016).

A região sudeste do Brasil enfrentou uma seca histórica no ano de 2014, os índices pluviométricos ficaram muito abaixo do esperado e os resultados dessa mudança climática, foram os danos socioeconômicos e ambientais enfrentados pela população. Os impactos desta crise hídrica resultaram na perda de aproximadamente US\$ 5 bilhões até

o ano de 2015, tornando-a o desastre natural mais caro de 2014 e refletindo prejuízos nos setores da indústria e agricultura (MARENGO et al., 2015).

O reúso da água, que consiste na utilização de água usada anteriormente para outras atividades humanas, pode ser uma ferramenta para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e promover economia de água, recursos sociais, econômicos e ambientais. O reúso não potável da água envolve o uso para fins recreativos, industriais, urbano e agrícola (FERREIRA et al., 2019).

As primeiras atividades envolvendo o reúso da água datam de 3.200 a 1.110 ac, onde as civilizações pré-históricas usavam águas residuais domésticas proveniente dos assentamentos urbanos para irrigação de cultivos agrícolas e embora considerada uma atividade antiga, o reúso da água nem sempre foi adequadamente gerenciado ou atendeu aos padrões de qualidade de acordo com a finalidade, resultando em um surto de epidemias de doenças veiculadas pela água, que ocorreram por volta do século 19 (JARAMILLO e RESTREPO, 2017).

A partir dos anos 90, o crescimento do setor agrícola e consequente aumento da demanda por água, fez com que várias partes do mundo se interessassem pela utilização de águas residuárias na agricultura (JARAMILLO e RESTREPO, 2017).

Países como Estados Unidos e Israel já reutilizam 8 e 1 milhões de m³ de água por dia respectivamente, sendo 80 % destinados à agricultura. Na Europa, existem aproximadamente 700 projetos de reúso de água na agricultura, estando-os principalmente na Espanha, França e Portugal. Enquanto no Brasil, o reúso agrícola iniciou por volta de 1980 de forma lenta, porém gradual, ocorrendo mais intensamente nos estados nordestinos e envolvendo agricultura familiar e alimentação animal (FERREIRA et al., 2019).

O reúso é uma estratégia importante para preservar a água potável e promover uma gestão eficiente dos recursos hídricos. Para tanto, se faz necessário a implantação de políticas públicas que possam fomentar o reúso da água no Brasil, uma vez que esta estratégia ainda é pouco explorada em âmbito doméstico, agrícola e industrial (SILVA et al., 2019).

A falta de regulamentação e monitoramento da qualidade das águas residuárias para fins agrícolas, tem contribuído para que o reúso aconteça de forma inconsciente e resulte na exposição das culturas à compostos orgânicos, metais pesados, patógenos e poluentes emergentes (fármacos) prejudiciais à saúde humana (FERREIRA et al., 2019).

Para fins de irrigação, a qualidade da água residuária deve ser avaliada através dos parâmetros de: salinidade, sodicidade, toxicidade, risco microbiológico e risco de entupimento aos emissores de irrigação. De acordo com Silva (2018) a alta salinidade é medida pelo excesso de sais (na água ou no solo) e pode ser estimada através da condutividade elétrica (EC). O aumento da concentração de sais no solo pode reduzir seu potencial de troca catiônica, fazendo com que a disponibilidade de água seja reduzida e resulte na diminuição do desenvolvimento das culturas. O aumento nos teores totais de sais e o teor de sódio em relação ao teor de cálcio e magnésio, podem favorecer a dispersão de partículas no solo e interferir na sua capacidade de infiltração de água.

A Razão de Adsorção de Sódio representa a proporção relativa de sódio em relação aos outros sais, mais especificamente, em relação ao cálcio e magnésio. Águas de irrigação que apresentam RAS elevada podem ocasionar o acúmulo de sódio no solo ao longo do tempo, favorecendo a dispersão de partículas (LESCH e SUAREZ, 2009).

Gonçalves et al. (2019) avaliaram a produção da cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado durante o período de dois anos. Os autores concluíram que, embora tenha sido possível obter até 100 % de economia nas aplicações de nitrogênio e fósforo, alterações nas concentrações de sódio no solo também foram observadas.

Quanto ao parâmetro de toxicidade da água de reúso, Silva (2018) pontua que pode ser caracterizado pela presença de íons específicos. Os íons mais comumente observados em águas residuárias são sódio, cloreto e boro, estes, podem ser absorvidos pelas plantas e acumular nos tecidos em quantidades prejudiciais ao desenvolvimento de culturas mais sensíveis.

Considerando o risco sanitário da utilização de águas residuárias, que podem conter altas concentrações de patógenos como vírus, parasitas e bactérias, a Organização Mundial da Saúde (OMS) lançou em 1973 as Diretrizes para o uso seguro de águas residuais, excrementos e águas cinzentas, aplicadas à agricultura. Através dessas diretrizes, definem-se os critérios de tratamento e as concentrações máximas permitidas de patógenos em função do tipo de cultura e a técnica de irrigação a ser empregada (WHO, 2006).

Avaliar a qualidade da água para reúso na agricultura é importante também para garantir maior eficiência ao sistema de irrigação. Estabelecidos os padrões de qualidade da água é possível determinar os equipamentos de irrigação mais adequados para cada tipo de água residuária, uma vez que, esta pode conter agentes físicos, químicos e/ou biológicos com potencial para entupimento de emissores (SILVA, 2018).

Diferentes técnicas de combinações para tratamento de águas residuárias têm sido empregadas para minimizar os riscos da utilização dessas águas em cultivos agrícolas e garantir o maior aproveitamento dos benefícios da mesma, conforme propõe a norma NBR nº 13696 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Cuba et al. (2015), avaliaram a possibilidade de economia de fertilizantes químicos através da aplicação de água de reúso para compor a solução nutritiva utilizada no cultivo hidropônico de alface. A água de reúso utilizada no experimento foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus Araras – SP. A estação recebia o esgoto dos banheiros e restaurante universitário e o tratamento se dava a partir de um tanque séptico, uma lagoa de microalgas e uma unidade *Wetlands*, também conhecido como Sistemas Alagados Construídos (SAC). Os autores constataram economia de 11 % de nitrato de cálcio, 44 % de sulfato de magnésio, 49 % de cloreto de potássio e 11 % de fosfato monoamônico.

Com o objetivo de aprimorar a qualidade da água de reúso da ETE/CCA/UFSCar, Oliveira et al. (2019) realizaram adaptações no sistema de tratamento. Buscando proporcionar maior aporte de nutrientes e segurança sanitária para aplicação do efluente na agricultura, os autores experimentaram remover a unidade de tratamento com tanque de microalgas e após a saída da unidade *Wetlands* adicionaram o tratamento ultravioleta, que visou reduzir a carga patogênica do efluente. Os autores observaram maior aporte de nutrientes e redução da carga de coliformes totais e termotolerantes.

Atualmente, muito tem se discutido sobre o tratamento terciário de efluentes e há casos em que, embora os sistemas de tratamento ultravioleta apresentem alta eficácia, sua combinação com o uso de desinfetantes químicos pode ampliar ainda mais a faixa de inativação de microrganismos. Neste intuito, Medeiros e Daniel (2015) avaliaram a capacidade de inativação de microrganismos através da aplicação de cloro seguido de radiação UV. Os autores concluíram que o efeito desse tratamento se mostrou eficiente contra patógenos como a *Giardia spp* e *Clostridium perfringens*, que apresentavam resistência aos tratamentos quando aplicados separadamente.

Ainda que, apontada como uma forma de reciclagem da água e nutrientes, a utilização indiscriminada e não criteriosa dos esgotos tratados na agricultura, pode resultar em danos ao homem e meio ambiente. No intuito de anular estes danos é necessário compatibilizar as taxas de aplicação do efluente com suas características,

considerando os atributos do solo e as condições climáticas de onde será aplicado, além do tipo de cultura e o sistema de irrigação (SANTOS et al., 2015).

Segundo Carvalho et al. (2013) através de um planejamento eficiente e a implantação de políticas bem definidas, a prática do reúso agrícola tem potencial para transformar a problemática poluidora e agressiva dos esgotos domésticos em um recurso de cunho econômico. Os autores ressaltam ainda que o desenvolvimento da prática em acordo com os princípios técnicos adequados pode torna-la economicamente viável, ambientalmente sustentável e socialmente segura e aceita.

3.2 Legislação sobre o reúso e qualidade da água para o cultivo de hortaliças

Segundo a resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH o reúso é definido como a utilização de água residuária ou de qualidade inferior tratada ou não e prevê ainda, que o reúso da água constitui uma prática de racionalização e conservação dos recursos hídricos, uma vez que reduz a carga de poluentes em corpos receptores, conservando a qualidade destes recursos para que possam atender aos usos mais exigentes, como o abastecimento público. Permitindo a redução dos custos associados à poluição e contribuindo para a proteção ambiental e promoção da saúde pública. Esta mesma resolução, também caracteriza o reúso através de suas formas de utilização, em reúso direto e indireto.

O reúso direto 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 reúso indireto pode ser caracterizado pela utilização da água após diluição em rios ou aquíferos.

O artigo 3º da resolução 54/2005 – CNRH define as modalidades para o reúso direto não potável, sendo elas: I) reúso para fins urbanos – irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio dentro da área urbana; II) reúso para fins agrícolas e florestais – aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas; III) reúso para fins ambientais – utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente; IV) reúso para fins industriais – utilização de água de reúso em processos, atividade e operações industriais; V) reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos (CNRH, 2006).

A resolução nº 375 de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), busca estabelecer critérios e procedimentos para o uso de lodo de esgoto e produtos derivados em áreas agrícolas, com o intuito de promover benefícios à agricultura e mitigar riscos à saúde pública e ambiente. De acordo com a mesma resolução, o potencial agronômico do lodo de esgoto ou produto derivado deve ser avaliado pelos seguintes parâmetros: carbono orgânico, fosforo total, nitrogênio Kjeldahl, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato/nitrito, pH em água (1:10), potássio total, sódio total, enxofre total, cálcio total, magnésio total, umidade e sólidos voláteis e totais (CONAMA, 2006).

Após 5 anos do estabelecimento da resolução CNRH n.º 54 de 28 de novembro 2005, o mesmo órgão lançou a resolução n.º 121 de 16 de dezembro de 2010, que estabelece diretrizes e critérios para o reúso não potável da água na modalidade agrícola e florestal. Segundo esta resolução, a prática do reúso não pode representar riscos ou causar danos ambientais e a saúde pública. Destaca-se ainda a preocupação com o solo, onde preconiza-se que as concentrações de elementos e substâncias no solo, para todos os tipos de reúso agrícola e florestal são os valores de prevenção que constam na legislação pertinente e que o monitoramento periódico do solo que recebe água de reúso serão realizados de acordo com critérios definidos pelo órgão ou entidade competente (BRASIL, 2010).

Considerando a presença de patógenos de origem gastrointestinais que podem ser encontrados nos esgotos domésticos a Organização Mundial da Saúde (1989) estabeleceu valores máximos permitidos de patógenos em função do tipo de cultura a ser irrigada por água de reúso (Tabela 1).

Tabela 1. Diretrizes de qualidade microbiológica recomendadas pela OMS para reúso agrícola.

Categoria	Condições de Reuso	Grupo de Exposição	Nematoídes ^a intestinais (N ^o médio aritmético de ovos por litro)	CF (Média geométrica - NMP 100 mL ⁻¹)
A	Irrigação de culturas cruas, campos de esporte (gramado), parques	Trabalhadores, consumidores, Público.	≤ 1	≤ 1000
B	Irrigação de culturas de cereais, industriais, forragem, pastagens ou árvores ^b .	Trabalhadores	≤ 1	Nenhum padrão recomendado
C	Irrigação localizada de culturas da categoria B se não ocorrer exposição aos trabalhadores e público.	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável

Fonte: Ayres e Mara (1996, p.5)

CF = Coliformes termotolerantes; NMP = Número mais provável

^a *Ascaris*, *Trichiuris* e *Ancylostoma* Espécies.

^b No caso das árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes da colheita da fruta e nenhuma fruta deve ser retirada do chão. A irrigação por aspersão Sprinkler não deve ser utilizada.

A CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, lançou em 2006 a Instrução Técnica n° 32, que visa controlar o reúso da água através de procedimentos e critérios mínimos. De acordo com essa Instrução Técnica, o efluente que apresentar condutibilidade elétrica entre 0,75 e 2,9 dS m⁻¹ só deve ser aplicado em solos com boa capacidade de drenagem e cultivos com maior resistência a salinidade. Fica estabelecido ainda, que a aplicação da água de reúso é destinada apenas a campos esportivos, parques públicos, irrigação de cereais, culturas a serem industrializadas, silvicultura, frutíferas, forragens para feno e silagem, sendo completamente vetada a utilização de água de reúso para o cultivo de hortaliças (CETESB, 2006).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução n° 357/2005, estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas em todo território nacional e considerando os usos preponderantes da água essa resolução enquadra os corpos hídricos em 13 classes, que visam diferentes usos e equilíbrio dos sistemas, bem como padrões de potabilidade e lançamento de efluentes.

De acordo com essa resolução, a água destinada a irrigação de hortaliças consumidas cruas, ou de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam consumidas cruas e sem remoção de película, deve se enquadrar na Classe 1 de águas doce, a qual requer altos padrões de qualidade. Alguns dos parâmetros mais relevantes exigidos nessa classificação estão descritos na Tabela 2 (CONAMA, 2005).

Tabela 2. Valores máximos de alguns parâmetros que devem ser atendidos pelas classificações 1 e 2 de águas doce, de acordo com a Resolução 375/05 CONAMA.

Parâmetros	Classe 1
COT (mg L ⁻¹)	3,0
OD (mg L ⁻¹)	6,0
Turbidez (NTU)	40,0
Fósforo total ¹ (mg L ⁻¹)	0,1
Coliformes termotolerantes NMP ² 100 mL ⁻¹	200

¹Valor máximo estabelecido para ambiente lótico ou intermediário; ²Número mais provável.

A legislação brasileira no que diz respeito ao reúso de águas para fins agrícolas, ainda se encontra em fase de desenvolvimento. Em decorrência deste fato, é comum consultar e comparar legislações de outros países com a realidade brasileira, o que não é

ideal, considerando que cada país possui suas individualidades envolvendo condições climáticas, sanitárias, tipos de solos, produções agrícolas e tantos outros fatores importantes para estabelecer o reúso seguro de efluentes na agricultura.

3.3 Sistemas hidropônicos e cultivo de morango

O termo hidroponia tem origem grega e é derivado das palavras: *hydro*, que significa água e *ponos*, que significa trabalho. Desta forma a junção destas duas palavras significa “trabalhar com água” e de forma implícita se refere ao uso de soluções de adubos químicos para cultivar plantas sem solo.

Segundo Douglas (2003) estima-se que a jardinagem sem terra tenha iniciado a três séculos atrás, quando John Woodward, membro da sociedade Real da Inglaterra iniciou seus estudos com o intuito de descobrir de que forma as plantas captavam os nutrientes dos quais necessitavam. Utilizando a cultura em água ele buscava determinar se era a água ou as partículas sólidas do solo que forneciam nutrientes as plantas. Os estudos de Woodward não foram promissores, acredita-se que devido à falta de equipamentos adequados.

Em 1965, a hidroponia foi revolucionada pelo inglês Allen Cooper, que criou uma nova técnica à fim de viabilizar a hidroponia em escalas comerciais através do NFT (Nutrient Film Technique), em português técnica do filme de nutrientes ou técnica do fluxo de nutrientes (MARTINEZ, 2006).

Dentre as vantagens do cultivo hidropônico, Egídio e Levy (2013) destacam maior produção, redução no ciclo das culturas, racionamento e melhor utilização da água e nutrientes, pois, reconhecendo as necessidades nutricionais das plantas é possível fornecer melhores condições ao cultivo, compreendendo maior eficiência da nutrição mineral e obtendo a máxima produtividade da espécie ou variedade. Além do mais, o fato dos sistemas hidropônicos estarem relacionados ao cultivo protegido ou casas de vegetação, faz com que ocorra menor perda de água por evaporação e torna nula as perdas por lixiviação (EGÍDIO e LEVY, 2013).

Os sistemas de cultivo hidropônico têm apresentado potencial para a utilização de águas residuárias, nesta técnica apenas o sistema radicular das plantas fica em contato direto com a água, diminuindo os riscos de contaminação microbiológica da cultura e garantindo maior segurança aos trabalhadores e consumidores (CUBA et al., 2015).

Diversos autores, como Osem et al. (2007) e Gebeyehu et al. (2018) já estudam projetos pilotos para o uso de sistemas hidropônicos no tratamento e utilização de águas residuárias. Segundo Magwaza et al. (2019) neste tipo de tratamento, a remoção dos nutrientes presentes nas águas residuárias acontece de forma semelhante ao que ocorre nas unidades “*wetlands*” ou sistemas alagados construídos, porém, ao invés de cultivadas macrófitas, opta-se por culturas de interesse e importância econômica.

Alves et al. (2019) ressaltam que, uma solução ambientalmente e sanitariamente viável para a destinação de águas residuárias é sua utilização em sistemas de cultivo hidropônico.

Segundo Ottoson et al. (2005) esses sistemas possibilitam a redução da carga patogênica em efluentes devido ao longo período de detenção hidráulica, que é ocasionado pela circulação da água em sistema fechado e facilita a adsorção dos microrganismos nas raízes das plantas.

Magwaza et al. (2019) também relatam que os sistemas hidropônicos podem reduzir de 60 a 87 % da carga patogênica presente em águas residuárias. Segundo os autores, o processo de remoção envolve vários mecanismos, entre eles o de antibiose, em que, os microrganismos presentes no sistema radicular das plantas interagem com os microrganismos patogênicos e assim reduzindo sua população.

De uma forma geral, todas as plantas podem ser cultivadas em sistemas hidropônicos, mas do ponto de vista econômico e agrônomo as espécies mais aptas são as de pequeno porte, que englobam hortaliças, plantas condimentares, medicinais, ornamentais e forrageiras (EGÍDIO e LEVY, 2013).

Dentre as hortaliças cultivadas no Brasil, pode-se citar o morango (*Fragaria x ananassa* Duch), uma angiosperma dicotiledônea que pertence à família *Rosaceae*, é uma planta herbácea, rastejante e que apesar de perene é cultivado de forma anual (FILGUEIRA, 2003).

Segundo Calvete et al. (2016), a produção do morangueiro fora do solo, em sistemas hidropônicos ou com substrato se intensificou devido aos problemas de origem fitossanitários associados ao uso intensivo de produtos químicos necessários no cultivo convencional (no solo) que causam contaminação ao produtor, consumidor e meio ambiente.

Dentre as características fisiológicas do morangueiro cita-se seu sistema radicular, que é fasciculado e superficial, as raízes se dividem em primárias e secundárias,

concentrando-se aproximadamente nos 20 primeiros centímetros do solo (TIMM et al., 2009).

As raízes primárias são grandes, perenes e tem função de armazenar reservas de amido, porém, contribuem também na absorção de água e nutrientes, já as raízes secundárias são organizadas em camadas superpostas, em que as mais novas se sobrepõem as mais velhas (PIRES et al., 2000).

Durante o ciclo do morangueiro suas raízes renovam-se constantemente, este mecanismo de reposição radicular é de grande importância para sua sobrevivência e existem uma gama de fatores que influenciam diretamente sua ocorrência, sendo estes a disponibilidade de água, aeração, ocorrência de patógenos e translocação de fotoassimilados (RONQUE, 1998).

Sobressaindo do solo, o morangueiro forma um agregado de rizomas que contém em cima uma roseta de folhas e um gomo foliar central que dão origem às ramificações, conhecida como coroa. Os rizomas são caules estolhosos, de formato cilíndrico e retorcido, suas gemas terminais originam as folhas compostas, os estolhos ou as inflorescências, dependendo de sua idade fisiológica, fotoperíodo ou temperatura ambiental. (RONQUE, 1998). Estes dois últimos fatores, têm influência direta sob a atividade vegetativa do morango, que compreende o processo de florescimento e emergência de novas folhas (TIMM et al., 2009).

As folhas podem variar em forma, textura, espessura e pilosidade de acordo com a espécie cultivada, mas de forma geral são constituídas por um pecíolo longo e três folíolos, a coloração do limbo tende a variar entre verde escuro a verde claro, podendo ser brilhante ou opaca (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2006). Os folíolos possuem estruturas dentadas e elevado número de estômatos (de 300 a 400 por m² de folhas), devido a esse fator, em dias de verão, uma planta com 10 folhas chega a transpirar até ½ de água por dia.

O número de folhas e área foliar do morangueiro estão diretamente relacionados a produtividade e fatores ambientais ou incidência de patógenos que tragam condições adversas à cultura, irão impactar de forma negativa a produção de frutos (RONQUE, 1998).

A multiplicação do morangueiro ocorre durante a fase vegetativa através da emissão de estolhões, que são estruturas longilíneas, providas de meristemas de crescimento nas extremidades, estas estruturas darão origem a outras plantas por processo

de sucessão, porém, até que o sistema radicular das novas plantas estejam desenvolvidos, a absorção de água e nutrientes ainda depende da planta matriz (GIMÉNEZ, 2008).

Promover a retirada dos estolhões faz parte dos tratos culturais realizados pelo produtor, desta forma é possível que a planta cresça mais fechada facilitando a ramificação do caule, o aumento da área foliar, melhora da fotossíntese e evitando o gasto desnecessário de energia pela planta. A intensificação na produção de estolhões na maioria das cultivares, tende a ocorrer quando os dias possuem mais de 12 horas e temperaturas entre 22 e 24 °C (RONQUE, 1998).

O florescimento do morangueiro pontua a fase reprodutiva do mesmo, em que ocorre a diferenciação do meristema vegetativo para o floral, dando origem as estruturas constituintes da flor (pétalas, estames e pistilo) (DUARTE FILHO et al., 1999). As flores por sua vez se agrupam formando inflorescências do tipo cimeira, ou seja, após a abertura da primeira flor os botões laterais também começam a abrir um a um (SILVA et al., 2007).

Quanto á polinização, 80 % da mesma é realizada por insetos e de forma cruzada, fatores como umidade relativa e temperatura são importantes para que este processo ocorra de forma eficiente. A faixa ideal para umidade relativa é em torno de 80 % e temperatura em torno de 15°C. Da polinização até o fruto maduro podem demorar de 20 a 50 dias, dependendo da cultivar, temperatura do ambiente, qualidade e viabilidade do pólen (RONQUE, 1998).

A parte comestível do morango consiste em um pseudofruto, constituído por um receptáculo carnoso e suculento que apresenta coloração vermelho intenso. Já os verdadeiros frutos são estruturas de coloração escura que se encontram presas ao receptáculo, estas estruturas são denominadas aquênios e nelas se encontram as sementes (FILGUEIRA, 2003).

O processo de maturação dos pseudofrutos do morangueiro engloba um conjunto de mudanças físico-químicas e fisiológicas que são características de cada espécie e que irão definir os atributos sensoriais do fruto. Entre os fatores que indicam a qualidade desses atributos estão: aparência (tamanho, forma e cor), sabor, textura, aroma e ausência de defeitos. O sabor é o atributo de maior importância e exigência dos consumidores, suas características são em partes condicionadas pelo balanço açúcar/acidez da fruta, os quais podem ser determinados através dos sólidos solúveis (°Brix) e pH (CANTILLANO, 2016).

Segundo Fernandes Junior e Furlani (2002) as características sensoriais dos frutos de morango podem apresentar variações de acordo o tipo de cultivo, no solo ou em ambiente protegido.

Observa-se que as cultivares plantadas atualmente em ambiente protegido apresentam entre 8 e 9° Brix, enquanto o pH varia de 2,70 a 3,05, sendo estes mais ácidos que os frutos cultivados no solo em sistema convencional, os quais apresentam média de pH de 5,3. (CALVETE et al., 2016).

O cultivo do morangueiro fora do solo vem sendo uma solução para os problemas de origem fitossanitários e atualmente, com os conhecimentos adquiridos sobre os impactos do descarte de nutrientes no ambiente, o cultivo hidropônico em sistemas fechados, que não há drenagem de solução nutritiva, vem se mostrando uma tendência para os produtores, uma vez que além de contribuir para a preservação ambiental ainda promove economia para o produtor, por possibilitar a reutilização dos nutrientes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Estrutura do experimento

O experimento foi conduzido no Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental (DRNPA) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), localizado no município de Araras – SP (latitude 22° 18' 53, 23'' Sul e longitude 47° 23' 00, 91'' Oeste).

A caracterização climática da região, de acordo com a classificação de Koppen é do tipo “Cwa”, onde se tem duas estações bem definidas. Sendo uma seca no período de abril a setembro e outra chuvosa de outubro a março, com precipitação média anual de 1300 mm (URBANO et al., 2017)

Para o cultivo hidropônico, o sistema adotado foi o NFT (Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes) em estufa agrícola (Figura 1), desenvolvida em estrutura metálica do tipo teto em arco, coberta por polietileno transparente e fechada nas laterais por tela do tipo sombrite. As dimensões da estufa eram de 20 metros de comprimento, 6,40 metros de largura e 3 metros de altura. A estrutura interna foi composta por doze bancadas de cultivo de 3 metros de comprimento cada uma.

Figura 1. Estufa agrícola com sistema hidropônico utilizado para condução do experimento.



Fonte: Arquivo próprio.

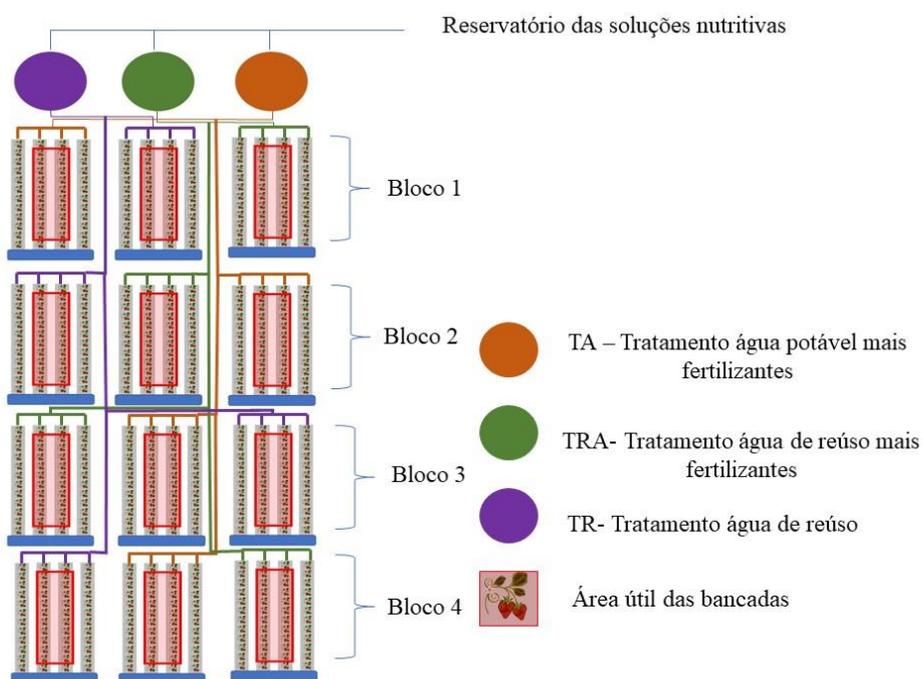
Cada bancada foi composta por quatro perfis hidropônicos de material polipropileno (75 mm), os perfis correspondiam à canaletas com abertura nas duas

extremidades para permitir o fluxo da solução nutritiva. Na parte superior das canaletas também existiam orifícios onde foram colocadas as plantas para que através de seu sistema radicular fosse possível absorver os nutrientes presentes na solução nutritiva.

O espaçamento adotado nos perfis hidropônicos foi de 0,30 metros entre perfis, 0,25 metros entre plantas e 0,70 metros por bancada.

Desta forma, o tamanho amostral foi de 12 plantas por perfil, que somaram 48 plantas por bancada e 576 ao todo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições e três tratamentos (Figura 2): (TA) água potável e fertilizantes químicos correspondendo à solução nutritiva adaptada de Furlani e Fernandes Junior (2004); (TRA) água de reúso e fertilizantes químicos, onde após análise química da água a mesma foi complementada com fertilizantes até atingir a concentração adotada em TA e; (TR) apenas água de reúso, a qual também passou por análise química.

Figura 2. Esquema das bancadas de cultivo.



Fonte: Adaptado de Cuba et al. (2015).

Cada tratamento contou com reservatório com capacidade de 500 L para armazenamento da solução nutritiva, sistema de retorno e aeração da solução nutritiva (Figura 3) e sistema de bombeamento.

O funcionamento do sistema se deu através de painel temporizador, que acionava o conjunto moto bomba para fornecer a solução em intervalos regulares, permanecendo fluxo intermitente de 15 minutos ligados e 15 desligados durante o dia e 15 minutos ligados e 45 desligados no período noturno (MARTINEZ e SILVA FILHO, 2004).

A solução nutritiva era lançada até a parte mais alta dos perfis hidropônicos das bancadas e o retorno aos reservatórios escoava por gravidade, uma vez que as bancadas possuíam 10 % de declividade. A vazão utilizada para manter a circulação da solução nos perfis hidropônicos foi de 1,5 L min⁻¹, conforme propôs Martinez e Silva Filho (2004).

O sistema aerador da solução nutritiva foi feito utilizando o próprio tubo de retorno da solução, composto por um tubo de PVC de 32 mm de diâmetro, 40 cm de comprimento e furos de 0,6 a 0,8 cm (Figura 3) (CUBA, 2015).

Figura 3. Sistema de retorno da solução nutritiva.



Fonte: Arquivo próprio.

O experimento teve início no dia 15 de fevereiro de 2019 e foi finalizado em 15 de junho de 2019. As mudas foram adquiridas de um produtor da região de Pouso Alegre – MG e se encontravam em bandejas com torrões prontas para o plantio no sistema hidropônico, apresentando aproximadamente 12 centímetros de parte aérea (Figura 4). A variedade de morango cultivada foi a PRA Estiva, de dias neutros e origem nacional.

Figura 4. Mudas em estágio de transplante.



Fonte: Arquivo próprio.

Para dar sustentação e fixação às mudas, as mesmas foram adicionadas em copos descartáveis de 180 mL com furos no fundo e entorno (Figura 5) para permitir contato com a solução nutritiva, após adição das mudas os copos foram completados com fibra de coco do fabricante Amafibra¹ Golden Mix tipo misto 98, sem granulometria específica.

Figura 5. Copo utilizado contendo a muda e o substrato fibra de coco.



Fonte: Arquivo próprio.

¹ Referências à marca registrada não constitui endosso por parte dos autores.

As características da fibra incluem 0,9 mS/cm de condutividade elétrica, porosidade total de 95 % e capacidade de retenção de 400 mL de água por litro de substrato, com peso de 150 quilos por m³.

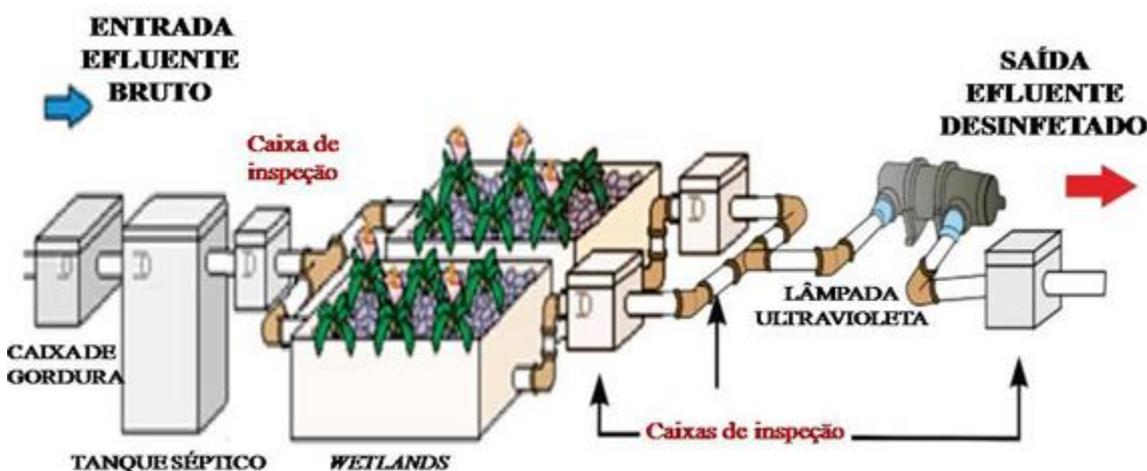
4.2 Água de reúso

A água de reúso utilizada nos tratamentos TRA e TR foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) piloto do CCA – UFSCar, a qual está localizada ao lado da casa de vegetação.

Essa ETE, segundo Oliveira et al. (2019) foi projetada para receber o efluente sanitário do prédio central e do restaurante universitário, tendo capacidade para tratar 2000 L de esgoto por dia, com período de detenção hidráulica que varia de 22 a 48 h, dependendo do fluxo de atividades no campus.

No intuito de disponibilizar um efluente final de interesse e potencial agrícola, a ETE foi estruturada em quatro unidades (Figura 6):

Figura 6. Esquema da estação de tratamento de esgoto.



Fonte: Garay e Souza (2015).

Caixa de gordura: a qual corresponde ao tratamento preliminar e tem como função a separação de materiais grosseiros, esta unidade foi projetada em material PVC e possui capacidade de 24 L.

Tanque Séptico: consisti no tratamento primário e atende as especificações da norma NBR 7.229/93 (ABNT, 1993), tendo 1,723 m de diâmetro e 2,57 m de altura e volume igual a 5,0 m³, sua função é a sedimentação dos sólidos e posterior digestão por bactérias anaeróbias.

Wetlands: conhecido como “sistema alagado construído (SAC)”, esta unidade é dividida em dois tanques com dimensões de 1,64 m de diâmetro e 0,44 m de altura, os tanques são preenchidos com pedras britas e cultivado a planta *Cyperus alternifolius*, de nome popular Mini papiro, que segundo Cuba et al. (2015) é uma planta ornamental e adaptada à ambientes saturados, na ETE contribui para o polimento final do esgoto e diminuição indireta da carga patogênica.

Sistema ultravioleta: visou à desinfecção física do efluente e correspondeu ao tratamento terciário. O sistema foi composto por uma Lâmpada UV, da marca PHILIPS¹ modelo 75W - TUV 75W HO T8, que foi envolta por um tubo de PVC para permitir a entrada e saída do efluente. Dentro do tubo de PVC foi colocado um tubo de quartzo para evitar o contato direto da lâmpada com efluente. A luz é emitida em banda UV – C 25,5 W, com potência de 75 W e vida útil de até 9000h.

Neste experimento o tempo de contato para desinfecção é indeterminado, pois a Estação está interligada em fluxo contínuo, não sendo possível que o efluente fique estagnado no interior do sistema.

Após todas as etapas do tratamento o esgoto foi armazenado em um tanque equalizador com capacidade para 2500 L e a partir deste tanque foi utilizado no experimento.

Vale ressaltar que todas as unidades da estação de tratamento são compostas de material impermeabilizante (polietileno), no intuito de evitar possíveis contaminações do solo e lençol freático, a Figura 6 ilustra o esquema da ETE.

4.3 Análise da água de reúso

As análises físico-químicas da água de reúso foram realizadas antes de cada preparo da solução nutritiva, totalizando 5 análises, no intuito de caracterizar a qualidade da água e quantificar os nutrientes presentes, para efetuar o cálculo da quantidade de nutrientes que seria necessário ser adicionado no tratamento TRA.

A análise microbiológica foi realizada apenas uma vez, visto que, as características microbiológicas não interferem na adição de nutrientes.

Para cada análise baseada na metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), foi coletada uma amostra de água no tanque equalizador, após o tratamento ultravioleta, utilizando recipiente limpo e esterilizado de 0,5 L.

As análises dos parâmetros foram feitas em triplicatas e sem frequência definida, uma vez que a troca da solução nutritiva variava em função da demanda da cultura. Os parâmetros avaliados envolveram: pH, turbidez, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), potássio (K), cálcio (Ca), sódio (Na), magnésio (Mg), coliformes totais e termotolerantes.

Para determinação do pH, turbidez, CE e OD foram utilizados equipamentos de bancada. O COT foi quantificado no analisador TOC-LCPN SHIMADZU¹ por meio de oxidação catalítica térmica, depois de filtragem à vácuo e Papel Filtrante Qualy¹ de 12,5cm de diâmetro, gramatura de 80 g m² e poros de 14 µm da J.Prolab¹ (OLIVEIRA, 2018).

Nitrogênio total, fósforo total, cálcio e magnésio foram quantificados em espectrofotômetro de bancada modelo Íris-HI801 UV-vis do fabricante HANNA¹. A quantificação do nitrogênio total ocorreu através do método do ácido cromotrópico e leitura a 420 nm, fósforo total pelo método de ácido vanadomolibdofosfórico e leitura a 420 nm, cálcio através de adaptação do método de oxalato e leitura a 466 nm, magnésio através de adaptação do método de calmagite e leitura a 466 nm.

Sódio e potássio foram quantificados após filtragem, utilizando fotômetro de chama Digimed¹, modelo DM-62, o método baseou-se na conversão das amostras líquidas em gases, decomposição dos átomos e moléculas e excitação elétrica das moléculas restantes (OLIVEIRA, 2018).

A Razão de adsorção de sódio (RAS) foi definida pela raiz quadrada da proporção de sódio (Na) para cálcio (Ca) mais magnésio (Mg), expressa na Equação 1 (LESCH e SUAREZ, 2009).

[1]

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{Ca + Mg}}$$

em que:

RAS = Razão de Adsorção de Sódio (mmol_c L⁻¹)^{1/2};

Na = concentração de Sódio (mmol_c L⁻¹);

Ca = concentração de Cálcio (mmol_c L⁻¹);

Mg = concentração de Magnésio (mmol_c L⁻¹).

Para análise microbiológica utilizou-se método enzimático quantitativo (sistema Colilert da IDEXX¹). Este sistema detecta a presença simultânea de organismos do grupo

Coliformes e termotolerantes, as análises são 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 destes microrganismos, o teste baseia-se na técnica do substrato definido, onde o substrato nitrofenil- β -D-galactopiranosídeo é degradado pela enzima β -D-galactosidase que é produzida por bactérias do grupo Coliformes totais, e como resultado produz o nitrofenol, substância de cor amarela que pode ser visualizada a olho nu e indica positivo para coliformes.

Enquanto para termotolerantes (*E. coli.*), o teste possui o substrato β -D glucuronídeo, que é degradado pela enzima β -glucuronidase produzida apenas por bactérias desse grupo e resultando no 4-metil-umbeliferona, substância de coloração amarelo fluorescente que indica positivo para termotolerantes e só pode ser visualizada em câmara ultravioleta e comprimento de onda de 254 nm. Para a quantificação utilizou-se a cartela Quanti-tray, onde após selagem e incubação a 35 °C por período de 24 horas realizou-se a contagem dos cubos grandes e pequenos (amarelos para coliformes e amarelo fluorescente para termotolerantes) (IDEXX, 2018).

O preparo da amostra para análise microbiológica foi realizado coletando-se em frasco esterilizado 100 mL do efluente tratado após a passagem pela lâmpada ultravioleta, a amostra foi imediatamente encaminhada ao laboratório e diluiu-se 10 mL do efluente em 90 mL de água Mili-q autoclavada (120°C), desta forma totalizando 100 mL de amostra. O substrato cromogênico foi adicionado e homogeneizado com cautela até ser totalmente dissolvido. A amostra com o substrato foi colocada nas cartelas compostas por 49 poços grandes e 48 pequenos, seguiu para selagem térmica e incubação por período de 24 horas em temperatura de 35 °C. Para obtenção dos resultados em Número Mais Provável (NMP) realizou-se a contagem dos poços grandes e pequenos e consulta a tabela que acompanha o próprio kit Colilert (OLIVEIRA, 2018).

4.4 Solução nutritiva

O preparo das soluções nutritivas utilizadas nos tratamentos TA e TRA ocorreram com base na adaptação da formulação recomendada por Furlani e Fernandes Junior (2004) para a cultura do morangueiro em sistema hidropônico. Sendo que a solução variou em função da fase vegetativa de crescimento e fase de frutificação do morango.

A adição dos fertilizantes no TRA ocorreu de acordo com a análise química da água de reúso, descontando-se os teores de nutrientes já presentes no efluente tratado

(Tabela 3) e adequando a solução a mesma concentração de TA. A formação de precipitados foi evitada com a diluição prévia de cada fertilizante em um balde antes de serem adicionados aos reservatórios.

Tabela 3. Parâmetros da caracterização física, química e microbiológica do efluente doméstico após tratamento.

Parâmetro	Resultado
pH	7,05 ± 0,57
CE (dS m ⁻¹)	0,46 ± 0,18
COT (mg L ⁻¹)	29,45 ± 15,17
OD (mg L ⁻¹)	1,28 ± 0,13
Turbidez (NTU)	9,3 ± 2,40
NT (mg L ⁻¹)	13,66 ± 5,31
PT (mg L ⁻¹)	0,24 ± 0,35
K (mg L ⁻¹)	20,62 ± 18,67
Ca (mg L ⁻¹)	37,8 ± 7,46
Mg (mg L ⁻¹)	10,12 ± 4,19
Na (mg L ⁻¹)	32,74 ± 12,58
RAS (mmolc L ⁻¹)	1,26 ± 0,54
Coliformes totais* (NMP ² 100 mL ⁻¹)	1,7 x 10 ³
<i>Escherichia coli</i> * (NMP ² 100 mL ⁻¹)	17

CE: condutividade elétrica; COT: carbono orgânico total; OD: oxigênio dissolvido; NT: nitrogênio total; PT: fósforo total; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Na: sódio; RAS: Razão de adsorção de sódio; ²Número mais provável; * Não há desvio padrão para este parâmetro.

Fonte: Dados da pesquisa.

No intuito de manter as condições ideais para o desenvolvimento das plantas, a condutividade elétrica (CE) das soluções nutritivas foi monitorada e mantida entre 1,3 e 1,5 dS m⁻¹, o pH foi apenas monitorado. Sempre que a CE das soluções desviava 20 % do valor inicial efetuou-se correção, adicionando água ou nutrientes, e ao atingir valores abaixo de 1,3 dS m⁻¹ realizou-se a substituição completa da solução nutritiva (FERNANDES JUNIOR et al., 2002).

O cultivo iniciou com a solução para fase vegetativa (Tabela 4) no dia do transplantio e a partir dos 29 dias após o transplantio (DAT) ocorreu a substituição da solução para fase de frutificação (Tabela 5). Em sequência as trocas das soluções nutritivas ocorrem aos 53, 76 e 104 DAT.

Tabela 4. Soluções nutritivas adaptadas de Furlani e Fernandes Junior (2004) para o cultivo do morangueiro.

Fertilizante	Fase vegetativa Concentração (g m ³)	Fase de frutificação Concentração (g m ³)
Nitrato de cálcio	600	550
Nitrato de potássio	200	200
Fosfato monoamônico	50	0
Fosfato monopotássico	140	200
Sulfato de potássio	200	150
Sulfato de magnésio	350	350
Conmicros Standard ¹		
B(2.0%), CuEDTA(2.0%), FeEDTA(7.9%), MnEDTA(2.0%), Mo(0.4%), ZnEDTA(0.8%).	30	30

Fonte: Adaptado de Furlani e Fernandes Junior (2004).

4.5 Análise dos morangos

As análises dos frutos ocorreram ao longo de 19 colheitas, que iniciou aos 30 dias DAT e se estendeu até os 112. Os frutos colhidos foram aqueles que apresentavam 70 % avermelhados ou totalmente maduros (FERNANDES JUNIOR et al., 2002), e estes, foram provenientes da área útil das bancadas de cultivo (Figura 1) a qual abrangia 80 plantas por tratamento, durante a colheita os frutos eram separados por bloco e tratamento, as análises seguiam na mesma ordem.

O atributo quantitativo avaliado foi a massa de frutos em g planta⁻¹ de cada tratamento e os qualitativos foram diâmetro transversal e equatorial, pH e sólidos solúveis (°Brix). As análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo e Qualidade da Água. Para determinar a massa dos frutos os mesmos foram pesados em balança de precisão e o diâmetro foi determinado através da medição com um paquímetro.

Para determinar o pH e sólidos solúveis, as amostras obtidas em cada bloco por tratamento, quando muito numerosas foram divididas em quartis, até obter aproximadamente 4 morangos, quando menores utilizava-se a amostra completa.

Os morangos foram macerados com o auxílio de almofariz e pistilo, utilizando uma pipeta de Pasteur coletou-se parte do caldo do material macerado e adicionou 2 gotas sobre a lâmina do refratômetro portátil (modelo RHB – 32 ATC)¹, que quando direcionado contra a luz permitiu a leitura da porcentagem de sólidos solúveis.

Para a análise do pH, seguindo a recomendação do Instituto Adolfo Lutz (2008), trabalhou-se com a diluição do material a 10 %. O caldo do material macerado foi pesado em balança analítica para obtenção de 2,5 mL de amostra, que em seguida foi transferida para um balão volumétrico de 25 mL com o auxílio de um funil, completou-se o balão com água destilada, homogeneizou-se e transferiu a amostra para um béquer de 25 mL, em seguida foi realizada a leitura do pH utilizando pHmetro de bancada.

As análises químicas foliares do morangueiro foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo aos 30 e 60 dias após o transplântio (DAT). Os autores Passos e Trani (2013) recomendam que a análise foliar deva anteceder a primeira ou segunda florada, tendo em vista a quantidade e qualidade dos morangos que serão produzidos.

Cada amostra utilizada nas análises foi composta por 3 plantas da área útil de cada tratamento, que foram retiradas ao acaso e cortadas com o auxílio de uma tesoura de poda, as amostras seguiram para secagem em estufa com circulação de ar a 60°C por período de 72 horas, após, procedeu-se com a análise química dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) (PASSOS e TRANI, 2013).

Os resultados das análises foram comparados a faixa adequada dos teores de macro e micronutrientes recomendados por Passos e Trani (2013) para a cultura do morangueiro.

Para análise microbiológica dos frutos optou-se também pelo sistema Colilert, devido à facilidade de operação. Usando luvas e sacos plásticos estéreis, coletaram-se os frutos da área útil de cada bloco em cada tratamento e os acondicionou em seu respectivo saco previamente identificado, após a coleta prosseguiu-se imediatamente para o Laboratório de Física do Solo e Qualidade da Água.

Pesou-se 20 gramas de morango de cada tratamento de forma separada e utilizando material esterilizado para evitar contaminação externa. O material pesado foi colocado em um liquidificador e adicionado 200 mL de água Miliq autoclavada (120 °C),

após trituração completa retirou-se 100 mL do material e adicionou o substrato cromogênico do Colilert.

As amostras seguiam para incubação por período de 24 horas a 35° C. Após esse período foi realizada a leitura de *Escherichia coli*, contabilizando apenas sua presença ou ausência, uma vez que o resultado positivo para presença de *E.coli*, mesmo sem quantificá-la, já seria o suficiente para indicar a contaminação dos frutos.

Pelo fato da legislação brasileira não permitir a prática do reúso na produção de nenhum tipo de hortaliça, não existem critérios máximos estabelecidos para o parâmetro microbiológico. Para fins de comparação, foi utilizada como referência a Resolução RDC n.º 12 de 02 de janeiro de 2001, a qual estipula os padrões microbiológicos para diversos grupos de alimentos.

4.6 Análise estatística

Os resultados foram analisados estatisticamente através do software R, versão 3.2.0 (R CORE TEAM, 2019). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ou teste de Kruskal Wallis quando não apresentavam normalidade, os testes visaram identificar quais tratamentos apresentaram diferença significativa nos atributos qualitativos e quantitativos. Para comparações pareadas das médias de cada tratamento, após a análise de variância realizou-se o teste de Tukey e após o teste de Kruskal Wallis realizou-se o teste de Dunn, ambos ao nível de 5 % de probabilidade ($p \leq 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise da água de reúso

As médias dos resultados das análises da água de reúso proveniente da ETE (Tabela 3), mostraram um efluente tratado com baixos teores de nutrientes para ser usado como solução nutritiva, considerando a recomendação de Furlani e Fernandes Junior (2004) (Tabelas 4 e 5) para a cultura do morangueiro.

Os resultados estão relacionados à origem doméstica do efluente, aos processos de tratamento utilizados e também ao período em que o experimento teve início, abrangendo parte do recesso escolar.

Oliveira et al. (2019) ao realizarem o monitoramento dessa ETE constataram que a eficiência na remoção de nitrogênio e fósforo é atribuída a unidade *Wetlands*, que apresentou taxa de remoção de 74,6 % de nitrogênio e 82,7 % de fósforo, porém, a ausência desta unidade de tratamento ainda não seria suficiente para disponibilizar os nutrientes necessários para suprir a demanda do morangueiro, visto que, em um período de monitoramento de 12 meses as médias de entrada destes elementos antes de passar pelas unidades de tratamento foram de 23,4 mg L⁻¹ e 5,6 mg L⁻¹ respectivamente.

A condutividade elétrica da água ficou abaixo de 0,75 dS m⁻¹, valor proposto por Martinez e Silva Filho (2004) como parâmetro de qualidade da água para o preparo da solução nutritiva. O pH ficou acima do valor ideal para o desenvolvimento vegetal, que segundo Cocco et al. (2016) é 5,5 a 6,5 para a cultura do morangueiro.

Apesar das plantas suportarem valores de pH entre 4,5 e 7,5 sem ocorrência direta de danos fisiológicos, o pH acima de 6,5 em cultivos hidropônicos favorece a formação de complexos insolúveis, reduzindo a disponibilidade de manganês, cobre, zinco, boro e fósforo, afetando indiretamente o crescimento das plantas (Cometti et al., 2006).

Para avaliar os efeitos do reúso de efluentes no solo e culturas agrícolas, considerando o excesso de sódio, os mesmos autores definiram critérios para a RAS, onde presumindo a irrigação por superfície estabeleceram que: RAS (< 3 mmol L⁻¹) apresenta nenhum risco; (3 a 9 mmol L⁻¹) risco leve a moderado e (> 9 mmol L⁻¹) risco severo.

Nesse sentido, o efluente da ETE piloto não apresentaria riscos para utilização na irrigação por superfície, pois a média da RAS foi 1,26 mmol_c L⁻¹.

As análises microbiológicas do efluente abrangeram apenas coliformes totais e termotolerantes, pois a presença de *E. coli* é um indicador de contaminação da água por matéria fecal de animais endotérmicos (WHO, 2006).

A legislação brasileira não permite o consumo de hortaliças irrigadas com água residuária, e portanto, não há padrões de qualidade da água estabelecidos para esta finalidade, para fins de comparação utilizou-se a resolução n.º 357/2005 do CONAMA, que estabelece os padrões de lançamento e classificação das águas, onde recomenda-se que a água destinada a irrigação de hortaliças consumidas cruas, ou de frutos que se desenvolvem rentes ao solo, deve se enquadrar na Classe 1 de águas doces, a qual requer altos padrões de qualidade (CONAMA, 2005).

Sendo assim, a média dos resultados das análises de fósforo total, carbono orgânico total e oxigênio dissolvido (Tabela 3) estão acima dos valores permitidos nessa classificação (Tabela 2), enquanto a análise microbiológica do efluente atendeu aos parâmetros estabelecidos.

A baixa carga microbiana observada no efluente tratado está relacionada ao tratamento terciário (sistema ultravioleta), Oliveira et al. (2019) observaram eficiência de remoção de 99,98 % para coliformes totais e 99,99% para *E. coli* utilizando esse sistema de tratamento para desinfecção de efluente doméstico.

Porém, mesmo diante da redução da carga microbiológica a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2001) estabelece as condições de reúso, restringindo a aplicação de águas residuárias somente à irrigação de campos, gramados, parques, e ou plantio de forrageiras, silvicultura e culturas destinadas a indústria. Independente dos padrões de qualidade da água residuária, bem como da contagem de *E. coli*, no Brasil, ainda não é permitido a prática do reúso para o cultivo de hortaliças, sejam elas folhosas ou de frutos.

5.2 Solução nutritiva

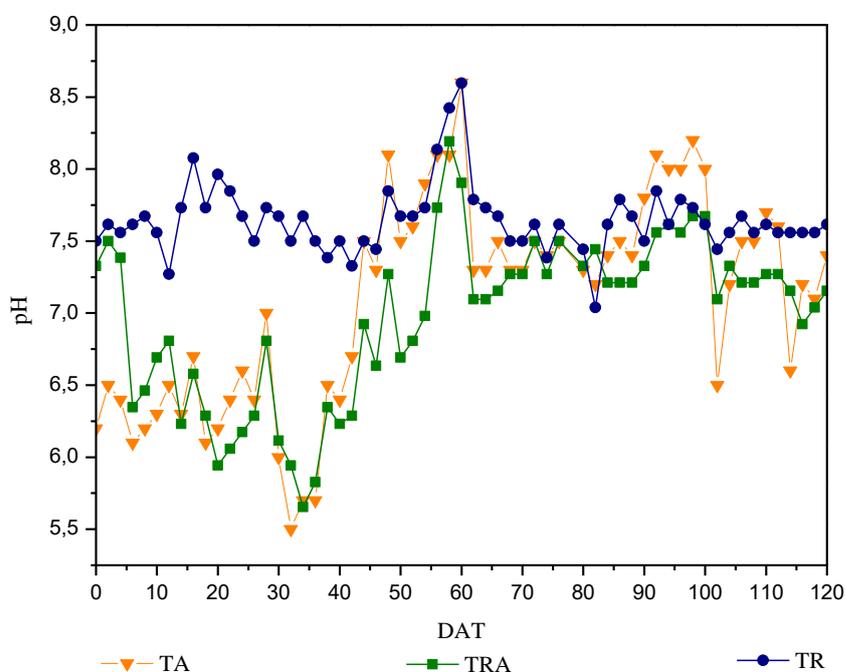
Os resultados do monitoramento do pH constam na Figura 7, a média do pH no tratamento TA foi de 7,09 ($\pm 0,71$), para o tratamento TRA a média foi de 6,50 ($\pm 0,97$) e para o TR a média foi de 7,64 ($\pm 0,40$).

O monitoramento do pH das soluções nutritivas possibilitou observar que o mesmo apresentou oscilações em todos os tratamentos, porém, em sistemas de cultivo fora do solo este comportamento é esperado, pois, Backes et al. (2004) ressaltam que a solução nutritiva não possui capacidade tampão.

Segundo Cocco et al. (2016) a faixa de pH ideal para o desenvolvimento do morangueiro é de 5,5 a 6,5. Neste sentido, o valor médio do pH do tratamento TRA, ficou

no limite da faixa considerada ideal para absorção dos nutrientes em solução hidropônica e, nos tratamentos TA e TR ficou acima do recomendado. Mesmo com o valor médio do pH acima da faixa ideal, visualmente as plantas do tratamento TA não apresentaram características de deficiência nutricional quando comparado ao TR, conforme pode ser observado na Figura 8, no entanto, o tratamento somente com água de reúso TR, apesar de ter apresentado menores oscilações no pH, o mesmo se manteve acima do recomendado durante todo período de cultivo.

Figura 7. Monitoramento do pH das soluções nutritivas dos tratamentos durante o desenvolvimento da cultura.



Fonte: Dados da pesquisa.

DAT: Dias após o transplantio; TA: Tratamento água potável mais fertilizantes químicos; TRA: tratamento água de reúso complementado com fertilizantes químicos; TR: tratamento água de reúso.

O valor médio do pH acima da faixa ideal no tratamento TR, somado a baixa disponibilidade de nutrientes na água de reúso ocasionou os sintomas visuais de deficiência nutricional nas plantas, como folhas em tamanho e número reduzidos (Figura 8C).

Figura 8. Plantas de morango dos diferentes tratamentos aos 71 DAT. (A) Tratamento cultivado com água potável e fertilizantes químicos TA; (B) Tratamento cultivado com água de reúso complementado com fertilizantes químicos TRA e (C) Tratamento cultivado somente com água de reúso TR.



Fonte: Arquivo próprio.

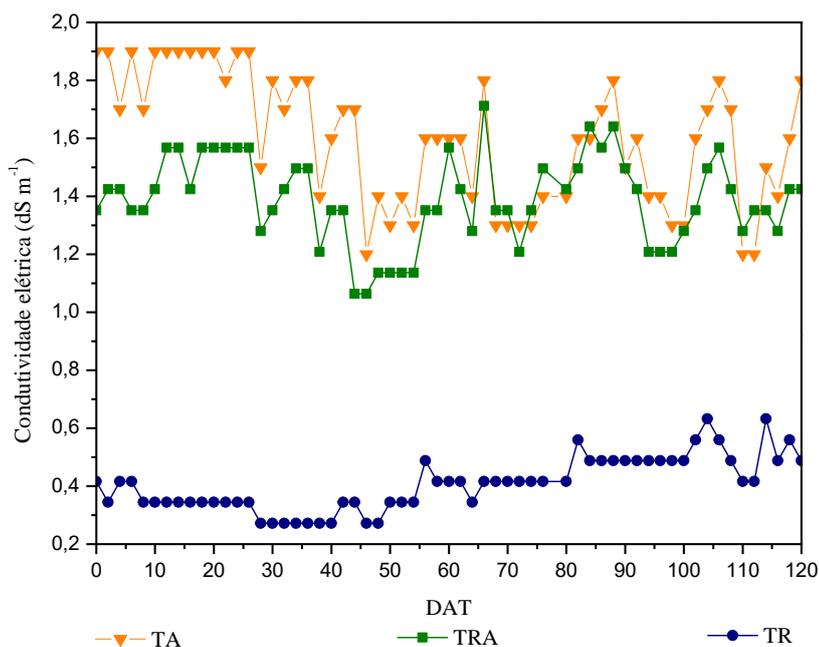
Segundo Cometti et al. (2006) o pH da solução nutritiva acima de 6,5 afeta o desenvolvimento vegetal, uma vez que favorece a formação de precipitados e consequentemente reduz a disponibilidade de micronutrientes.

Existem evidências de que a elevação do pH também proporcione alterações nas estruturas celulares das plantas e na solubilidade destas estruturas, demonstrando o efeito negativo das altas concentrações de hidroxilas sobre a permeabilidade da membrana celular. (MARTINEZ, 2002).

No cultivo do morangueiro em sistemas hidropônicos fechados, em que há a recirculação da solução nutritiva drenada, o monitoramento do pH e da condutividade elétrica segundo Gonçalves et al. (2016) são considerados os pontos-chave do sistema e onde ocorrem as maiores perdas de produção na cultura.

Os resultados do monitoramento da condutividade elétrica constam na Figura 9, a média da condutividade elétrica no tratamento TA foi de $1,59 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 0,22$), para o tratamento TRA a média foi $1,64 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 0,20$) e para o TR $0,29 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 0,13$).

Figura 9. Monitoramento da condutividade elétrica das soluções nutritivas dos tratamentos durante o desenvolvimento da cultura.



Fonte: Dados da pesquisa.

DAT: Dias após o transplante; TA: Tratamento água potável mais fertilizantes químicos; TRA: tratamento água de reúso complementado com fertilizantes químicos; TR: tratamento água de reúso.

As médias da condutividade elétrica dos tratamentos TA e TRA foram pouco superior a $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ recomendado por Furlani e Fernandes Junior (2004), referência utilizada para o preparo da solução nutritiva para cultivo hidropônico do morango, porém, segundo Gonçalves et al. (2016) a condutividade elétrica da solução pode permanecer entre $1,2$ e $1,8 \text{ dS m}^{-1}$ sem prejuízos ao cultivo, sendo importante realizar o ajuste da solução sempre que a CE sofrer oscilação de 20 % acima ou abaixo do valor inicial.

As oscilações na condutividade elétrica e no pH não culminaram em prejuízos para a cultura nos tratamentos TA e TRA, as plantas se mostraram bem desenvolvidas e não apresentaram sintomas visuais de deficiência nutricional.

A baixa condutividade elétrica do tratamento TR reforça o fato de que a água de reúso não dispõe de quantidade suficiente de nutrientes para suprir as necessidades do morangueiro.

A quantidade de sais utilizadas nos tratamentos TA e TRA estão descritas na Tabela 5. O uso do efluente doméstico tratado como fonte de água e nutrientes para o preparo da solução nutritiva possibilitou reduzir a quantidade de sais utilizados em TRA, quando comparados ao TA, sem que houvesse redução no desenvolvimento e produção do morangueiro.

Tabela 5. Quantidade de sais utilizados em TRA quando comparados ao TA e porcentagem economizada.

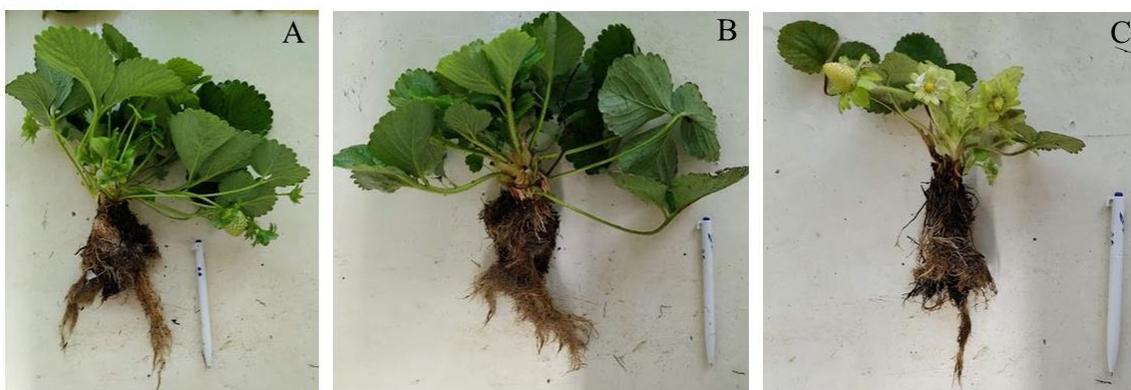
Fertilizante	Quantidade total utilizada		Porcentagem de economia em gramas (%)
	TA (g)	TRA (g)	
Nitrato de cálcio	1332	922	31
Nitrato de potássio	470	273	42
Fosfato monopotássico	419	355	15
Sulfato de potássio	392	265	32
Sulfato de magnésio	819	472	42
Total	3432	2287	33

TA: Tratamento água potável com fertilizantes químicos; TRA: tratamento água de reúso complementado com fertilizantes químicos.

Fonte: Dados da pesquisa.

No tratamento TR, cultivado apenas com água de reúso a ausência de fertilizantes culminou em danos visíveis para a cultura, incluindo sintomas de deficiência nutricional como redução no crescimento da parte aérea e sistema radicular, amarelecimento das folhas (Figura 10) e frutos pequenos e deformados.

Figura 10. Plantas de morango dos diferentes tratamentos aos 120 DAT. (A) Tratamento cultivado com água potável e fertilizantes químicos TA; (B) Tratamento cultivado com água de reúso complementado com fertilizantes químicos TRA e (C) Tratamento cultivado somente com água de reúso.



Fonte: Arquivo próprio.

5.4 Análise quantitativa

Visto que, os sistemas aéreo e radicular das plantas do tratamento TR apresentaram prejuízos caracterizados por menor desenvolvimento ao serem comparadas aos demais tratamentos, TA e TRA, realizaram-se análises de variância dos tratamentos em relação aos resultados de produtividade média (g planta^{-1}).

As análises de variância indicaram que não houve interferência dos blocos no resultado final, porém, entre os tratamentos houve diferença significativa (Tabela 6).

Tabela 6. Análise de variância da produtividade média por planta de morango.

	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Tratamento	2	196586	98293	20,5507	0,00000 **
Bloco	3	17785	5928	1,2395	0,29623 ns
Resíduo	222	1061812	4783		
Total	227	1276183			

** significativo ao nível de 1 % de probabilidade ($p > 0,01$); ns: não significativo ($p < 0,05$); GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: estatística do teste F; Pr > Fc: valor de P.

Para comparações pareadas entre as médias de produtividade dos tratamentos realizou-se o teste de Dunn ao nível de 5 % de probabilidade (Tabela 7).

Tabela 7. Massa fresca dos frutos de morango de cada tratamento (g planta¹) após 120 dias de cultivo.

Tratamentos	TA	TRA	TR
Médias g planta ⁻¹	89,55a	81,82a	23,76b
CV (%)	0,20	0,17	0,12

TA: tratamento água potável com fertilizantes químicos; TRA: tratamento água de reúso complementado com fertilizantes químicos; TR: tratamento água de reúso.

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Dunn ao nível de 5 % de probabilidade.

O resultado do teste de Dunn aponta que não houve diferença significativa na média de produtividade dos tratamentos TA e TRA, porém, a diferença destes com o tratamento TR foi significativa, a média de produção em g planta⁻¹ neste tratamento foi 72 % inferior aos demais.

As médias de produção obtidas nos tratamentos TA e TRA podem ser equiparadas às médias obtidas por Fernandes Júnior et al. (2002). Os autores avaliaram a produção de frutos e estolhos de morango sob diferentes tipos de cultivo em ambiente protegido no período de setembro a dezembro do ano de 2000, a média da produção de frutos no sistema hidropônico NFT foi igual a 91,1 g planta⁻¹.

A baixa produção de frutos no tratamento TR reforça os efeitos negativos do desequilíbrio nutricional causado pela água de reúso. Os nutrientes presentes nesta água foram suficientes para suprir as demandas básicas das plantas, evitando a morte das mesmas, mas não foram suficientes para manter os níveis de produção. Este resultado demonstra que a água de reúso sem complementação química atendeu de forma parcial a demanda nutricional do morangueiro.

5.5 Análise da qualidade dos frutos

5.5.1 pH e sólidos solúveis

Os resultados das análises do pH e sólidos solúveis (°Brix) dos frutos de morango estão descritos na Tabela 8 os dados apontam que houve diferença significativa apenas no pH dos frutos dos diferentes tratamentos, o teor de sólidos solúveis (°Brix) não diferiu.

Tabela 8. Médias dos resultados de pH e sólidos solúveis dos frutos dos diferentes tratamentos.

Parâmetro	TA	TRA	TR
pH	3,49a	3,46a	3,38b
Sólidos solúveis (°Brix)	6,29a	6,40a	6,61a

TA: tratamento água potável mais fertilizantes químicos; TRA: tratamento água de reúso complementado com fertilizantes químicos; TR: tratamento água de reúso.

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Dunn ao nível de 5 % de probabilidade.

A média do pH dos frutos do tratamento TR mostrou que os mesmos apresentaram maior acidez que os frutos dos tratamentos TA e TRA. A baixa concentração de nutrientes da água de reúso empregada como solução nutritiva no tratamento TR pode ter contribuído para a acidificação dos frutos.

Segundo Silveira et al. (2016) a baixa disponibilidade de fósforo contribui para que os frutos de morango apresentem maior acidez, odor desagradável e tamanho reduzido. A deficiência de cálcio também pode ocasionar acidez, baixo teor de açúcares e deterioração dos frutos (PASSOS e TRANI, 2013).

Calvete et al., (2016) analisando o pH de frutos de morango de diferentes cultivares produzidos fora do solo, observaram que o pH pode variar de 2,70 a 3,05 para este tipo de cultivo. Já os frutos produzidos no solo apresentam menor acidez, com uma média de pH de 5,3.

Em relação aos teores de sólidos solúveis, as médias dos tratamentos não apresentaram diferença estatística, permanecendo em torno de 6,5 °Brix.

Fernandes Junior et al. (2002) relataram que conforme ocorre em outras culturas, além dos aspectos nutricionais, o efeito varietal e as condições ambientais durante o cultivo também interferem no teor de sólidos solúveis, neste sentido, em cultivo hidropônico NFT em ambiente protegido os autores encontraram média de 7,7 °Brix para a cultivar Campinas, a qual mais se aproxima da média encontrada no presente estudo em condições semelhantes.

As cultivares de morango utilizadas neste experimento apresentam comportamento diferente daquelas observadas por Fernandes Junior et al. (2002), pois, segundo Calvete et al. (2016) os frutos de cultivares produzidos em ambiente protegido tem apresentado teor de sólidos solúveis variando entre 8 e 9 °Brix.

A ausência de dados literários sobre os atributos qualitativos e quantitativos da variedade de morango PRA Estiva impossibilitou que as médias obtidas neste trabalho fossem comparadas aos parâmetros obtidos pela mesma variedade.

5.5.2 Diâmetro dos frutos

Os resultados da Tabela 9 apontam que os diâmetros transversal e equatorial dos frutos apresentaram diferença significativa em função do tratamento.

Tabela 9. Diâmetro médio dos frutos de morango dos diferentes tratamentos.

Análises	TA	TRA	TR
Diâmetro equatorial (mm)	25,8a	24,6a	20,6b
Diâmetro transversal (mm)	34,3a	34,1a	26,6b

TA: tratamento água potável mais fertilizantes químicos; TRA: tratamento água de reúso complementado com fertilizantes químicos; TR: tratamento água de reúso.

Médias seguidas da mesma letra na horizontal não diferem estatisticamente pelo teste de Dunn ao nível de 5 % de probabilidade.

A Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), utiliza o diâmetro transversal dos frutos como um dos parâmetros para classificação do morango, estipulado pelo Regulamento Técnico do Mercosul de Identidade e Qualidade do Morango nº 85/96 (CANTILLANO, 2003).

Segundo o regulamento, os frutos que apresentam 25 mm ou mais de diâmetro transversal podem ser enquadrados na Classe 1, enquanto os frutos que possuem entre 15 e 25 mm enquadram-se na classe 2.

Os frutos do tratamento TR apresentaram menor média de diâmetro quando comparados aos demais, TA e TRA, porém, considerando o regulamento técnico nº 85/96 do Mercosul, todos os tratamentos atenderam a este parâmetro da classificação 1.

O tamanho e formato de frutos de morango podem ser prejudicados em casos de deficiência de cálcio e boro, uma vez que a ausência destes elementos pode interferir na quantidade e qualidade do pólen produzido pelo morangueiro (PASSOS e TRANI, 2013).

5.6 Avaliação agronômica

5.6.1 Estado nutricional do cultivo

Realizou-se análise química foliar da parte aérea das plantas de morango dos diferentes tratamentos aos 30 e 60 DAT (Tabela 10).

Tabela 10. Resultados da análise química foliar dos tratamentos aos 30 e 60 dias após o transplante (DAT) e faixa de nutrientes recomendada por Passos e Trani (2013).

Nutriente	Análise aos 30 DAT			Análise aos 60 DAT			Faixa de suficiência ⁴
	Tratamento			Tratamento			
	TA	TRA	TR	TA	TRA	TR	
----- g. kg ⁻¹ (Base seca) -----							
Nitrogênio	21	18	21,50	20	21	18	15-25
Fósforo	1,01	1,17	1,01	4,38	4,67	2,21	2-4
Potássio	9,08	15,26	10,08	26,31	27,5	17,52	20-40
Cálcio	40,15	33,13	36,37	12,14	9,85	7,78	10-25
Magnésio	3,90	3,64	3,12	3,9	3,85	3,17	6-10
Enxofre	1,66	1,70	1,30	1,02	3,37	1,48	1-5
----- mg. kg ⁻¹ (Base seca) -----							
Boro	67	67	34	56	63	7	35-100
Cobre	215	253	282	21	17	17	5-20
Ferro	321	332	321	237	282	404	50-300
Manganês	82	97	96	124	238	185	30-300
Zinco	54	62	65	32	44	114	20-50

Fonte: Dados da pesquisa e Passos e Trani (2013).

TA: tratamento água potável mais fertilizantes químicos; TRA: tratamento água de reúso complementado com fertilizantes químicos; TR: tratamento água de reúso.

⁴ Faixa de suficiência proposta por Passos e Trani (2013).

Aos 30 DAT os teores de fósforo, potássio e magnésio de todos os tratamentos estavam abaixo da faixa de suficiência recomendada por Passos e Trani (2013), mas as plantas não evidenciaram nenhum sintoma visual de deficiência nutricional até o período da análise.

As análises também apontaram que os teores de cálcio, cobre, ferro e zinco estão acima da faixa ideal para a cultura, sem que a mesma demonstrasse sintomas de toxidez por excesso de nutrientes.

Os teores de cálcio acima do recomendado não culminaram em prejuízos para a cultura, na literatura não existem dados que apontam toxidez por este elemento, pois, o mesmo quando em excesso fica armazenado nos vacúolos celulares (SILVEIRA et al., 2016).

O excesso de cobre, apesar de tóxico para as raízes e folhas do morangueiro (PASSOS e TRANI, 2013) não demonstraram sintomas visuais nas plantas.

A partir de aproximadamente 38 DAT as plantas do tratamento TR se distinguiram das demais, possibilitando observar os primeiros indícios visuais de deficiência nutricional, o qual incluía o crescimento reduzido da parte aérea das plantas (Figura 11).

Figura 11. Plantas do tratamento TR (direita) apresentando crescimento reduzido da parte aérea quando comparadas às plantas do TRA (esquerda).



Fonte: Arquivo próprio.

Os resultados da análise foliar aos 60 DAT (Tabela 10) apontaram deficiência de magnésio em todos os tratamentos, mas não foram observados sintomas visuais, os quais, segundo Barreto et al. (2018) incluem encarquilhamento e necrose foliar.

O tratamento TR, só com água de reúso ocasionou deficiência nutricional nas plantas, os teores de potássio, cálcio e boro ficaram abaixo da faixa ideal, enquanto os teores de ferro e zinco foram encontrados acima dos valores recomendados.

Como consequência das deficiências apontadas, ocorreu menor crescimento e escurecimento das raízes (Figura 12C) e redução no crescimento da parte aérea das plantas (Figura 11), sintomas estes apontados também por Barreto et al. (2018) como consequência da indisponibilidade de cálcio, potássio e boro.

O cálcio desempenha função estrutural para manutenção da membrana citoplasmática, sendo um elemento necessário para o crescimento dos meristemas e ápices radiculares, bem como para o bom funcionamento dos mesmos. A deficiência de cálcio também interfere nos frutos de morango, apresentando decréscimo de produção e rápida deterioração, em virtude do comprometimento da formação das paredes celulares (SILVEIRA et al., 2016).

A deficiência de potássio no morangueiro ocasiona redução no desenvolvimento das raízes e na produção de matéria seca aérea, sua deficiência interfere de forma drástica nas características sensoriais dos frutos (SILVEIRA et al., 2016).

A deficiência de boro é facilmente associada à falta de cálcio, por apresentar sintomas semelhantes em folhas jovens, os quais constam também de deformações e necroses nos bordos, crescimento comprometido das raízes e ainda redução na produção de pólen, resultando em frutos pequenos e deformados (PASSOS E TRANI, 2013).

Figura 12. Diferença visual entre os sistemas radiculares das plantas dos diferentes tratamentos. Sistema radicular de planta do TA (A); Sistema radicular de planta do TRA (B); Sistema radicular de planta do TR (C).



Fonte: Arquivo pessoal.

Embora apontados em excesso na análise química foliar aos 60 DAT, visualmente as plantas do TR apresentavam sintomas condizentes com a deficiência de ferro e zinco, incluindo amarelecimento e branqueamentos das folhas, redução no crescimento e clorose internerval (Figura 13), os mesmos sintomas visuais foram identificados por Barreto et al. (2018) em estudo com morangos cultivados com solução nutritiva completa e com elementos faltantes, à fim de caracterizar os sintomas visuais da deficiência de cada macro e micronutriente.

Figura 13. Sintomas iniciais de amarelecimento (A); Folhas com branqueamento (B); Folhas com clorose internerval (C).



Fonte: Arquivo próprio.

Segundo os autores Barreto et al. (2018), o morangueiro quando privado do ferro apresenta redução da área foliar, branqueamento das folhas e nervuras com coloração verde intensa, sem ocorrência de evolução para necrose tecidual.

O ferro é um cofator envolvido na biossíntese enzimática da clorofila, portanto, a deficiência do mesmo reduz a concentração de clorofila, carotenoides, ferredoxina e ribossomos nas células. Com menos ferredoxina disponível, a célula perde seu principal fornecedor de elétrons e desencadeia o acúmulo de compostos oxidados. A deficiência de

ferro também pode intervir diminuindo a produtividade do morangueiro e o tamanho dos frutos (SILVEIRA et al., 2016).

A deficiência de zinco é caracterizada por redução no crescimento das plantas, no tamanho das folhas e clorose internerval em folhas novas, uma vez que, o zinco é um elemento pouco móvel nas plantas. Sua escassez se assemelha a deficiência de ferro, mas é diferido pelo tamanho das folhas, que ficam menores e há ocorrência de brotação deficiente (BARRETO et al., 2018).

O zinco é um micronutriente essencial para a atividade, regulação e estabilização da síntese proteica. Na deficiência do mesmo ocorre a redução na síntese de proteínas e o acúmulo de aminoácidos livres. O Zn também participa da síntese do triptofano, um aminoácido precursor das auxinas, hormônio responsável pelo crescimento das plantas (SILVEIRA et al., 2016).

Todos os sintomas visuais observados nas plantas do tratamento TR ao longo do ciclo, incluindo redução no crescimento da parte aérea e sistema radicular, escurecimento das raízes, amarelecimento e branqueamento das folhas e clorose internerval, indicam o resultado da deficiência nutricional ocasionada pelo tratamento somente com água de reúso.

5.7 Análise microbiológica dos frutos de morango

A contagem microbiológica elevada é um indicativo de contaminação durante o cultivo e manejo dos frutos. Pelo fato da legislação brasileira não permitir a prática do reúso na produção de nenhum tipo de hortaliça, não existem critérios máximos estabelecidos para o parâmetro microbiológico.

Segundo a Resolução RDC n.º 12 de 02 de janeiro de 2001, para o grupo de alimentos em que se enquadram morangos frescos e similares, *in natura*, inteiras, selecionadas ou não, são permitidos até 2×10^3 coliformes termotolerantes e para coliformes totais não há padrão máximo estabelecido (ANVISA, 2001).

Os resultados das análises microbiológicas dos frutos de todos os tratamentos (Tabela 11) atenderam ao padrão estabelecido pela RDC n.º 12 de 02 de janeiro de 2001 (ANVISA, 2001), sendo ausente para termotolerantes (*E. coli*).

Tabela 11. Resultados da análise microbiológica dos frutos de morango.

Tratamento	<i>Escherichia coli</i> (NMP ²)
TA	AU ⁵
TRA	AU
TR	AU

TA: Tratamento água potável mais fertilizantes químicos; TRA: tratamento água de reúso complementado com fertilizantes químicos; TR: tratamento água de reúso; ²NMP: Número mais provável; ⁵AU: ausente.

Segundo Cuba et al. (2015) os perfis hidropônicos atuam como barreira, restringindo o contato do efluente apenas às raízes das plantas, desta forma, embora a bactéria *Escherichia coli* estivesse presente na água de reúso usada nos tratamentos TRA e TR, a ausência da mesma nos frutos, indica que não houve contato direto com o efluente e por isso não houve contaminação. Os autores Reis e Olivares (2006) ressaltam que, diferentemente dos fungos, de forma geral as bactérias não possuem estruturas ativas que permitam sua penetração em tecidos vegetais intactos.

Estes resultados demonstram que embora não seja permitido pela legislação brasileira, é possível utilizar água de reúso no cultivo de hortaliças e, a escolha criteriosa dos métodos de cultivo e irrigação são essenciais para assegurar a qualidade sanitária de culturas produzidas à partir da água de reúso.

6 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a aplicação da água de reúso como fonte de nutrientes no cultivo hidropônico do morangueiro apresentou vantagens, destacando-se a economia global de 33 % de fertilizantes químicos.

A utilização da água de reúso como solução nutritiva sem aporte adicional de nutrientes, não atende as necessidades da cultura, causando deficiência nutricional, redução na produtividade e qualidade dos frutos de morango, porém, a mesma quando suplementada atende todos os parâmetros da cultura do morangueiro, equiparando-se ao cultivo com solução nutritiva convencional.

A análise microbiológica indicou que os perfis hidropônicos evitaram o contato direto dos frutos com o efluente, culminando em frutos livres de contaminações por *E. coli*.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) e CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). Água, fatos e tendências. 2. ed. Brasília: ANA, 2009. Disponível em <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao_2.pdf > Acesso em: 19 nov. 2018.

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **ATLAS Esgoto:** Despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, DF: Agencia Nacional de águas - ANA 2017. Disponível em: <<http://atlasesgotos.ana.gov.br/>> Acesso em: 19 nov. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Panorama Nacional:** Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água. Engecorps, Cobrape: Brasília, DF: Agencia Nacional de Águas – ANA 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/downloads/atlas/Resumo%20Executivo/Atlas%20Brasil%20-%20Volume%201%20-%20Panorama%20Nacional.pdf>> Acesso em: 23 nov. 2018.

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: 12 mar. 2019.

ALVES, L. S. et al. Cultivo de manjericão utilizando efluente doméstico tratado em sistemas hidropônicos sob diferentes espaçamentos entre plantas. **IRRIGA**, v. 24, n. 3, p. 460-472, 2019.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examinations of Water and Wasterwater.** 22a edição, 2012.

ANTUNES, L. E. C; REISSER JUNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. Morangueiro. **Embrapa Clima Temperado-Livro técnico (INFOTECA-E)** 1ª ed. 2016. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1092843>> Acesso em: 16 set. 2018.

ASSAD, E. D. **Eficiência do uso da água no Brasil: análise do impacto da irrigação na agricultura brasileira e potencial de produção de alimentos face ao aquecimento global (relatório completo)**. 2016. Disponível em: <[https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/17675/Efici%C3%Aancia do Uso da %C3%81gua no Brasil Relat%C3%B3rio Completo.pdf](https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/17675/Efici%C3%Aancia_do_Uso_da_%C3%81gua_no_Brasil_Relat%C3%B3rio_Completo.pdf)> Acesso em: 05 out. 2018

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.

AYRES, R.M.; MARA, D.D. **Analysis Of Wastewater for Use in Agriculture: A Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques**. Geneva: World Health Organization (WHO) 1996.

BACKES, F. A. A. L.; SANTOS, O. S. S.; PILAU, F. G.; BONNECARRERE, R. A. G.; MEDEIROS, S.L.P.; FAGAN, E. B. Reposição de nutrientes em solução nutritiva para o cultivo hidropônico de alface. **Ciência Rural**, 34(5), 2004, p. 1407-1414. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/331/33134513.pdf>> Acesso em: 10 jul. 2019.

BARRETO, C.; NAVROSKI, R., da SILVA, P. S.; BENATI, J., VIGNOLO, G.; NAVA, G.; ANTUNES, L. Sintomas visuais de deficiência nutricional em morangueiro. **Embrapa Clima Temperado-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2018. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1097888/1/GilbertoNavaBOLETIM283.pdf>> Acesso em: 10 jul. 2019.

BRASIL, CONAMA. Resolução n. 375. 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2018.

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-de-agua-recursos-hidricos/37-resolucao-n-54-de-28-de-novembro-de-2005/file>

BRASIL. Resolução Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 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 direito não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 30 de agosto de 2006.

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 (INFOTECA-E)**, 2016.p. 219-259. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1092843> > Acesso em: 12 jul. 2019.

CANTILLANO, F. F. **Morango pós-colheita**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 29 p.

CARVALHO, R. S.; SANTOS FILHO, J. S.; SANTANA, L. O. G.; GOMES, D. A.; MENDONÇA, L. C.; FACCIOLI, G. G. Influência do reúso de águas residuárias na qualidade microbiológica do girassol destinado à alimentação animal). **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 2, p. 157-167, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n2/16.pdf> > Acesso em: 28 mai. 2019.

CETESB - Companhia de Tecnologia Ambiental do Estado de São Paulo. **Instrução técnica n.32**. Orientação para apresentação de projeto visando à aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. São Paulo: CETESB, 2006. 11p.

CHAKRABORTY, D., LADHA, J.K., RANA, D.S. *et al.* A global analysis of alternative tillage and crop establishment practices for economically and environmentally efficient rice production. **Sci Rep** 7, 9342 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09742-9>

CHRISTOU, A.; MARATHEFTIS, G.; ELIA, M.; HAPESHI, E.; MICHAEL, C.; FATTA-KASSINOS, D. Effects of wastewater applied with discrete irrigation techniques on strawberry plants' productivity and the safety, quality characteristics and antioxidant capacity of fruits. **Agricultural Water Management**, v. 173, p. 48–54, 2016.

COCCO, C.; GONÇALVES, M. A.; PICOLOTTO, L.; ANTUNES, L. E. C.; ALMEIDA, I. R. Produção de mudas. In: ANTUNES, L. E. C.; REISSER JUNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E. Morangueiro. **Embrapa Clima Temperado-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2016.p. 79-111.

COMETTI, N.N.; FURLANI, P.R.; RUIZ, P.R.; FERNANDES, E.I.F. Soluções Nutritivas: Formulação e Aplicações. In: FERNANDES, M.S., Ed., **Nutrição Mineral de Plantas**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 89-114, 2006.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Orientação para apresentação de projeto visando a aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. Aplicação de água de reúso de ETE na agricultura. São Paulo, 2001, 11 p. Disponível em<<http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/Publicações.asp>> . Acesso em: 07 jul. 2018.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: < <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>> . Acesso em: 14 nov. 2018.

CUBA, R. S. **Cultivo hidropônico de alface com água de reúso**. 2015, 70 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2015.

CUBA, R.S.; CARMO, J.R.; BASTOS, R.G.; 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. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980993X2015000300574&script=sci_abstract&tlng=pt> Acesso em: 15 abr. 2019.

FERREIRA, D. de M. et al. Reúso agrícola de águas no Brasil: limites analíticos do efluente para controle de impactos. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 4, p. 1048-1059, 2019.

DE OLIVEIRA JUCOSKI, G.; CAMBRAIA, J.; RIBEIRO, C.; DE OLIVEIRA, J. A. Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 720-728, 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rca/v47n4/1806-6690-rca-47-04-0720.pdf>> Acesso em: 24 jul. 2019.

dos SANTOS, J. D.; da SILVA, A. L. L.; da LUZ COSTA, J.; SCHEIDT, G. N.; NOVAK, A. C.; SYDNEY, E. B.; SOCCOL, C. R. Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics. **Journal of environmental management**, v. 114, p. 8-12, 2013.

DOUGLAS, J. S. Os fatos sobre a hidroponia. In: DOUGLAS, J. S. Hidroponia: cultura sem terra. São Paulo: **NBL Editora**, 2003. p.1-7.

DUARTE FILHO, J.; CUNHA, R. J. P.; ALVARENGA, D. A.; PEREIRA, G. E.; ANTUNES, L. E. C. Aspectos do florescimento e técnicas empregadas objetivando a produção precoce em morangueiros. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 198, p. 30-35, 1999.

EGÍDIO, N. B.; LEVY, B. P. As técnicas de hidroponia. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 8, p. 107-137, 2013.

FERNANDES-JÚNIOR, F.; FURLANI, P. R.; RIBEIRO, I. J. A.; CARVALHO, C. R. L. Produção de frutos e estolhos do morangueiro em diferentes sistemas de cultivo em ambiente protegido. **Bragantia**, v. 61, n. 1, p. 25-34, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052002000100005> Acesso em: 15 abr. 2019.

FILGUEIRA, F. A. R. Rosáceas – morango: um frutinho rasteiro. In: **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2003. P. 378-385.

FURLANI, P.R.; FERNANDES 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.

GARAY, D.; SOUZA, C.F. Esterilizador UV no tratamento de esgoto para reúso agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 44., São Pedro, 2015. **Anais...** São Pedro: CONBEA, 2015. p. 1-4.

GEBEYEHU, Abebe et al. Suitability of nutrients removal from brewery wastewater using a hydroponic technology with *Typha latifolia*. **BMC biotechnology**, v. 18, n. 1, p. 74, 2018.

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

IDEXX, **Colilert®**. Disponível em: <<https://www.idexx.com/pt-br/water/products/colilert.html/>>. Acesso em: 15 mai. 2018

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. Acesso em: 08 jun. 2019

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

KUMWIMBA, M. N.; ZHU, B. Effectiveness of vegetated drainage ditches for domestic sewage effluent mitigation. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 98, n. 5, p. 682-689, 2017.

LESCH, S.M.; SUAREZ, D.L. TECHNICAL NOTE: A short note on calculating the adjusted SAR index. **American Society Of Agricultural And Biological Engineers**, Califórnia, v.52, n.2, p.493-496, 2009.

MAGWAZA, S. T. et al. Hydroponic technology as decentralised system for domestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A review. **Science of The Total Environment**, p. 134154, 2019.

MARENGO, J.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M.; CUARTAS, A.; ALVES, L.; MENDIONDO, E.; OBREGÓN, G.; E SAMPAIO, G. (2015). A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, (106), 31-44. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44>> Acesso em: 15 fev. 2019

MARTINEZ, H.E.P. **Manual prático de hidroponia**. Viçosa: UFV. 2006. 271p.

MARTINEZ, H.E.P. O uso de cultivo hidropônico de plantas em pesquisa. Viçosa: UFV, 2002. 61p.

MARTINEZ, H.E.P.; SILVA FILHO, J.B. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. UFV, 2004.

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.

OLIVEIRA, A. de A. S. **Tratamento e desinfecção por radiação UV de efluente doméstico para uso agrícola**. 2018. 65 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2018.

OLIVEIRA, A. de A. S.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Adaptation of domestic effluente for agricultural reuse by biological, physical treatment and disinfection by ultravioleta radiation. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 2, 2019.

Organização das Nações Unidas [ONU]. 2017. **World Population Prospects: The 2017 Revision**. Disponível em: https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf.

OSEM, Y. et al. The effects of plant roots on microbial community structure in aerated wastewater-treatment reactors. **Ecological Engineering**, v. 29, n. 2, p. 133-142, 2007.

OTTOSON, J.; NORSTRO, A.; DALHAMMAR, G. Removal of micro-organisms in a small-scale hydroponics wastewater treatment system. **The Society for Applied Microbiology, Letters in Applied Microbiology**, v. 40, p. 443–447, 2005.

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

PAULUS, D.; ZORZZI, I. C.; SANTIN, A.; RANKRAPE, F. Nutrient Solution for Production and Quality of Strawberry Grown in Substrate. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 1-10, 2018.

PIRES, R. C. M.; FOLEGATTI, M. V.; PASSOS, F. A.; AMBROSANO, G. M. B.; MINAMI, K. Profundidade efetiva do sistema radicular do morangueiro sob diferentes coberturas do solo e níveis de água. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 4, p. 793-799, 2000.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; JUNG-MENDAÇOLLI, S. L.; PASSOS, F. A.; SANTOS, R. R. Caracterização botânica de cultivares de morangueiro. **Bragantia**, v. 55, n. 1, p. 29-44, 1996.

R CORE TEAM, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RANA, S.; BAG, S. K.; GOLDR, D., ROY; S. M.; PRADHAN, C.; JANA, B. B. Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 6, p. 981-988, 2011.

REIS, V. M.; OLIVARES, F. L. Vias de penetração e infecção de plantas por bactérias. **Embrapa Agrobiologia-Documentos (INFOTECA-E)**, 2006.

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

RONQUE, E. R. V. **Cultura do morangueiro**: revisão prática. Curitiba: EMATER IPR, 1998. 206 p.

SANTOS, R.F.; MATSURA, E.E.; SANTOS, R.K. Implicações do reúso de efluente de esgoto doméstico tratado na irrigação agrícola. **Acta - Iguazu**, Cascável, v.4, n.2, p.70-86, 2015.

SILVA, A. F.; DIAS, M. S. C.; MARO, L. A. C. Botânica e fisiologia do morangueiro. **Informe Agropecuário**, v. 28, n. 236, p. 7-13, 2007.

SILVA, F. P. da; CARVALHO, C. V. de A.; CARDOSO, A. M. GESTÃO DA ÁGUA: A Importância de Políticas Públicas para a Implementação do Reuso de Água no Brasil. **Episteme Transversalis**, [S.l.], v. 10, n. 2, ago. 2019. ISSN 2236-2649. Disponível em: <<http://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/episteme/article/view/1347>>. Acesso em: 04 fev. 2020.

SILVA, T. L. Qualidade da água residuária para reúso na agricultura irrigada. **Irriga**, Botucatu, v.1, n.1, p. 101-111, 2018. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3545>. Acesso em: 04 fev. 2020.

SILVEIRA, C. A. P.; MARTINAZZO, R.; PAULETTI, VOLNEI. Fertilidade do solo e nutrição. In: ANTUNES, L. E. C.; REISSER JUNIOR, C.; SCHWENGBER, J. E.

Morangueiro. **Embrapa Clima Temperado-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2016.p.149-201.

SIMOES, D. da C; CAIXETA-FILHO, J. V.; PALEKAR, U. S. Fertilizer Distribution Flows and Logistics Costs in Brazil: Changes and Benefits Arising from Investments in Port Terminals. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 21, n. 1030-2018-1808, p. 407-422, 2018.

SOITO, J. Usos múltiplos da água. **Boletim de Conjuntura**, n. 5, p. 21-27, 2019.

TIMM, L.C. et al. **Morangueiro irrigado**. Aspectos técnicos e ambientais do cultivo. Pelotas: Ed. Da Universidade Federal de Pelotas, 2009. 163p.

URBANO, V. R. et al. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural water management**, v. 181, p. 108-115, 2017.

WHATELY, M.; CAMPANILI, M. **O século da escassez: Uma nova cultura de cuidado com a Água: Impasses e Desafios**. Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Genebra: WHO, v. 2, 2006. 222 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Excreta and greywater use in agriculture**: Safe use of wastewater, excreta and greywater. 4a edição. Geneva: França, 2006. 204 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resultados das análises físico-químicas e microbiológica da água de reúso utilizada no cultivo hidropônico ao longo do cultivo

Parâmetros	Resultados das análises						
	1°	2°	3°	4°	5°	Média	Desvio padrão
pH	6,63	8	6,54	7,04	7,06	7,05	0,57
CE (dS m ⁻¹)	0,36	0,25	0,40	0,60	0,69	0,46	0,18
COT (mg L ⁻¹)	7,5	21,7	46,59	37,58	33,89	29,45	15,17
OD (mg L ⁻¹)	1,22	1,28	1,24	1,18	1,52	1,28	0,13
Turbidez (NTU)	13,7	13,7	9,3	9,3	9,3	9,3	2,40
N (mg L ⁻¹)	10,32	10	10	16	22	13,66	5,31
PT (mg L ⁻¹)	0,3	0,84	0	0	0,1	0,24	0,35
K (mg L ⁻¹)	34	5	6	46,6	11,5	20,62	18,67
Ca (mg L ⁻¹)	32	29	47	43	38	37,8	7,46
Mg (mg L ⁻¹)	6	5,6	13	15	11	10,12	4,19
Na (mg L ⁻¹)	42	32,5	36	11,4	41,8	32,74	12,58
RAS (mmolc L ⁻¹)	1,79	1,42	1,20	0,38	1,54	1,26	0,54
Coliformes totais	NR ⁶	NR	NR	NR	1,7x10 ³	-	-
NMP ^{2*} 100 mL ⁻¹							
<i>Escherichia coli</i>	NR	NR	NR	NR	17	-	-
NMP* 100 mL ⁻¹							

² Número mais provável; ⁶ Não realizado; * Não há desvio padrão para estes parâmetros.

APÊNDICE B – Resultados produção de morangos (g planta^{-1}) dos blocos dos tratamentos.

Tratamentos	Amostra dos frutos (g planta^{-1})				
	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
TA	98,6	70,03	112,46	77,12	89,55
TRA	83,53	70,77	91,78	81,22	81,82
TR	27,87	22,75	26,19	18,22	23,76

APÊNDICE C – Resultados teor de sólidos solúveis ° Brix morango dos blocos dos tratamentos.

Tratamentos	Amostras dos frutos				
	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
TA	7,62	6,41	5,89	5,31	6,29
TRA	7,10	7,3	6,73	5,44	6,40
TR	5,54	6,75	6,48	6,7	6,61

APÊNDICE D – Resultados pH dos frutos de morango dos blocos dos tratamentos.

Tratamentos	Amostras dos frutos				
	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
TA	3,50	3,49	3,47	3,48	3,49
TRA	3,45	3,44	3,49	3,46	3,46
TR	3,34	3,34	3,39	3,48	3,38

APÊNDICE E – Resultados diâmetro transversal dos frutos dos blocos dos tratamentos.

Tratamentos	Média das amostras (mm)				
	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
TA	34,6	32,8	35,8	33,3	34,3
TRA	33,2	35,4	35,0	33,1	34,1
TR	26,4	27,0	29,6	23,8	26,6

APÊNDICE F – Resultados diâmetro equatorial dos frutos dos blocos dos tratamentos.

Tratamentos	Média das amostras (mm)				
	Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	Bloco 4	Média
TA	25,0	25,3	25,0	25,6	25,8
TRA	24,3	24,9	25,2	24,0	24,6
TR	19,3	19,5	26,1	19,0	20,6