

**ROBERTA DANIELA DA SILVA SANTOS**

**REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA NO CULTIVO DE HORTALIÇAS**

**Botucatu**

**2019**



**ROBERTA DANIELA DA SILVA SANTOS**

**REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA NO CULTIVO DE HORTALIÇAS**

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

Orientador: Rodrigo Máximo Sánchez Román

**Botucatu**

**2019**

S237r

Santos, Roberta Daniela da Silva

Reúso de água residuária tratada no cultivo de hortaliças / Roberta Daniela da Silva Santos. – Botucatu, 2010

133 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Rodrigo Máximo Sánchez Román

1. Horticultura. 2. Irrigação. 3. Reutilização. 4. Produtividade. 5. Qualidade microbiológica. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

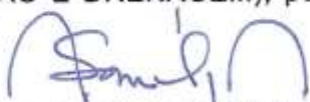
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA TESE: REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA NO CULTIVO DE HORTALIÇAS**

**AUTORA: ROBERTA DANIELA DA SILVA SANTOS**

**ORIENTADOR: RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN**

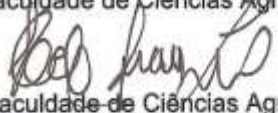
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



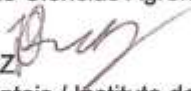
Prof. Dr. RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN  
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



Prof.ª Dr.ª VALERIA CRISTINA RODRIGUES SARNIGHAUSEN  
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO  
Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. JOÃO GABRIEL THOMAZ QUELUZ  
Pós-Doutorando - Centro de Estudos Ambientais / Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP



Dr.ª ROSEMARY MARQUES DE ALMEIDA BERTANI  
Pesquisa e Desenvolvimento / APTA - Polo Regional Centro Oeste - Bauru

Botucatu, 08 de novembro de 2019



## AGRADECIMENTOS

A Deus, porque por ele, dele e para ele são todas as coisas, sem a tua força, meu senhor, esse sonho seria impossível.

Ao meu amado pai Luís Pedro "*in memoriam*", a pessoa que mais me incentivou a realizar esse sonho, sem o seu apoio eu jamais teria conseguido, essa conquista é nossa meu velho!

A minha mãe Maria Edilza, pela ajuda, companheirismo, orações e pelo amor dedicado em toda a minha vida.

A Marcello, meu esposo, amigo, companheiro, obrigada por sempre acreditar em mim e por toda ajuda e incentivo em todos os momentos dessa aventura frenética.

Ao meu orientador, Prof. Rodrigo Máximo Sánchez Róman, pelos ensinamentos, ajuda e compreensão.

A mim, por não ter desistido em meio a tantas dificuldades.

A Lara, minha filha e luz da minha vida, em você e por você meu amor, reencontrei o sentido e as forças para prosseguir.

Aos melhores presentes que ganhei em Botucatu, os amigos Kevim e Regiane. Obrigada pelos momentos de descontração, pelas conversas fundamentais para amenizar os contratempos da vida. Além da amizade Kevim, sua ajuda durante todo meu experimento foi essencial para essa conquista.

Aos amigos Josiane, Douglas, Golbery, Zildélia por todos os bons momentos vividos e pela ajuda durante a condução do experimento.

A minha tia Iraildes, por ter cuidado tão bem da minha preciosidade Lara, para que eu pudesse finalizar esse trabalho. A toda minha família, pela torcida e amor.

Ao meu amor Luís, por todo carinho e pela gargalhada mais gostosa que já ouvi, daquelas que alivia a alma e a mente.

Aos meus pets Cristal e Ragnar, por todo carinho e companheirismo.

A minha amiga Simone, pela motivação, ajuda e por sempre acreditar em mim.

A Israel, por toda ajuda e paciência durante o experimento.

Ao Departamento de Engenharia Rural e a FCA/UNESP, pela oportunidade de realizar o curso.

Aos professores do curso, que compartilharam todo o conhecimento adquirido.

À todos os funcionários da FEPE e da Biblioteca, pela ajuda para realização desta pesquisa.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.



*“Ó profundidade das riquezas, tanto da sabedoria, como da ciência de Deus! Quão insondáveis são os seus juízos, e quão inescrutáveis os seus caminhos! Porque quem compreendeu a mente do Senhor? ou quem foi seu conselheiro? Ou quem lhe deu primeiro a ele, para que lhe seja recompensado? Porque dEle, por Ele e para Ele são todas as coisas. Glória, pois, a Ele eternamente.”*

*Romanos 11.33-36*



## RESUMO

As atividades humanas no geral são extremamente dependentes da água. Entretanto, a utilização deste indispensável recurso na geração de energia, abastecimento humano, lazer, indústria e na agricultura, quando realizada de maneira inadequada, pode comprometer sua qualidade. Assim, faz-se necessário incorporar na irrigação a prática do reúso, utilizando, por exemplo, água residuária tratada (ART). Desta forma, os objetivos deste trabalho foram: avaliar a viabilidade do uso de água residuária tratada por dois sistemas distintos, tanque séptico + SODIS + 125 mg L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (ARTS) e alagados construídos (ARTAC), através da irrigação por gotejamento nas culturas alface, beterraba e rabanete, em termos de produção, contaminação por *Escherichia coli*, e eficiência do uso da água (EUA); calcular o percentual de macronutrientes fornecido pela ARTS e ARTAC; e verificar a uniformidade do sistema de irrigação operando com elas. As hortaliças foram cultivadas a campo com cinco composições da lâmina de irrigação 0, 25, 50, 75 e 100% de ARTS e ARTAC. Durante a condução do experimento foram realizadas análises físicas, química e microbiológicas na ART. Após a colheita foram realizadas análises biométricas, de produtividade e microbiológicas nas amostras de hortaliças, como também a uniformidade do sistema de irrigação. A irrigação com ARTS e ARTAC proporcionou melhor rendimento de todas as hortaliças se comparado ao plantio convencional (0% ART). Os dois sistemas avaliados e as quatro composições da lâmina de irrigação (com ART) possibilitaram produção das hortícolas isenta de contaminação com *E. coli*, classificando-as como apta ao consumo humano crua. Para as três culturas avaliadas irrigadas com ARTS e ARTAC, os valores de EUA foram superiores quando comparados ao sistema de plantio convencional (0% ART). No que diz respeito ao percentual de fertilizantes químicos proporcionado pelo uso de ARTS e ARTAC, com base na oferta e na recomendação nutricional para as culturas, considerando apenas os macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), a ARTS e ARTAC, conseguiram atender parcialmente as necessidades nutricionais da alface e da beterraba (N, P e K) e totalmente a do rabanete em relação ao N e parcialmente a de P e K. A partir dos coeficientes avaliados, verificou-se que a ARTS e ARTAC não comprometeram a uniformidade de aplicação de água, e comparando a avaliação do sistema de irrigação operando com ARTAC e ARTS, o desempenho foi melhor com ARTAC, devido à menor concentração de sólidos suspensos e de coliformes totais, conseqüentemente, menor susceptibilidade a obstrução dos emissores. Portanto, os dois sistemas são capazes de fornecer ART para irrigação por gotejamento de hortaliças, dentro dos padrões físico-químicos e microbiológicos estabelecidos na legislação, favorecendo o desenvolvimento das culturas, além de proporcionar uma fonte alternativa de nutrientes para as plantas e de água para irrigação.

**Palavras chave:** SODIS, irrigação, reutilização, produtividade, qualidade microbiológica, uniformidade.



## ABSTRACT

Human activities in general are extremely dependent on water. However, the use of this indispensable resource in power generation, supply, industry and agriculture, when improperly performed, may compromise its quality. Thus, it is necessary to incorporate the practice of reuse in irrigation, using for example, treated wastewater (TW). Thus, the objectives of this work were: to evaluate the feasibility of using wastewater treated by two distinct systems, septic tank + SODIS + 125 mg L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (TWST) and constructed wetlands (WTCW), through drip irrigation in lettuce, beet and radish crops in terms of yield, *Escherichia coli* contamination, and water use efficiency (WUE); calculate the percentage of macronutrients provided by TWST and WTCW; and verify the uniformity of the irrigation system operating with TWST and WTCW. The vegetables were field grown with five irrigation depth compositions 0, 25, 50, 75 and 100% TWST and WTCW. During the conduction of the experiment, physical, chemical and microbiological analyzes were performed at TW. After harvesting, biometric, yield and microbiological analyzes were performed on the vegetable samples, as well as the uniformity of the irrigation system. Irrigation with TWST and WTCW provided better yield of all vegetables compared to conventional planting (0% TW). Both evaluated systems and the four irrigation depth compositions (with TW) made it possible to produce vegetables free of *E. coli* contamination, classifying them as suitable for raw human consumption. For the three evaluated crops irrigated with TWST and WTCW, the WUE values were higher when compared to the conventional system (0% TW). Regarding the percentage of chemical fertilizers provided by the use of TWST and WTCW, based on the supply and nutritional recommendation for the crops, considering only the macronutrients nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K), TWST and WTCW, were able to partially meet the nutritional needs of lettuce and beet (N, P and K) and fully of radish regarding to N and partially of P and K. From the evaluated uniformity coefficients, it was possible to affirm that TWST and WTCW did not compromise the uniformity of water application, and comparing the evaluation of the irrigation system operating with WTCW and TWST, the performance was better with WTCW, due to the lower concentration of suspended solids and total coliforms, consequently, lower susceptibility to emitters obstruction. Therefore, both systems are able to provide TW for vegetable through drip irrigation, within the physicochemical and microbiological standards established in the Brazilian legislation, favoring crop development, as well as providing an alternative source of plant nutrients and water for crops irrigation.

**Keywords:** SODIS, irrigation, reuse, productivity, microbiological quality, uniformity.



## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

<b>Tabela 1:</b> Valores médios mensais de temperatura média (Tm), de umidade relativa do ar (UR), radiação solar global (RDS) e precipitação (P).....	29
<b>Tabela 2:</b> Caracterização inicial do solo .....	30
<b>Tabela 3:</b> Descrição das proporções de AA e ART em cada lâmina de irrigação.....	32
<b>Tabela 4:</b> Detalhes da condução das culturas .....	34
<b>Tabela 5:</b> Parâmetros da equação obtidos pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980) .....	37
<b>Tabela 6:</b> Parâmetros físico e microbiológico da AA e ART .....	46
<b>Tabela 7:</b> Resultados dos parâmetros biométricos avaliados na alface .....	47
<b>Tabela 8:</b> Resultados dos parâmetros biométricos avaliados na beterraba .....	52
<b>Tabela 9:</b> Teor de sólidos solúveis (°Brix) avaliados na beterraba .....	55
<b>Tabela 10:</b> Resultados dos parâmetros biométricos avaliados no rabanete.....	58
<b>Tabela 11:</b> Teor de sólidos solúveis (°Brix) avaliados no rabanete .....	61

### CAPÍTULO 2

<b>Tabela 12:</b> Detalhes do experimento para as diferentes culturas .....	77
<b>Tabela 13:</b> Quantitativo dos nutrientes recomendados para cada cultura .....	78
<b>Tabela 14:</b> Coeficientes de cultivo (Kc) para as culturas .....	81
<b>Tabela 15:</b> Produtividade da alface .....	83
<b>Tabela 16:</b> Produtividade da beterraba.....	84
<b>Tabela 17:</b> Produtividade total e comercial do rabanete .....	86
<b>Tabela 18:</b> Concentração dos Macronutrientes presentes na AA, ARTS e ARTAC .	87
<b>Tabela 19:</b> Aporte nutricional via irrigação com ARTS e ARTAC, e percentual de economia de fertilizantes com base na adubação de cobertura, para a alface.....	88
<b>Tabela 20:</b> Aporte nutricional via irrigação com ARTS e ARTAC, e percentual de economia de fertilizantes com base na adubação de cobertura, para a beterraba .....	89
<b>Tabela 21:</b> Aporte nutricional via irrigação com ARTS e ARTAC, e percentual de economia de fertilizantes com base na adubação de cobertura, para o rabanete .....	90

### **CAPÍTULO 3**

<b>Tabela 1:</b> Características físicas, químicas e microbiológicas da AA, ARTS e ARTAC utilizadas no experimento e o risco de obstrução dos emissores.....	112
--	-----

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

<b>Figura 1:</b> Representação do experimento .....	31
<b>Figura 2:</b> Representação das composições da lâmina de irrigação .....	31
<b>Figura 3:</b> Sistema de tratamento para produção de ARTS .....	33
<b>Figura 4:</b> Sistema de tratamento para produção da ARTAC .....	34
<b>Figura 5:</b> Área experimental cultivada com as hortaliças .....	35
<b>Figura 6:</b> Curva da equação de Van Genuchten para o solo do experimento .....	37
<b>Figura 7:</b> Painéis controladores da irrigação .....	40
<b>Figura 8:</b> Stomacher 400 circulator.....	41
<b>Figura 9:</b> Amostra processada após passar pelo Stomacher .....	42
<b>Figura 10:</b> Amostra processada após passar pelo Stomacher .....	43
<b>Figura 11:</b> Delineamento experimental.....	45
<b>Figura 12:</b> Croqui de um bloco .....	45
<b>Figura 13:</b> Exemplos de alface provenientes do sistema S .....	48
<b>Figura 14:</b> Exemplos de alface provenientes do sistema AC .....	48
<b>Figura 15:</b> Exemplos de beterraba provenientes do sistema alagados construídos .....	56
<b>Figura 16:</b> Exemplos de beterraba provenientes do sistema TS + SODIS + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	57
<b>Figura 17:</b> Exemplos de rabanete provenientes do sistema alagados construídos .....	58
<b>Figura 18:</b> Exemplos de rabanete provenientes do sistema TS + SODIS + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	59

### CAPÍTULO 2

<b>Figura 19:</b> Valores diários de evapotranspiração de referência (ET <sub>0</sub> ), precipitação e lâmina bruta (LB) de irrigação durante o experimento .....	82
<b>Figura 20:</b> Volume final de ART (VART) aplicado em cada cultura. ....	82
<b>Figura 21:</b> Raízes consideradas não comerciais no cultivo da Beterraba .....	84
<b>Figura 22:</b> Produtividade comercial do rabanete .....	86
<b>Figura 23:</b> Raiz de rabanete considerada não comercial .....	87
<b>Figura 24:</b> EUAI e EUAIP para a alface.....	93
<b>Figura 25:</b> EUAI e EUAIP para a beterraba .....	94
<b>Figura 26:</b> EUAI e EUAIP para o rabanete .....	96

### **CAPITULO 3**

**Figura 1:** Coeficientes de uniformidade para o sistema de irrigação por gotejamento operando com AA, ARTS e ARTAC, por 19 horas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey.....115

## LISTA DE EQUAÇÕES

### CAPÍTULO 1

Equação - 1 .....	37
Equação - 2 .....	38
Equação - 3 .....	38
Equação - 4 .....	38
Equação - 5 .....	38
Equação - 6 .....	39

### CAPÍTULO 2

Equação - 7 .....	79
Equação - 8 .....	79
Equação - 9 .....	79
Equação - 10 .....	80

### CAPÍTULO 3

Equação – (1) .....	109
Equação – (2) .....	109
Equação – (3) .....	109
Equação – (4) .....	109
Equação – (5) .....	110
Equação – (6) .....	111



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO 1 - REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA NO CULTIVO DE HORTALIÇAS.....</b>	<b>26</b>
1.1 INTRODUÇÃO.....	27
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
1.2.1 Localização e caracterização da área experimental.....	29
1.2.2 Água residuária tratada – ART.....	30
1.2.2.1 ARTS.....	32
1.2.2.2 ARTAC.....	33
1.2.3 Condução das culturas.....	34
1.2.4 Sistema de irrigação.....	35
1.2.5 Manejo da irrigação.....	36
1.2.6 Análises.....	40
1.2.6.1 Água residuária tratada.....	40
1.2.6.2 Alface.....	41
1.2.6.3 Beterraba.....	42
1.2.6.4 Rabanete.....	43
1.2.7 Delineamento experimental.....	44
1.2.8 Análises estatísticas.....	45
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
1.3.1 Alface.....	46
1.3.2 Beterraba.....	52
1.3.3 Rabanete.....	57
1.4 CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
<b>CAPÍTULO 2 – EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA E NUTRIENTES PRESENTES NA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA EM TRÊS CULTURAS HORTÍCOLAS.....</b>	<b>73</b>
2.1 INTRODUÇÃO.....	75
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	76

2.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	81
2.3.1	Produtividade.....	83
2.3.1.1	Alface.....	83
2.3.1.2	Beterraba.....	83
2.3.1.3	Rabanete.....	85
2.3.2	Aporte nutricional.....	87
2.3.3	Eficiência do uso da água.....	93
2.3.3.1	Alface.....	93
2.3.3.2	Beterraba.....	94
2.3.3.3	Rabanete.....	95
2.4	CONCLUSÕES.....	97
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
	<b>CAPÍTULO 3 – OBSTRUÇÃO E UNIFORMIDADE DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO OPERANDO COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA<sup>1</sup>.....</b>	<b>105</b>
3.1	INTRODUÇÃO.....	105
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	107
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	111
3.4	CONCLUSÕES.....	120
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>129</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>130</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

As atividades humanas no geral são extremamente dependentes da água. Entretanto, a utilização deste indispensável recurso na geração de energia, abastecimento humano, lazer, indústria e na agricultura, quando realizada de maneira inadequada, pode comprometer sua qualidade.

Dentre as inúmeras atividades desenvolvidas na agricultura, destaca-se a irrigação, que em regiões de clima seco, é responsável pelo uso de 46% dos recursos hídricos disponíveis (ANA, 2017). A irrigação não pode e não deve competir com o uso da água destinada ao abastecimento, que sempre será prioridade. Segundo a Lei Federal nº 9.433/97 (BRASIL, 2016) que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais. Nesse contexto, as águas destinadas a irrigação são cada vez mais escassas e de pior qualidade. Essa realidade requer a adaptação das técnicas de irrigação existentes e amplamente difundidas às condições atuais e futuras de escassez de água.

O reúso de águas residuárias na irrigação tem sido largamente estudado e recomendado, como opção viável para suprir as necessidades hídricas e, em grande parte, nutricionais da planta (MONTEMURRO et al., 2017; MARQUES et al., 2017; KUMMER et al., 2018). Em diversos países como Alemanha, Austrália, China, Índia, Israel, França e Estados Unidos, já existem grandes áreas irrigadas com águas residuais (ALLENDE; MONAGHAN, 2015; GATTA et al., 2015; BEDBABIS et al., 2015; LIBUTTI et al., 2018).

No Brasil, a legislação sobre reúso de água na irrigação é bastante deficiente, esse fator somado aos poucos estudos científicos sobre o tema, faz com que o mercado consumidor (indústria e população), tenha receio e rejeite o consumo de produtos provenientes da irrigação com água residuária (BRAGA et al., 2014; MARTINS, 2018; OLIVEIRA et al., 2019; SILVA et al., 2019).

A água destinada ao reúso na irrigação deve atender as recomendações da Organização Mundial da Saúde para a qualidade microbiológica (WHO, 1989). Entretanto, no Brasil, não existe uma legislação específica apropriada ao reúso de água na irrigação.

Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2017) em âmbito nacional, a produção de alimentos a partir da agricultura irrigada é responsável por 75% da

vazão de água utilizada no Brasil. Diante dessa situação, faz-se necessário incorporar na irrigação a prática do reúso, utilizando, por exemplo, água residuária tratada – ART.

A Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) define água residuária como sendo esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não. Ainda com menção à mesma Resolução, água de reúso consiste em água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas.

Dentre as águas residuárias largamente empregadas na agricultura, têm-se os esgotos domésticos, que são constituídos basicamente de 99% parte líquida e 0,1% parte sólida (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2005).

A produção brasileira de hortaliças, também dependente da irrigação, cresce a cada ano, tornando o país um dos maiores produtores do mundo. A alface é uma das folhosas mais cultivadas e consumida no Brasil e no mundo; a cultura da beterraba é uma das 15 principais hortaliças em área plantada no estado de São Paulo (SILVA et al., 2015); e o rabanete apesar de não ser muito cultivado no país, é rico em propriedades medicinais como diurético, expectorante e é rico em vitaminas B1, B2, B6 e C (MINAMI; TESSARIOLI NETTO, 1997; CAMARGO et al., 2007).

De acordo com Juchen et al. (2013) e De Albuquerque Júnior et al. (2016) a alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta herbácea oriunda de países de clima temperado, pertencente à família Asteracea e da subfamília Cichoriaceae. Esta hortaliça tem uma enorme importância econômica, social (cultivada por muitos agricultores familiares) e nutricional, pois é fonte de fibras, sais minerais e vitaminas.

A Beterraba (*Beta vulgaris* L.) é oriunda da Europa e Norte da África, mais especificamente nas regiões de clima temperado. Tal espécie é uma planta C3, pertencente à Família botânica Chenopodiaceae, comumente denominada raiz tuberosa e tem seu ciclo compreendido entre 60 e 70 dias, que pode variar em função da cultivar (PIMENTEL, 1998; GONDIM, 2010). Essa hortaliça possui diversos biótipos, dos quais destacam-se a beterraba açucareira, forrageira e hortícola (ESCRIBANO et al., 1998; FILGUEIRA, 2008; GONDIM, 2010; TRANI et al., 2013).

O rabanete (*Raphanus sativus* L.), é originário provavelmente do antigo Egito, pertencente à Família botânica Brassicaceae, apresenta porte reduzido e produz raiz

tuberosa na forma de um bulbo comestível de coloração vermelha e sabor picante. Bastante apreciada no Japão, essa hortaliça possui ainda propriedades medicinais como diurético, antioxidante, expectorante, antiescorbútico e é rico em vitaminas B1, B2, B6, C e ácido nicotínico (MINAMI; TESSARIOLI NETTO, 1997; CAMARGO et al., 2007; FILGUEIRA, 2008; OLIVEIRA et al., 2010; PEDÓ et al., 2010).

Por ser uma hortaliça de ciclo curto, rápido retorno financeiro e com importante atuação para fins medicinais, seu cultivo proporciona benefícios sociais, econômicos e farmacêuticos (MINAMI; TESSARIOLI NETTO, 1997; CECILIO FILHO; MAY, 2002; COSTA et al., 2006; FERREIRA et al., 2011; DA SILVA et al., 2017).

O cultivo de hortaliças no Brasil, mais praticado no estado de São Paulo, tem grande importância econômica e social, pois, é realizado principalmente por pequenos produtores. Atualmente, são produzidas de forma mais tecnificada em grandes áreas irrigadas, o que proporciona maiores produtividades. Devido a possibilidade de consumo *in natura*, a irrigação dessas hortaliças com água residuária, requer a utilização de metodologias de desinfecção, visando eliminar a possibilidade de contaminação.

Grande parte dos processos de tratamento de águas residuárias possuem algumas lacunas na remoção de determinados poluentes e, por esse motivo, são adotadas combinações de dois ou mais sistemas de tratamento visando uma melhor qualidade final do efluente (BRAGA et al., 2014). São exemplos de metodologias utilizadas para desinfecção e polimento de esgoto doméstico, a radiação solar e o sistema de alagados construídos (QUELUZ; SÁNCHEZ-ROMÁN, 2014; QUELUZ, 2016).

Devido aos resultados satisfatórios obtidos com a desinfecção solar de água para consumo (SODIS), outros pesquisadores avaliaram se a mesma tecnologia seria eficiente também na desinfecção de águas residuárias, visando seu reúso na irrigação, tanto de forma exclusiva, quanto combinada com adição de compostos químicos, como por exemplo,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  entre outros (LIBERTI et al., 2003; SÁNCHEZ-ROMÁN et al., 2007; AGULLÓ-BARCELÓ et al., 2013; QUELUZ; SÁNCHEZ-ROMÁN, 2014; SCIACCA et al., 2010; SPUHLER et al., 2010; RINCÓN, PULGARIN, 2006; ALVES, 2015).

Já o sistema de alagados construídos simula os processos de biodegradação ocorrentes em terras alagadas naturais. Segundo Kadlec e Wallace (2008), um dos

pontos fortes desse sistema consiste no elevado potencial de remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica.

A literatura dispõe de pesquisas que constataram resultados positivos em diversas culturas cultivadas utilizando água residuária tratada, como alface (SANDRI et al., 2006; BAUMGARTNER et al., 2007; GUIMARÃES et al., 2016), beterraba (HUSSAR et al., 2005; GOMES, et al., 2015), rabanete (NANDAL et al., 2017; KHALID et al., 2018), cebola (VIDIGAL et al., 2010; SHOCK et al., 2016), algodão (AZEVEDO et al., 2005), pimentão (SOUSA et al., 2006), arroz (SOUSA et al., 2001), feijão (REBOUÇAS et al., 2010; MENEZES et al., 2014; SOUZA et al., 2015) entre outras.

O reúso proveniente do tratamento de esgotos na agricultura, pode reduzir os custos de produção, em função da possibilidade de substituição total e/ou parcial de fertilizantes químicos, proporcionar um significativo aumento na produtividade, além de economizar água direcionada para a irrigação.

Escolheu-se estudar hortaliças, devido a sua importância sócio econômico e ao alto consumo no Brasil, além disso, existem em âmbito nacional, poucas pesquisas que avaliam o desempenho da horticultura irrigada com água residuária tratada.

Diante do exposto e considerando que o cenário hídrico enfrenta escassez qualitativa e quantitativa, aliado ao déficit de saneamento básico no Brasil, os objetivos desse trabalho foram:

- i. Avaliar a viabilidade do uso de água residuária tratada por tanque séptico + SODIS +  $125 \text{ mgL}^{-1} \text{ H}_2\text{O}_2$  (ARTS) e por alagados construídos (ARTAC), através da irrigação localizada nas hortaliças alface, beterraba e rabanete visando sua produção isenta de contaminação por *E. coli*;
- ii. Estimar a produtividade agrícola da alface, beterraba e rabanete, irrigadas com água ARTS e ARTAC;
- iii. Calcular a quantidade dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio (N, P e K), fornecidos via irrigação com ARTS e ARTAC, e comparar com a recomendação de adubação para as hortícolas, visando determinar o percentual de economia da aplicação de fertilizantes químicos, proporcionada pelo reúso da ART;

- iv. Verificar o efeito da irrigação com ARTS e ARTAC na eficiência do uso da água, considerando tanto a lâmina de irrigação isolada (EUAI) como somada a precipitação efetiva (EUAIP);
- v. Avaliar a Razão de Adsorção de Sódio – RAS, o risco de obstrução e a uniformidade de aplicação de água, de um sistema de gotejamento, operando a campo no cultivo de hortaliças, com água de abastecimento (AA), ARTS e ARTAC.

## CAPÍTULO 1 - REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA NO CULTIVO DE HORTALIÇAS

### RESUMO

A incorporação da prática do reúso de água residuária tratada (ART) na horticultura irrigada requer cautela, pois esses alimentos são consumidos principalmente crus, o que aumenta as exigências sanitárias. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade do uso de ART proveniente de tanque séptico + SODIS + 125 mg L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (ARTS) e de alagados construídos (ARTAC), através da irrigação localizada nas hortaliças alface, beterraba e rabanete visando sua produção isenta de contaminação por *Escherichia Coli*. O experimento foi conduzido em condições de campo, organizado em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x5, considerando duas fontes de água residuária tratada (ARTS e ARTAC) e cinco composições da lâmina de irrigação (100%, 75%, 50%, 25%, e 0% ART). Foram realizadas análises físicas e microbiológicas nas amostras de ARTS e ARTAC. Nas hortaliças foram avaliados parâmetros biométricos, químicos e microbiológicos. No geral, a irrigação com ARTAC proporcionou melhor desenvolvimento da alface e beterraba, já para o rabanete foi com ARTS. Os dois sistemas avaliados e as quatro composições da lâmina de irrigação (com ARTS e ARTAC) possibilitaram produção de todas as hortícolas isenta de contaminação com *E. coli*, classificando-as como apta ao consumo humano crua. No entanto, é recomendado a sanitização de toda e qualquer hortaliça antes do seu consumo.

**Palavras chave:** SODIS, irrigação, reutilização, água residuária doméstica.

### ABSTRACT

The practice of reuse treated wastewater (TW) in irrigated horticulture requires caution, as these type of foods is mainly consumed raw, which increases health requirements. Thus, the objective of this study was to evaluate the feasibility of using TW from septic tank + SODIS + 125 mg L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (TWST) and from constructed wetland (WTCW) through drip irrigation on lettuce, beet and radish aiming its

production free from *E. coli* contamination. The experiment was conducted under field conditions, in randomized blocks, in a 2x5 factorial scheme, considering two sources of treated wastewater (TWST and WTCW) and five irrigation depth compositions (100%, 75%, 50%, 25%, and 0% TW). Physical and microbiological analyzes were performed on TWST and WTCW samples. In vegetables, biometric, chemical and microbiological parameters were evaluated. In general, irrigation with WTCW provided better development of lettuce and beets, while for radish it was with TWST. The two evaluated systems and the four irrigation depth compositions (with TWST and WTCW) made it possible to produce all vegetables free of *E. coli* contamination, classifying them as suitable for raw human consumption. However, it is recommended to sanitize any vegetables before consumption.

**Keywords:** SODIS, irrigation, reuse, domestic wastewater treatment.

## 1.1 INTRODUÇÃO

A irrigação é sem dúvida um dos principais fatores intervenientes no desenvolvimento e na produtividade das culturas agrícolas. Entretanto, no Brasil como o regime pluviométrico é mal distribuído e o cenário hídrico é de escassez qualitativa e quantitativa, essa prática tem enfrentado sérias dificuldades.

Aliado a isso, o saneamento básico é deficitário e inexistente em algumas regiões brasileiras, assim, uma alternativa sustentável para amenizar esses problemas, proporcionar uma fonte alternativa de nutrientes e manter a irrigação em épocas de estiagem, é o reúso de águas com qualidade inferior.

No Brasil, anualmente são produzidas 671.509 ton. de alface, 134.969 ton. de beterraba e 8.031 ton. de rabanete (IBGE, 2017). Dessa forma, incorporar a prática do reúso nessa atividade é uma alternativa sustentável, que permite sua continuidade mesmo em épocas de estiagem.

Essas hortaliças são ou podem ser consumidas principalmente na forma in natura, e devido a essa condição é extremamente necessária a sanitização da água de irrigação, em padrões que não coloque em risco sanitário o consumidor (SEDIYAMA et al., 2016).

Assim, inserir a prática do reúso na irrigação de hortaliças, requer que a água residuária utilizada, passe por um processo de desinfecção que elimine ou reduza aos limites estabelecidos na legislação a quantidade de microrganismos patogênicos, os quais oferecem risco a saúde humana. Existem vários métodos de desinfecção e polimento desse efluente, são exemplos, os sistemas que utilizam radiação solar e os alagados construídos.

O sistema de desinfecção solar atua apenas na remoção de organismos patogênicos, não sendo capaz de remover matéria orgânica, por exemplo. De acordo com Daniel e Campos (1993) a radiação ultravioleta (RUV) pode atuar no citoplasma e na membrana celular, causando inativações e modificações nas células bacterianas em termos estruturais e metabólicos.

Queluz e Sánchez-Román (2014), desenvolveram um sistema de desinfecção solar composto por reator de concreto com formato de tronco de cone invertido. Visando aumentar a eficiência da desinfecção solar do sistema proposto por Queluz e Sánchez-Román (2014), Alves (2015) estudou o efeito da adição de diferentes doses de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) no reator. A autora concluiu que a combinação entre a lâmina de 10 cm e a dose de  $125 \text{ mg L}^{-1} H_2O_2$  (PM 34,01) é a mais adequada para o uso seguro de efluentes tratados pelo sistema tanque séptico + SODIS +  $H_2O_2$  na irrigação de alimentos que serão consumidos crus.

Outro sistema eficiente no polimento de águas residuárias, são os alagados construídos (ACs), que possuem como ponto forte, o elevado potencial de remoção de sólidos suspensos (KADLEC; WALLACE, 2008). Queluz (2016) avaliando a remoção de patógenos em sistemas ACs, relatou uma redução logarítmica média de 0,8 a 2,9 logs na concentração de *E. coli* durante 3,2 dias de detenção hidráulica nominal.

Uma das preocupações do cultivo de hortaliças irrigadas com água residuária é o seu consumo *in natura*, porém, existem na literatura, estudos científicos para alface (LONIGRO et al., 2016; URBANO et al., 2017), beterraba (HUSSAR et al. 2005; GOMES et al., 2015) e rabanete (PETOUSI et al., 2014; DANTAS et al., 2014; ANWAR et al., 2016), que obtiveram produtividades superiores ao cultivo convencional, e atendendo aos padrões sanitários.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a viabilidade do uso de água residuária tratada por tanque séptico + SODIS +  $125 \text{ mg L}^{-1} H_2O_2$  (ARTS) e por

alagados construídos (ARTAC), através da irrigação localizada nas hortaliças alface, beterraba e rabanete visando sua produção isenta de contaminação por *E. coli*.

## 1.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado no campo experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCA/UNESP), situada no município de Botucatu, Estado de São Paulo, localizado sob as coordenadas geográficas 22° 51’ 12’’S e 48° 25’ 45’’O e 763 m de altitude média.

Segundo Cunha e Martins (2009), o clima da cidade é considerado como temperado quente (mesotérmico) e úmido (Cwa), com período chuvoso de outubro a maio e seco entre junho e setembro. A temperatura média anual varia de 17,1 a 23,2°C e a precipitação média anual é de aproximadamente 1.500 mm.

De acordo com a nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (2006), o solo da área pertence à classe do Latossolo Vermelho Distrófico.

Na Tabela 1 estão descritos os dados climáticos referentes ao período do experimento, de julho a outubro de 2017, esses dados foram obtidos na estação meteorológica Lageado, instalada próximo da área experimental.

**Tabela 1:** Valores médios mensais de temperatura média (Tm), de umidade relativa do ar (UR), radiação solar global (RDS) e precipitação (P)

<b>Meses</b>	<b>Tm (°C)</b>	<b>UR (%)</b>	<b>RSG (MJ m<sup>-2</sup>)</b>	<b>P (mm)</b>
Julho	17,18	63,54	15,79	0,00
Agosto	18,57	68,58	15,03	74,67
Setembro	22,68	51,73	21,49	28,44
Outubro	21,86	73,15	18,42	151,14

Antes da instalação do experimento, foram realizadas as coletas das amostras de solo na camada de 0 – 20 cm, para análise química (Tabela 2) no Departamento de Solos da FCA/UNESP, conforme metodologia de Raij et al. (2001).

**Tabela 2:** Caracterização inicial do solo

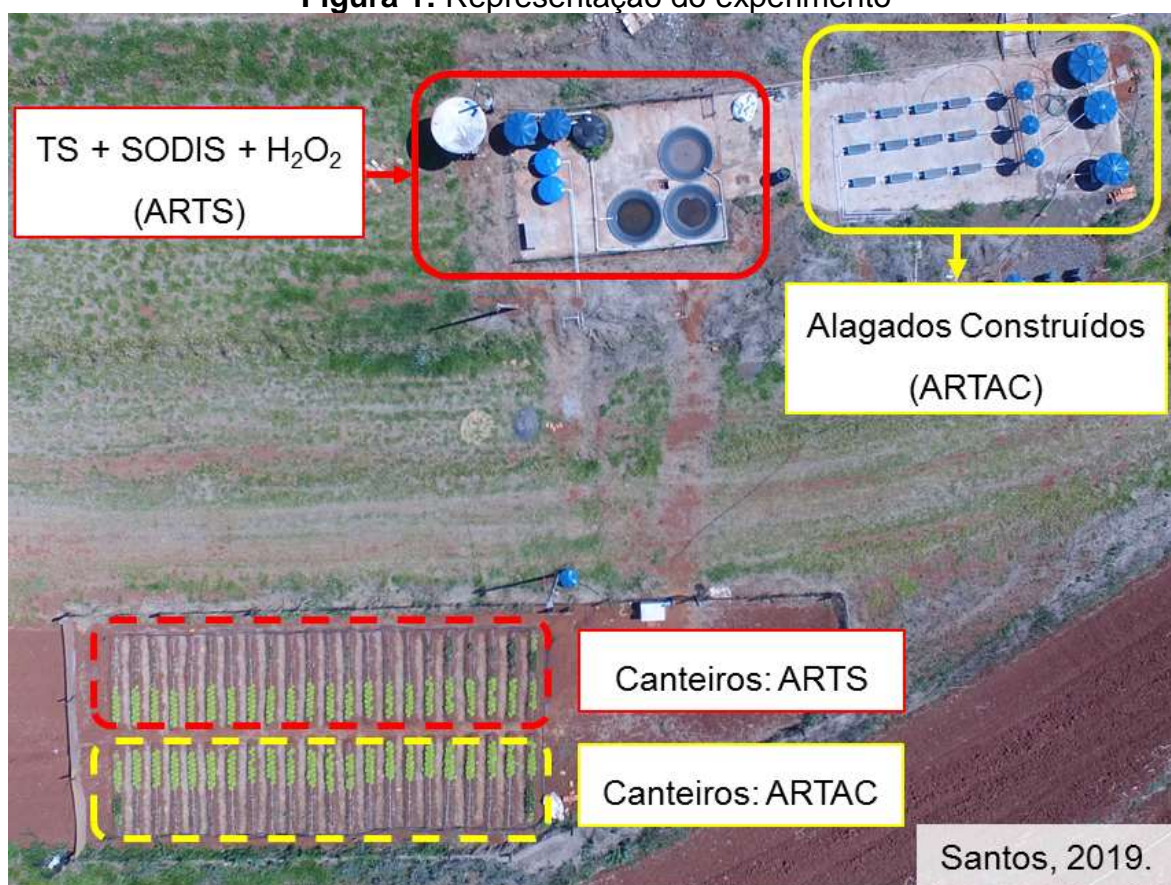
pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl <sub>2</sub>	g/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	-----	mmol/dm <sup>3</sup>	-----	%	-----	mg/dm <sup>3</sup>	---	---	---	---	---	---
5,1	30	29	33	1,4	28	11	40	73	55	0,22	3,9	18	4,8	0,4

Em seguida, foi realizado o preparo das parcelas experimentais para a implantação das hortaliças alface, beterraba e rabanete, com uma aração (20 cm de profundidade) e duas gradagens na área total. A correção da acidez e adubação foram definidas em função da análise de solo, visando garantir as exigências nutricionais da alface (TRANI et al., 2014), beterraba (TRANI et al., 2013) e rabanete (TRANI; RAIJ, 1997).

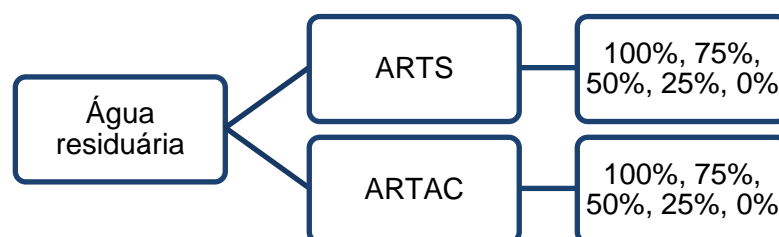
### 1.2.2 Água residuária tratada – ART

A água residuária utilizada na irrigação da alface, beterraba e rabanete, era proveniente de dois sistemas distintos de tratamento: o primeiro (S) composto por tanque séptico (TS) + SODIS + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, seu efluente chamado de ARTS e o segundo (AC) formado por leitos de alagados construídos, sendo seu efluente chamado de ARTAC. Esses efluentes tratados pelos dois sistemas descritos acima, foram então aplicados nas hortaliças, em cinco proporções de ART na lâmina de irrigação (Figura 1 e 2).

**Figura 1:** Representação do experimento



**Figura 2:** Representação das composições da lâmina de irrigação



As proporções de água de abastecimento do Campus Universitário da FCA, proveniente de poço profundo (AA) e ART nas lâminas de irrigação estão descritas na Tabela 3.

**Tabela 3:** Descrição das proporções de AA e ART em cada lâmina de irrigação

<b>Composições</b>	<b>Água residuária tratada - ART (%)</b>	<b>Água de abastecimento – AA (%)</b>
C0 (controle)	0	100
C1	25	75
C2	50	50
C3	75	25
C4	100	0

A composição C0 (controle) foi composta apenas com água de abastecimento da FCA, e adubação conforme recomendação convencional para cada uma das culturas.

O efluente secundário utilizado foi oriundo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Botucatu, o qual era transportado semanalmente por carro pipa até a área experimental, ficando armazenado em caixas d'água de 1000 litros, de onde seguia para os sistemas S e AC.

### 1.2.2.1 ARTS

A ARTS era proveniente de um sistema de tratamento e desinfecção de águas residuárias, composto por um tanque séptico e três reatores de desinfecção solar (Figura 3). O tanque séptico é responsável pela retenção da parte sólida do efluente e pelo início do tratamento biológico, com tempo de retenção hidráulica de 24 horas; e os reatores são responsáveis pela desinfecção do efluente. Cada reator possui formato de tronco cônico invertido e dimensões de raio maior, raio menor e altura de 1,00; 0,25 e 0,30 metros, respectivamente. Essas dimensões implicam em um ângulo de inclinação de 21,8° na parede da estrutura, que evita a formação de sombras, na latitude onde foi realizada a pesquisa, durante o período de desinfecção solar. Esse sistema foi desenvolvido por Queluz e Sánchez-Román (2014).

**Figura 3:** Sistema de tratamento para produção de ARTS



O procedimento para a desinfecção da água residuária utilizada no estudo consistiu no uso de reatores de desinfecção, nos quais foi mantido durante o tratamento uma lâmina de 10 cm de água residuária, adicionado uma dose de 125 mg L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (PM 34,01), seguido de 10 horas de exposição à radiação solar, tratando cada reator um volume de 190 litros. Mediante estudos realizados por Alves (2015) foi estabelecido que essa combinação de lâmina e dose de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> é a mais adequada, visando o uso seguro de efluentes tratados pelo sistema TS + SODIS + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na irrigação de alimentos que serão consumidos crus. Diariamente, todo o volume de ARTS era utilizado na irrigação.

### 1.2.2.2 ARTAC

A ARTAC era obtida por um sistema de tratamento que foi desenvolvido e avaliado por Queluz (2016), sendo composto por três leitos de alagados construídos instalados em paralelo sem cultivo de plantas (Figura 4). Cada leito contém quatro caixas d'água em fibra de vidro, com capacidade aproximada de 100 litros (100 x 35 x 31 cm), entretanto cada leito trata 50 litros por dia, com tempo de detenção hidráulica nominal de 3,2 dias. As caixas são ligadas em série por tubulação de PVC de 50 mm. Nos leitos há um desnível de 2 cm entre as caixas d'água, e como material suporte foi utilizado brita #0, com porosidade média de 51%. Esse sistema entrou em funcionamento 60 dias antes da implantação da cultura, para garantir a formação do biofilme, comunidade microbológica responsável pelo tratamento do efluente.

**Figura 4:** Sistema de tratamento para produção da ARTAC

### 1.2.3 Condução das culturas

As culturas utilizadas no experimento foram as hortaliças alface (*Lactuca sativa* L.), cultivar Vera; beterraba (*Beta vulgaris* L.), variedade Early Wonder Tall Top; e rabanete (*Raphanus sativus* L.), variedade F1 Híbrido HS 2030, cultivadas em canteiros (2,0 m x 0,5 m), detalhadas na Tabela 4.

**Tabela 4:** Detalhes da condução das culturas

<b>Culturas</b>	<b>Período</b>	<b>Espaçamento (m)</b>	<b>Duração do ciclo (dias)</b>
Alface	25/07/17 a 03/09/17	0,25 x 0,25	40
Beterraba	25/07/17 a 23/10/17	0,10 x 0,10	90
Rabanete	13/09/17 a 18/10/17	0,10 x 0,10	35

Para a alface e beterraba foi feito o transplântio das mudas nos canteiros, já para o rabanete foi realizado o plantio direto após a colheita da alface. O canteiro foi dividido em duas partes, na primeira metade foi cultivada a beterraba, e na segunda a alface (Figura 5). Cada metade era composto por duas fileiras de plantas e uma

linha de gotejadores. Para a área útil foram descartadas as duas primeiras plantas de cada fileira.

**Figura 5:** Área experimental cultivada com as hortaliças



A adubação desde a fundação até à cobertura foi feita de acordo com o recomendado para a alface (TRANI et al., 2014), beterraba (TRANI et al., 2013) e rabanete (TRANI; RAIJ, 1997) e com base na análise de solo. Para o controle (0% ART) foi feita a adubação completa, já para as composições com ART, foi feito apenas a adubação de plantio com modificações, aplicando percentuais da recomendação da seguinte forma, fósforo e nitrogênio 100% e 70% de potássio, conforme análise da fertilidade do solo (Tabela 2).

Os tratos culturais e o controle fitossanitário utilizados foram semelhantes àqueles comumente empregados nas culturas, objetivando manter a área livre de plantas daninhas, pragas e doenças.

#### **1.2.4 Sistema de irrigação**

Para aplicação da ARTS e da ARTAC, foi montado um sistema de irrigação idêntico e individual para cada um dos efluentes.

Assim, o sistema era composto por unidade de bombeamento da água residuária, contendo uma motobomba periférica SOMAR, SHP-35, ½ cv, um manômetro para monitoramento da pressão do sistema (10 bar) e um filtro de disco Azud Modular 100 (3/4") de 120 mesh para filtragem de água e máxima vazão de 5 m<sup>3</sup>/h.

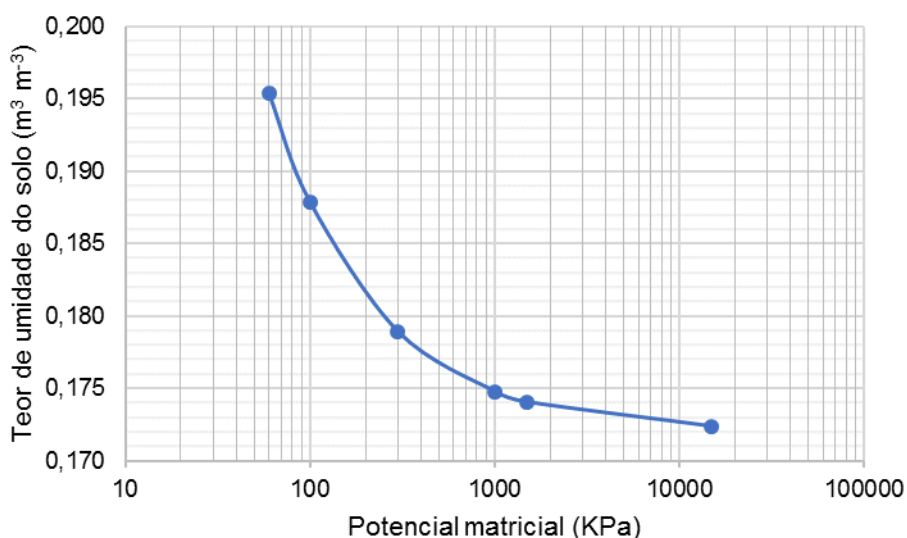
A aplicação da ART foi feita por gotejamento, utilizando-se a mangueira gotejadora NaanPC 25, espessura da parede 0,65 mm, diâmetro interno 16 mm,

espaçamento 60 cm, pressão de trabalho 1,0 a 2,5 bar e vazão nominal 2,5 L h<sup>-1</sup>. Em cada canteiro foram instaladas duas linhas de gotejo, com emissores alternados, resultando em um espaçamento de 30 cm entre emissores, visando a formação da faixa molhada.

### **1.2.5 Manejo da irrigação**

O manejo de irrigação foi executado via solo, com a utilização de tensiômetros instalados na profundidade média do sistema radicular efetivo (15 cm de profundidade) das culturas e com base na curva de retenção de água do solo, afim de se repor a umidade do solo a 100% da capacidade de campo. Foram instaladas seis baterias de tensiômetros para determinação do potencial matricial da água no solo, sendo cada bateria constituída por três tensiômetros (todos na mesma profundidade).

Para a determinação da curva de retenção de água, coletou-se amostras de solo na profundidade de 0,20 m. As mesmas foram analisadas no Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP, utilizando o método da câmara de pressão de Richards. Foram obtidos os valores de umidade do solo em função do potencial matricial, posteriormente essa curva (Figura 6) foi ajustada no software SWRC, utilizando modelo proposto por Van Genuchten (1980) (Equação 1) (DOURADO NETO et al., 1995), gerando os parâmetros  $\alpha$ ,  $n$ ,  $m$ ,  $\theta_r$  e  $\theta_s$  (Tabela 5).

**Figura 6:** Curva da equação de Van Genuchten para o solo do experimento

$$\theta = \theta_r + \left( \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + \alpha \Psi_m^n]^m} \right)$$

Equação - 1

Em que:

 $\theta_r$  – Umidade volumétrica residual, m³ m⁻³; $\theta_s$  – Umidade volumétrica de saturação, m³ m⁻³; $\Psi_m$  – Potencial matricial da água no solo, kPa; $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  – Parâmetros empíricos da equação de van Genuchten.**Tabela 5:** Parâmetros da equação obtidos pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980)

Camada (m)	$\alpha$	$m$	$n$	$\theta_r$	$\theta_s$
				(cm³ cm⁻³)	
0 – 20	1,225	0,260	2,918	0,172	0,782

De posse dos dados da curva de retenção (Figura 6) e com a obtenção do potencial matricial diário, foi determinado o tempo de irrigação, considerando as equações para o cálculo: da porcentagem de água disponível (Equação 2), da umidade de reposição (Equação 3), da lâmina líquida de irrigação (Equação 4), da lâmina bruta (Equação 5) e do tempo de irrigação (Equação 6). Este cálculo foi realizado através do uso de uma planilha eletrônica desenvolvida e adaptada para

este tipo de manejo, considerando dados relacionados a características do solo, profundidade do sistema radicular da cultura e dados do sistema de irrigação utilizado.

$$AD = \left( \frac{\theta_{\text{atual}} - \theta_{\text{pmp}}}{\theta_{\text{cc}} - \theta_{\text{pmp}}} \right) * 100 \quad \text{Equação - 2}$$

Em que:

AD – Porcentagem de água disponível;

$\theta_{\text{atual}}$  – Umidade volumétrica atual,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ;

$\theta_{\text{pmp}}$  – Umidade volumétrica do ponto de murcha permanente,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  correspondente a pressão de 15000 KPa;

$\theta_{\text{cc}}$  – Umidade volumétrica da capacidade de campo,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  correspondente a pressão de 7 KPa.

$$\theta_{\text{rep}} = (\theta_{\text{AD}} - \theta_{\text{atual}}) \quad \text{Equação - 3}$$

Em que:

$\theta_{\text{rep}}$  – Umidade volumétrica de reposição,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ;

$\theta_{\text{AD}}$  – Umidade volumétrica correspondente à percentagem de água disponível a ser repostada (100%),  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

$$LL_i = \theta_{\text{rep}} * Z_i \quad \text{Equação - 4}$$

Em que:

$LL_i$  – Lâmina líquida a ser repostada, mm;

$Z_i$  – Espessura da camada i, em mm.

$$LB = \frac{LL_i}{E_i} \quad \text{Equação - 5}$$

Em que:

$LL_i$  – Lâmina líquida, mm;

$E_i$  – Eficiência de irrigação (adotado 0,87, de acordo com Ventura et al., 2017);

LB – Lâmina bruta, mm.

$$TI = \frac{LB \cdot E1 \cdot E2}{n \cdot q}$$

Equação - 6

Em que:

TI - tempo de irrigação (h);

E1 - Espaçamento entre plantas (m);

E2 - Espaçamento entre linhas de plantas (m);

n - Número de emissores (gotejador) por planta;

q - Vazão do emissor (gotejador) (L h<sup>-1</sup>).

As lâminas de irrigação determinadas utilizando a tensiometria foram divididas de acordo com as composições aplicadas. Uma vez determinada a lâmina, as aplicações de suas composições (0, 25, 50, 75 e 100% de água residuária na lâmina total de irrigação a ser aplicada) foram controladas a partir de painéis (Figura 7), nos quais os registros da direita eram para controle da água de abastecimento (AA), os registros da esquerda para controle da ART, e o registro central para segurança, caso algum dia não houvesse ART, a irrigação seria realizada com AA. Foram confeccionados dois painéis idênticos, um para ARTS e outro para ARTAC. Na composição 0% ART só era irrigado com AA, 25% ART era irrigado 25% do tempo definido ART e 75% com AA, 50% ART era irrigado 50% do tempo definido com ART e 50% com AA, 75% ART era irrigado 75% do tempo definido com ART e 25% com AA e o 100% ART era irrigado 100% do tempo definido com ART.

**Figura 7:** Painéis controladores da irrigação



Durante a condução do experimento, só não foi aplicado água residuária tratada nas culturas, nos dias onde ocorreu precipitação, ou em dias subsequentes a precipitação onde a leitura do tensiômetro mostrava que não existia necessidade de irrigação.

## 1.2.6 Análises

### 1.2.6.1 Água residuária tratada

Segundo Sousa et al. (2006), faz se necessário a avaliação da água residuária destinada a irrigação, visto que estas podem criar problemas a saúde pública, além da contaminação do ambiente, dos trabalhadores em seus locais de cultivos e dos consumidores. Foram avaliadas na ARTS e na ARTAC, sólidos suspensos (SM 2540D), coliformes totais (SM 9223B) e fecais – *E. coli* (SM 9223B), pelo método *Enzyme Substrate Test* (APHA, 2012). Tais análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP.

### 1.2.6.2 Alface

Após a colheita, foram avaliadas variáveis biométricas e microbiológicas da alface. As variáveis biométricas foram: circunferência da cabeça (cm), com o auxílio de uma fita métrica; área foliar (cm<sup>2</sup>), foram separadas três plantas de cada composição e fotografadas todas as folhas, posteriormente as imagens foram analisadas no software ImageJ (<http://imagej.nih.gov/ij/>) segundo metodologia proposta por Schneider, Rasband e Eliceiri (2012) e Weraduwage et al. (2015); número de folhas; massa fresca e seca da parte aérea, obtido após secagem em estufa de circulação de ar forçada a 65°C até atingir massa constante, seguido de pesagem em balança eletrônica (precisão de 0,1g).

Para proceder a análise microbiológica, foram coletadas amostras de alface em cada composição, as quais foram encaminhadas para o Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP. Em seguida, foram retirados 25 g de cada amostra, transferidas para sacos plásticos estéreis e adicionado 225 mL de solução de NaCl 0,85%. Após esse preparo, as amostras foram processadas no Stomacher 400 circulator (Figura 8) por 30 segundos, em rotação de 230 rpm, para maximizar a extração de microrganismos da amostra, no Laboratório Microbiologia de Alimentos, Instituto de Biociências, UNESP, Botucatu-SP.

**Figura 8:** Stomacher 400 circulator



Da amostra processada (Figura 9), foram retirados uma alíquota de 100 mL, para análise microbiológica da quantidade de coliformes totais e *E. coli*, conforme metodologia do Standard Methods for the Analysis Water and Wastewater (APHA, 2012). Essa análise foi realizada no dia da colheita.

**Figura 9:** Amostra processada após passar pelo Stomacher



### 1.2.6.3 Beterraba

Após a colheita, foram avaliadas variáveis biométricas, microbiológicas e química da beterraba.

As variáveis biométricas foram: diâmetro transversal, medido com o auxílio de um paquímetro digital; altura da parte aérea; comprimento da raiz, ambos medidos com auxílio de uma régua (cm); massa fresca e seca do bulbo, obtido após secagem em estufa de circulação de ar forçada a 65°C até atingir massa constante, seguido de mensurações em balança eletrônica (precisão de 0,1 g); número de folhas.

Já a análise química foi a avaliação do teor de sólidos solúveis (°Brix) através de refratômetro digital Atago (modelo ATC – 1E).

Para proceder a análise microbiológica, foram coletadas amostras de beterraba em cada composição, as quais foram encaminhadas para o Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP. Em seguida, foram retirados 25 g de cada amostra, transferidas para sacos plásticos estéreis e adicionado 225 mL de solução de NaCl 0,85%. Após esse preparo, as amostras foram processadas no Stomacher 400 circulator, por 30 segundos em

rotação de 230 rpm, no Laboratório Microbiologia de Alimentos, Instituto de Biociências, UNESP, Botucatu-SP.

Da amostra processada (Figura 10), foram retirados uma alíquota de 100 mL, para análise microbiológica da quantidade de coliformes totais e *E. coli*, conforme metodologia do Standard Methods for the Analysis Water and Wastewater (SM 9223B, APHA, 2012). Essa análise foi realizada no dia da colheita.

**Figura 10:** Amostra processada após passar pelo Stomacher



#### 1.2.6.4 Rabanete

Após a colheita, foram avaliadas variáveis biométricas, microbiológicas e química no rabanete.

As variáveis biométricas foram: diâmetro transversal, medido com o auxílio de um paquímetro digital; altura da parte aérea; comprimento da raiz, ambos medidos com auxílio de uma régua (cm); massa fresca e seca da raiz, obtido após secagem em estufa de circulação de ar forçada a 65°C até atingir massa constante, seguido de pesagem em balança eletrônica (precisão de 0,1g); número de folhas.

Já a análise química foi a avaliação do teor de sólidos solúveis (°Brix) através de refratômetro digital Atago (modelo ATC – 1E).

Para proceder a análise microbiológica, foram coletadas amostras de rabanete em cada composição, as quais foram encaminhadas para o Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP. Em seguida, foram retirados 25 g de cada amostra, transferidas para sacos plásticos estéreis e adicionado 225 mL de solução de NaCl 0,85%. Após esse preparo, as amostras foram processadas no Stomacher 400 circulator, por 30 segundos em rotação de 230 rpm, no Laboratório Microbiologia de Alimentos, Instituto de Biociências, UNESP, Botucatu-SP.

Da amostra processada, foram retirados uma alíquota de 100 mL, para análise microbiológica da quantidade de coliformes totais e fecais – SM 9223B (NMP 100 mL<sup>-1</sup>). As amostras foram transportadas e preservadas conforme metodologia SM 1060B e SM 1060C do Standard Methods for the Analysis Water and Wastewater (APHA, 2012). Essa análise foi realizada no dia da colheita.

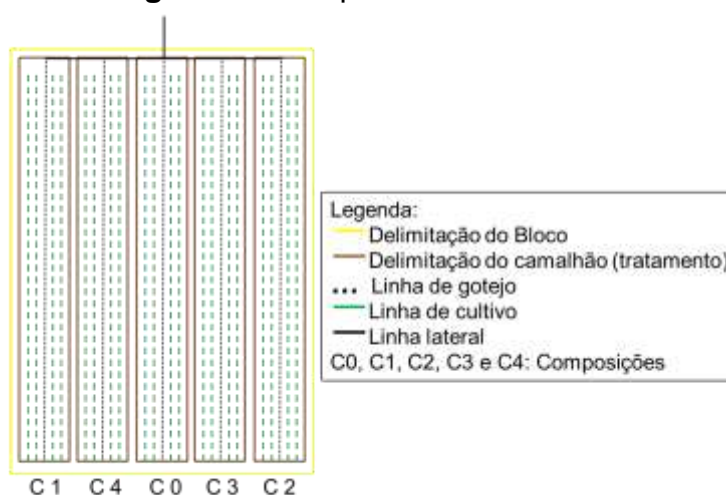
### **1.2.7 Delineamento experimental**

Tanto para as duas águas residuárias tratadas (ARTS e ARTAC) quanto para a três culturas foi adotado o mesmo delineamento experimental, que consistiu em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x5, considerando duas fontes de água residuária tratada e cinco composições da lâmina de irrigação (100%, 75%, 50%, 25%, e 0% ART). Cada canteiro continha 1 linha de gotejo entre as duas fileiras de plantas, sendo cada planta considerada uma repetição (Figuras 11 e 12).

**Figura 11: Delineamento experimental**



**Figura 12: Croqui de um bloco**



### 1.2.8 Análises estatísticas

A análise estatística foi realizada por meio de análise de variância dos dados, pelo teste Scott-Knott com base na significância de 5%, sendo utilizado o software Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2007).

A utilização do teste de Scott-Knott, segundo Bhering et al. (2008), tem uma grande vantagem em relação aos demais testes de comparações múltiplas que é a exclusão da ambiguidade nos seus resultados, percebidos no teste de Tukey, amplamente utilizado nas pesquisas científicas.

### 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 podem ser observados os resultados da caracterização física e microbiológica da AA, ARTS e ARTAC.

**Tabela 6:** Parâmetros físico e microbiológico da AA e ART

Parâmetros	AA	ARTS	ARTAC
Sólidos suspensos totais (mg L <sup>-1</sup> )	-	45,00	25,00
Coliformes totais (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	-	4,95x10 <sup>3</sup>	5,15x10 <sup>2</sup>
Coliformes fecais (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	-	1,81x10 <sup>2</sup>	1,26x10 <sup>2</sup>

Verificou-se que tanto na ARTS quanto na ARTAC, a quantidade de *E. coli* foi inferior ao limite estabelecido (10<sup>3</sup>) nas recomendações da WHO (2006). Esse resultado também é semelhante aos apresentados por Balkhair (2016), Makkaew et al. (2016), Li e Wen (2016), trabalhando com efluente doméstico tratado.

Valores superiores de *E. coli* aos obtidos nesta pesquisa, foram relatados por Gatta et al. (2015) de 4,4 x 10<sup>3</sup> UFC 100 mL<sup>-1</sup>, Beneduce et al. (2017) de 4,0 x 10<sup>3</sup> UFC 100 mL<sup>-1</sup>, Libutti et al. (2018) de 3,0 x 10<sup>3</sup> UFC 100 mL<sup>-1</sup>, todos trabalhando com efluente doméstico tratado.

#### 1.3.1 Alface

Na Tabela 7, é possível observar os valores dos parâmetros biométricos avaliados na cultura do alface.

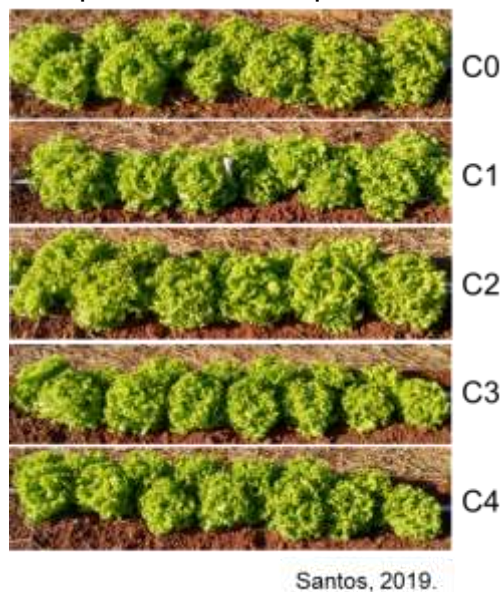
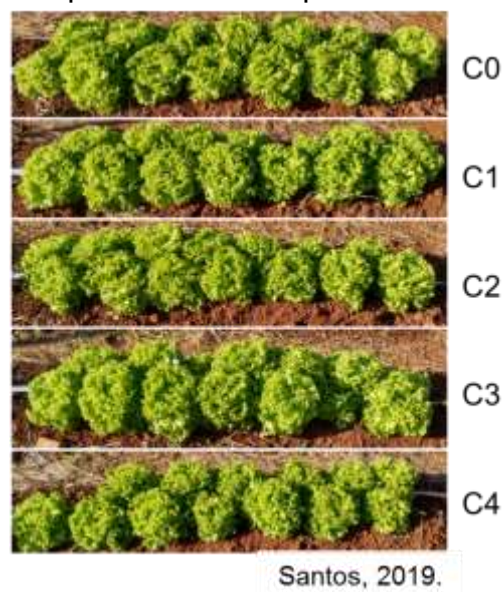
**Tabela 7:** Resultados dos parâmetros biométricos avaliados na alface

Parâmetros	Sistema	Percentual de água residuária tratada – ART				
		0	25	50	75	100
Circunferência (cm)	S	47,6 aA	40,7 aA	44,9 aA	47,1 aA	44,4 aA
	AC	49,9 aA	50,4 bA	49,3 aA	50,4 aA	52,6 bA
Área foliar (cm <sup>2</sup> )	S	2627,7 aA	3020,3 aA	2659,6 aA	2168,9 aA	2253,9 aA
	AC	2953,9 aA	3179,1 aA	3096,1 aA	3020,5 aA	3116,7 aA
Massa fresca (g)	S	181,9 aA	157,7 aA	190,4 aA	210,1 aA	173,8 aA
	AC	209,8 aA	213,1 bA	200,2 aA	228,0 aA	219,1 bA
Massa seca (g)	S	10,9 aA	8,3 aA	9,5 aA	11,9 aA	9,3 aA
	AC	10,9 aA	13,4 bA	12,6 aA	14,2 aA	13,5 aA
Número de folhas	S	19,8 aA	17,5 aA	19,3 aA	18,5 aA	18,8 aA
	AC	20,0 aA	20,0 bA	20,0 aA	20,8 bA	20,0 aA

S: TS + SODIS + 125 mg L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; AC: alagados construídos.

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.

A alface respondeu de forma positiva ao cultivo irrigado ARTS e ARTAC (Figuras 13 e 14), uma vez que os valores numéricos dos parâmetros circunferência, área foliar, massa fresca e número de folhas foram superiores se comparados a forma convencional de produção (0% ART). Verificou-se pelo teste de Scott-Knott que houve diferença significativa entre os sistemas de tratamento de água residuária e o controle ( $p > 0,05$ ), como também entre as composições da lâmina de irrigação, para todos os parâmetros biométricos avaliados na alface, exceto para área foliar (Tabela 7).

**Figura 13:** Exemplos de alface provenientes do sistema S**Figura 14:** Exemplos de alface provenientes do sistema AC

Com relação a massa fresca da alface, a lâmina 75% ART de ambos os sistemas (S e AC) proporcionou as maiores médias de matéria fresca, com valores de 210,1 e 228,0 g respectivamente. Resultado semelhante foi obtido por Urbano et al. (2017), em cultivo de alface irrigada com esgoto doméstico tratado e adubação convencional parcial, que obtiveram 215 g de massa fresca. Valores inferiores de massa fresca, foram relatados por Cuba et al. (2015) e Carvalho et al. (2018) avaliando o aproveitamento de esgoto doméstico tratado (sem adubação complementar) no cultivo hidropônico de alface, os autores constataram 118,6 e

113,7 g de massa fresca. Com relação a matéria seca, os valores obtidos neste trabalho estão de acordo com a literatura (SANDRI et al., 2007; CHEKLI et al., 2017; VERGINE et al., 2017; CARVALHO et al., 2018; PENG et al.; 2018).

Vale ressaltar que neste trabalho foi feita apenas a adubação de plantio (parcial), após a implantação da cultura as composições irrigadas com ARTS e ARTAC não receberam nenhum tipo de fertilização complementar, confirmando assim o potencial nutricional desse efluente, uma vez que os valores de massa fresca da alface obtidos aqui são semelhantes e até superiores aos relatados na literatura (SANDRI et al., 2007; CUBA et al., 2015; URBANO et al., 2017), para cultivos que combinam o uso de água residuária e adubação complementar.

Quanto a circunferência da cabeça (Tabela 7), os maiores valores foram obtidos na lâmina 75% ARTS (47,1 cm) e 100% ARTAC (52,6 cm). Fazendo uma comparação com o sistema de cultivo convencional (0% ART), houve diferença significativa apenas para as lâminas 25 e 75% ARTAC. Os valores obtidos da circunferência foram mais elevados que os apresentados por Chagas et al. (2015), de 37 cm, por Ventura (2017), de 32,8 cm, por Pereira et al. (2018), de 37,96 cm e por Costa et al. (2018), de 38,53 cm, também para alface crespa.

Segundo Yuri et al. (2015), a circunferência da cabeça é importante para o processamento da alface, pois valores reduzidos desse parâmetro reduzem o rendimento dessa atividade. Outro fator relevante dessa característica, é que este parâmetro tem influência direta na preferência dos consumidores durante a aquisição da hortaliça.

Para o parâmetro número de folhas (Tabela 7), nos dois sistemas avaliados (S e AC) os valores foram iguais estatisticamente ao sistema convencional de produção (0% ART). Os maiores valores numéricos desse parâmetro foram 19,3 (25% ARTS); 20,8 (50% ARTAC) e 20 folhas respectivamente. Avaliando o cultivo hidropônico de alface com diferentes diluições de lodo de esgoto, Peng et al. (2018), obtiveram valor médio de 16 folhas. Guimarães et al. (2016), buscando perceber a influência de água residuária salina da piscicultura no cultivo de alface, alcançaram 20,6 folhas. Tais resultados corroboram com os encontrados nesta pesquisa.

O valor numérico do parâmetro área foliar (Tabela 7) foi superior nas plantas irrigadas com água residuária tratada pelos dois sistemas. Os maiores valores foram obtidos na lâmina 25% ART para ambos os sistemas, sendo 3020,3 cm<sup>2</sup> no S e 3179,1 cm<sup>2</sup> no AC. Resultados semelhantes foram relatados por Sandri et al. (2007),

trabalhando com alface Elisa irrigada com esgoto doméstico tratado em reator anaeróbio compartimentado, esses autores obtiveram 3075,23 cm<sup>2</sup> de área foliar. Também concordando com os dados obtidos nesta pesquisa, Freire et al. (2016) encontraram 3155,5 cm<sup>2</sup>, em cultivo de alface crespa fertilizada com urina de vaca. Guimarães et al. (2016) constataram resultados inferiores de área foliar, esses autores obtiveram 1702,44 cm<sup>2</sup>. Já Stagnari et al. (2015), avaliando doses crescentes de nitrogênio no cultivo de alface encontraram 1500 cm<sup>2</sup> de área foliar.

Na avaliação do desenvolvimento da planta, a área foliar e a massa seca são parâmetros essenciais. Segundo Sandri et al. (2007) quanto maior for a área foliar, maior será a quantidade de material produzido na fotossíntese; além disso, conforme observado por Zuffo et al. (2016), a massa seca representa a capacidade de fixação de CO<sub>2</sub> através da fotossíntese, assim, plantas com maior área foliar, terão também maior potencial para realizar fotossíntese, processo que governa o desenvolvimento vegetal.

De maneira geral, os parâmetros biométricos refletem o desenvolvimento da planta. Mediante os dados apresetados neste trabalho, tem-se que as plantas submetidas às lâminas crescentes de irrigação com água residuária tratada se desenvolveram melhor, uma vez que apresentaram maiores valores desses parâmetros. Resposta semelhante obtiveram Duarte et al. (2012), quando utilizaram efluente de manipueira em substituição à adubação mineral no cultivo de alface.

Fazendo uma comparação entre os parâmetros área foliar e Massa fresca, características essenciais na escolha da alface pelo consumidor, verificou-se que as maiores médias de Massa fresca foram obtidas na lâmina 75% ART para ambos os sistemas, em contra partida, nessa mesma lâmina, obtiveram-se as menores médias de área foliar, porém com valores superiores aos relatados na literatura (STAGNARI et al., 2015; GUIMARÃES et al., 2016). Dessa forma, percebeu-se que a irrigação com água residuária tratada pelos dois sistemas avaliados, favoreceu o ganho de peso da alface e a expansão foliar.

Com relação a qualidade microbiológica da alface, irrigada com ARTS e ARTAC, nas quatro composições da lâmina de irrigação, não foi constatado contaminação por *E. coli* na hortaliça. Os resultados das análises microbiológicas para todos os tratamentos, indicaram valores inferiores (<1 NMP 100 g<sup>-1</sup> de amostra) ao limite recomendado pela legislação brasileira, através da RDC nº 12/2001 (BRASIL, 2019). Segundo essa regulamentação, as hortaliças frescas "in natura",

preparadas (descascadas ou selecionadas ou fracionadas) sanificadas, refrigeradas ou congeladas, para consumo direto, podem apresentar até  $10^4$  NMP  $100 \text{ g}^{-1}$  de coliformes fecais.

Esse resultado também está de acordo com a recomendação internacional, segundo citação de Obuobie et al. (2006), a Comissão Internacional de Especificações Microbiológicas para Alimentos estabelece limite de coliformes fecais em hortaliças frescas de  $1,0 \times 10^3$  NMP  $\text{g}^{-1}$ .

Resultados semelhantes em cultivos de alface com água residuária tratada, tanto via irrigação quanto via hidroponia, foram obtidos por Biscaro (2003), Ceuppens et al. (2014), Cuba et al. (2015), Li e Wen (2016), Lonigro et al. (2016), Urbano et al. (2017), Eregno et al. (2017), Decol et al. (2019).

Resultados distintos foram obtidos por Vergine et al. (2017) avaliando a qualidade microbiológica da alface submetida a irrigação por gotejamento com efluente municipal tratado, que constataram presença de *E. coli* ( $45 \text{ UFC } 10 \text{ g}^{-1}$ ) na hortaliça, entretanto esse valor está dentro do limite estabelecido na legislação nacional ( $10^2$  NMP  $\text{g}^{-1}$ ) e internacional ( $10^3$  NMP  $\text{g}^{-1}$ ). Farhadkhani et al. (2018) também verificou a presença desse patógeno ( $4 \times 10^3$  UFC  $100 \text{ g}^{-1}$ ) em alface irrigada por sulco, com esgoto doméstico tratado (processo secundário).

Apesar de constatada a presença de *E. coli* nos estudos de Vergine et al. (2017) e Farhadkhani et al. (2018), apenas no segundo trabalho, onde o método de irrigação adotado foi por sulco, o limite do patógeno excedeu o previsto na legislação. Nesta pesquisa e na de Vergine et al. (2017), foi utilizada o gotejamento e a alface produzida atende as exigências microbiológicas, reforçando assim, a importância da escolha do método de irrigação adequado para evitar contaminação das culturas quando se trabalha com água residuária.

Os resultados aqui apresentados evidenciam a necessidade da criação de uma legislação específica e rigorosa a respeito do uso de água residuária na irrigação, alicerçado em estudos científicos dessa natureza, que permita e fomente o reúso de ART. Na literatura nacional e internacional (CUBA et al., 2015; BEDBABIS et al., 2015; ALLENDE; MONAGHAN, 2015; MAKKAEW et al., 2016; GATTA et al., 2016; URBANO et al., 2017; EREGNO et al., 2017; BENEDEUCE et al., 2017; LIBUTTI et al., 2018; CARVALHO et al., 2018) existem pesquisas nessa temática, para várias culturas, as quais apresentam os benefícios e as recomendações dessa prática.

### 1.3.2 Beterraba

Na Tabela 8, é possível observar os valores dos parâmetros biométricos avaliados na cultura da beterraba.

**Tabela 8:** Resultados dos parâmetros biométricos avaliados na beterraba

Parâmetros	Sistemas	Percentual de água residuária tratada - ART				
		0	25	50	75	100
Altura da parte aérea (cm)	S	39,08 aA	38,99 aA	41,50 aA	40,88 aA	41,93 aA
	AC	39,10 aA	40,03 aA	41,98 aB	42,73 aB	44,65 aB
Comprimento da raiz (cm)	S	9,58 aA	10,34 aA	10,62 aA	10,88 aA	11,57 aA
	AC	8,83 aA	10,00 aA	11,67 aA	9,17 aA	9,33 aA
Massa fresca (g)	S	161,2 aA	199,5 aA	202,2 aA	235,6 aA	220,5 aA
	AC	191,2aA	185,9 aA	233,9 aB	258,8 aB	288,5 bB
Massa seca (g)	S	40,7 aA	34,9 aA	37,9 aA	39,3 aA	34,6 aA
	AC	36,5 aA	36,4 aA	34,6 aA	38,8 aA	37,8 aA
Diâmetro transversal (mm)	S	67,99 aA	73,53 aA	73,37 aA	78,36 aA	76,13 aA
	AC	75,10 aA	74,11 aA	79,95 aA	82,95 aA	79,92 aA
Número de folhas	S	17,42 aA	16,59 aA	16,92 aA	19,00 aA	20,17 aA
	AC	15,33 aA	17,50 aB	15,09 aA	18,59 aB	14,92 bA

S: TS + SODIS + 125 mg L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; AC: alagados construídos. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.

A beterraba respondeu de forma positiva ao cultivo irrigado com água residuária tratada por ambos os sistemas, uma vez que em algumas composições da lâmina de irrigação tanto com ARTS quanto com ARTAC, os valores numéricos de alguns parâmetros analisados foram superiores se comparado ao controle (0% ART), forma convencional de produção. Resultados similares, onde a incorporação de fontes ricas em matéria orgânica no cultivo da beterraba, seja através da irrigação com água residuária tratada; da adição de cobertura morta e doses de lodo de lagoa de decantação de água residuária de suinocultura; e de adubação com esterco bovino, também foram constatados por Gomes et al. (2015), Sedyama et al. (2011) e Façanha et al. (2010), respectivamente.

A ARTAC e ARTS favoreceram o desenvolvimento vegetativo da beterraba, uma vez que tanto a altura da parte aérea, quanto o número de folhas, foram maiores quando comparados ao controle (0% ART) (Tabela 8), muito provavelmente em virtude da maior oferta de nutrientes proporcionada pela irrigação com água residuária tratada (ART).

A irrigação com ARTAC proporcionou maior altura da parte aérea em relação ao controle (0% ART) e a ARTS, sendo essa diferença significativa estatisticamente nas composições 50, 75 e 100% ART. Os maiores valores desse parâmetro, foram obtidos na composição 100% tanto para ARTS como para ARTAC, atingindo médias de 41,9 e 44,7 cm, respectivamente. Resultados similares foram verificados por Alves et al. (2008) que, ao estudarem o crescimento da beterraba em função da omissão de nutrientes, observaram altura média de plantas de 40,5 cm no tratamento simulando o plantio convencional da cultura, com fornecimento de todos os nutrientes necessários.

De acordo com Marques et al. (2010) e Linhares et al. (2012), a incorporação de fontes orgânicas no cultivo da beterraba contribui para a melhoria da fertilidade do solo, além de favorecer o desenvolvimento da cultura.

O número de folhas foi superior com ARTS, atingindo valor máximo de 20,17 para a lâmina 100% ARTS, sendo a diferença considerada significativa para essa mesma lâmina, em ambos os sistemas utilizados nesta pesquisa. De um modo geral, o número médio de folhas (considerando as lâminas 25, 50, 75 e 100% ART) para as plantas cultivadas com ARTS e ARTAC, foram 18,2 e 16,5 respectivamente. Esses resultados são superiores aos obtidos por Alves et al. (2008) e Gondim et al. (2011), que obtiveram médias de 13,0 e 11,2 folhas, em cultivo convencional da beterraba.

Sabe-se que a fotossíntese é o processo responsável pela conversão de energia solar em energia química, pelas plantas, mais especificamente pelas folhas, e que a eficiência fotossintética afeta diretamente a produtividade das culturas agrícolas. Assim, quanto maior o número de folhas e o desenvolvimento da parte aérea, maior também será sua atividade fotossintética da planta, refletindo no melhor desenvolvimento das culturas (KERBAUY, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2007).

Essa teoria foi ratificada neste trabalho, pois as plantas com mais folhas oriundas dos tratamentos irrigados com ART, apresentaram melhores rendimentos em termos de massa fresca, para a cultura da beterraba. Resultados semelhantes

foram constatados para outras culturas como pastagens (GOMIDE; GOMIDE, 2000); milho (BERGONCI et al., 2001); sorgo (PARFITT, 2000); cana de açúcar (SANTOS et al., 2011); melão (FARIAS et al., 2003); alface e rúcula (OLIVEIRA et al., 2010).

Não houve diferença significativa entre ARTAC, ARTS e o controle ( $p > 0,05$ ), como também entre as composições da lâmina de irrigação, para os parâmetros biométricos comprimento da raiz, Massa seca e diâmetro transversal (Tabela 8).

Com relação ao diâmetro transversal, a irrigação com ARTAC proporcionou, em geral, valores numéricos maiores para esta variável quando comparado a ARTS e plantio convencional (0% ART) (Tabela 8), muito provavelmente devido à maior oferta de nutrientes presente nesta água, os quais são essenciais para o desenvolvimento das culturas. Segundo Tivelli et al. (2011) o nitrogênio destaca-se entre os macronutrientes, o qual favorece a expansão foliar, o acúmulo de massa e consequentemente a produtividade da beterraba.

Como pode ser observado na Tabela 8, para o diâmetro transversal, as maiores médias foram encontradas na composição 75%, tanto para ARTAC quanto para ARTS, sendo iguais a 82,95 e 78,36 mm respectivamente, enquanto as menores médias foram encontradas na lâmina 25% ARTAC e 50% ARTS, com valores de 74,11 e 73,37 mm respectivamente. Esses resultados são superiores aos encontrados por Gomes et al. (2015), que avaliaram o desenvolvimento da beterraba irrigada com água residuária proveniente de reatores aeróbios (leito fixo de fluxo ascendente) e anaeróbios (biofilme em batelada sequencial), e constataram valores de diâmetro transversal médio de 50,57 e 60,55 mm respectivamente.

São considerados parâmetros chave na produção de beterraba, a massa fresca e o diâmetro transversal, os quais apresentaram valores superiores com ARTAC em comparação com ARTS. Com relação a massa fresca, o valor numérico desse parâmetro foi superior nos cultivos com água residuária tratada, em relação ao controle (0% ART). Essa diferença foi significativa entre os sistemas de tratamento de água residuária, nas composições 50, 75 e 100% ART. Para a ARTAC, as composições 50, 75 e 100% ART proporcionaram maiores valores de massa fresca da beterraba (233,8; 258,8 e 288,5 g, respectivamente) diferindo estatisticamente das demais.

Verificou-se que o valor numérico da massa fresca da beterraba irrigada com ARTS foi inferior a ARTAC, nas composições 50, 75 e 100% ARTS, essa redução pode estar relacionada ao fato de que a ARTS, apresentou maior concentração de

sólidos totais (Tabela 6). Elevadas concentrações de sólidos na água de irrigação causam obstrução dos emissores, o que pôde ser verificado visualmente em algumas ocasiões do experimento, pois foi necessário realizar com mais frequência a limpeza do filtro acoplado ao sistema de irrigação.

Na Tabela 9 são apresentados os valores do teor de sólidos solúveis avaliados na cultura da beterraba.

**Tabela 9:** Teor de sólidos solúveis (°Brix) avaliados na beterraba

Parâmetro	Sistemas	Percentual de água residuária tratada				
		0	25	50	75	100
Sólidos solúveis (°Brix)	S	7,55 aA	7,58 aA	8,08 aA	7,30 aA	7,45 aA
	AC	8,48 aA	7,68 aA	7,45 aA	8,05 aA	7,95 aA

S: TS + SODIS + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; AC: alagados construídos.

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.

O teste Scott-Knott a 5% de probabilidade não acusou diferença estatística entre os valores médios das taxas de sólidos solúveis (Tabela 9), para as diferentes composições avaliadas. Os maiores valores numéricos foram observados com as lâminas 50% ARTS (8,08 °Brix) e 75% ARTAC (8,05 °Brix). Os resultados encontrados para os dois sistemas de tratamento de água residuária estudados, são semelhantes aos normalmente encontrados para a cultivar Early Wonder, citados por Sediya et al. (2011) que encontraram uma média de 8,61 °Brix; Marques et al. (2010) obtiveram 10,26 °Brix e Oliveira et al. (2012) encontraram 10,38 °Brix.

A análise microbiológica das amostras de beterraba cultivadas com ARTS e ARTAC, nas quatro composições da lâmina de irrigação, não constatou a presença de *E. Coli*, com valores inferiores (<1 NMP em 100 g de amostra) ao limite recomendado pela legislação brasileira (RDC nº 12/2001, BRASIL, 2019). De acordo com essa norma, as hortaliças frescas, para consumo direto, podem apresentar no máximo 10<sup>2</sup> NMP g<sup>-1</sup> de coliformes fecais. Esse resultado concorda com a exigência internacional, que determina 1,0 × 10<sup>3</sup> NMP g<sup>-1</sup>, como o limite máximo de coliformes fecais em hortaliças frescas, conforme citado por Obuobie et al. (2006).

Os resultados microbiológicos do presente estudo corroboram com a literatura, para a cultura da beterraba e da cenoura (DANTAS, 2015), melancia

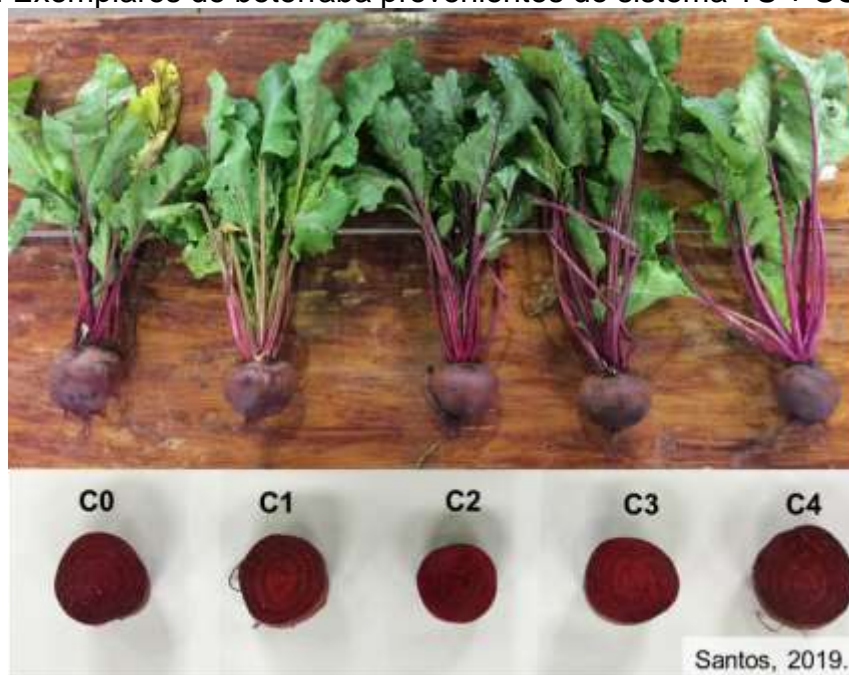
(FEITOSA et al., 2009), melão (SEGURA et al., 2001), rabanete (DANTAS et al., 2014) e cebola (SHOCK et al., 2016).

Avaliando o desempenho da beterraba (Figuras 15 e 16) de forma geral, percebeu-se que a irrigação com ARTS e ARTAC favoreceram o desenvolvimento da cultura. Esse resultado, sustenta e comprova que essa prática agrícola, se executada de maneira correta, proporciona incremento considerável na produtividade das culturas agrícolas, melhora o desenvolvimento das plantas e possibilita a produção de culturas isentas de contaminação. Segundo Folegatti (1999), Chernicharo (2001), Tchobanoglous e Angelakis (1996), Pedrero et al. (2010) as águas residuárias atendem as exigências nutricionais da maioria das culturas, reduzindo assim, a necessidade de aplicação de formulações comerciais.

**Figura 15:** Exemplos de beterraba provenientes do sistema alagados construídos



**Figura 16:** Exemplos de beterraba provenientes do sistema TS + SODIS + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>



### 1.3.3 Rabanete

Na Tabela 10, é possível observar os valores dos parâmetros biométricos avaliados na cultura do rabanete.

**Tabela 10:** Resultados dos parâmetros biométricos avaliados no rabanete

Parâmetros	Sistemas	Percentual de água residuária tratada - ART				
		0	25	50	75	100
Altura da parte aérea (cm)	S	15,54 aA	15,23 aA	17,39 aB	17,26 aB	16,41 aB
	AC	15,17 aA	15,55 aA	16,83 aB	16,48 aB	16,03 aB
Comprimento da raiz (cm)	S	10,52 aA	9,71 aA	10,73 aA	9,90 aA	8,91 aA
	AC	7,61 aA	9,29 aA	9,37 aA	8,73 aA	9,07 aA
Massa fresca (g)	S	48,7 aA	50,1 aA	64,6 aA	55,7 aA	52,1 aA
	AC	51,0 aA	60,5 aA	55,1 aA	60,0 aA	54,9 aA
Massa seca (g)	S	4,6 aA	3,8 aA	4,7 aA	4,1 aA	3,9 aA
	AC	3,4 aA	3,7 aA	3,7 aA	3,4 aA	2,9 aA
Diâmetro transversal (mm)	S	41,83 aA	43,77 aA	48,04 aB	45,81 aB	44,37 aA
	AC	44,86 aA	47,44 aA	46,65 aA	46,64 aA	45,64 aA
Número de folhas	S	6,68 aA	6,39 aA	7,06 aA	6,67 aA	6,46 aA
	AC	6,76 aA	6,82 aA	6,58 aA	6,56 aA	6,81 aA

S: TS + SODIS + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; AC: alagados construídos. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.

O rabanete respondeu de forma positiva ao cultivo irrigado com água residuária tratada pelos sistemas S e AC (Figuras 17 e 18), uma vez que os valores numéricos dos parâmetros massa fresca e diâmetro transversal, foram superiores se comparados a forma convencional de produção (0% ART).

**Figura 17:** Exemplos de rabanete provenientes do sistema alagados construídos

**Figura 18:** Exemplos de rabanete provenientes do sistema TS + SODIS + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>



Verificou-se que não houve diferença significativa entre os sistemas de tratamento de água residuária e o controle ( $p > 0,05$ ), como também entre as composições da lâmina de irrigação, para os parâmetros biométricos comprimento da raiz, massa fresca, massa seca e número de folhas (Tabela 10). Para os parâmetros altura da parte aérea e diâmetro transversal os efeitos da irrigação com água residuária tratada foram significativos pelo teste de Scott-Knott.

Com relação a massa seca das raízes de rabanete (parte comercial), a lâmina 50% ARTS e as lâminas 25 e 50% de ARTAC provocaram incremento nesse parâmetro, com valores de 4,7; 3,7 e 3,7 g respectivamente. Esse resultado está de acordo com os obtidos por Petousi et al. (2014), que obtiveram valores de 4,7; 4,2 e 4,4 g para cultivo de rabanete irrigado com água residuária tratada através de processos primário, secundário e terciário, respectivamente. De maneira semelhante ao verificado por Petousi et al. (2014), esse estudo fornece um indicativo de que a irrigação com esse tipo de efluente contribui com a produção de massa seca em comparação com o plantio convencional. Matos et al. (2015) também constataram incremento da fitomassa seca das raízes de rabanete submetidos a irrigação com efluentes de esgoto tratado pelos sistemas *Wetland* + UASB e *Wetland*.

A irrigação com ARTS e ARTAC nas composições 50, 75 e 100% proporcionou maior valor numérico de altura da parte aérea em relação ao controle (0% ART), sendo essa diferença significativa. Os maiores valores desse parâmetro, foram obtidos na composição 50% tanto para ARTS como para ARTAC, atingindo médias de 17,39 e 16,83 cm, respectivamente.

Resultados similares foram verificados por Gouveia (2016) que, ao estudar o crescimento do rabanete em função de doses de potássio, observou altura média de plantas de 16,26 e 17,23 cm nas doses 0 e 22,5 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente. Grau et al. (2017), ao avaliarem a substituição da fertilização mineral por orgânica, também encontraram maior altura de plantas de rabanete, sendo os maiores valores equivalentes a 18,49 e 26,01 cm com 28 e 42 dias após o plantio. Neste trabalho, a maior altura de planta obtida foi de 17,39 cm (Tabela 10) com 35 dias após o plantio, na lâmina 50% ARTS, semelhante ao constatado por Dantas et al. (2014), que obtiveram valor de 21,07 cm para rabanetes irrigados com uma diluição de 50% do efluente doméstico tratado.

Semelhantemente, Lanna (2014) constatou que a adição de fontes orgânicas favoreceu o desenvolvimento da parte aérea do rabanete, obtendo valor máximo de 12,18 cm com adição de 175 ton ha<sup>-1</sup> de composto orgânico, vale ressaltar que o maior valor encontrado pela autora é inferior ao relatado nesta pesquisa, comprovando que a irrigação com ART favoreceu o desenvolvimento do rabanete.

Com relação ao diâmetro transversal (Tabela 10), a irrigação com ARTS e ARTAC favoreceu significativamente esse parâmetro, sendo as maiores médias obtidas nas composições 50% ARTS e 25% ARTAC, com valores de 48,04 e 47,44 mm respectivamente, sendo estas raízes classificadas como comerciáveis, segundo Cardoso e Hiraki (2001). Esses resultados são superiores aos relatados na literatura. Gouveia (2016) obteve valor máximo de 39,05 mm para a dose de 67,5 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Pereira (2014) através da adubação com jirirana e esterco bovino constatou 38,00 cm, Ramamurthy et al. (2015), avaliando o desenvolvimento do rabanete com diferentes dosagens de vermicomposto, apontam diâmetro máximo de 33,30 mm (50% de vermicomposto) e Dantas et al. (2014) alcançaram diâmetro de bulbos de rabanete equivalentes a 31,4 mm, no tratamento irrigado com 75% de efluente doméstico tratado.

Com relação a massa fresca do rabanete (Tabela 10) o máximo valor obtido nesse trabalho de 64,6 g (50% ARTS) foi superior se comparado aos obtidos por Ramamurthy et al. (2015), os quais relataram 29,71 g (controle) e 45,15 g (100% de vermicomposto).

Ainda com relação a massa fresca, os valores máximos de 64,6 e 60,5 g foram obtidos nas composições 50% ARTS e 25% ARTAC respectivamente, e são

superiores aos relatados por Gouveia (2016) que obteve massa fresca máximo de 44 g planta<sup>-1</sup> na maior dose estuda de K<sub>2</sub>O (90 kg ha<sup>-1</sup>).

Na Tabela 11 são apresentados os valores do teor de sólidos solúveis avaliados na cultura do rabanete.

**Tabela 11:** Teor de sólidos solúveis (°Brix) avaliados no rabanete

Parâmetro	Sistemas	Percentual de água residuária tratada				
		0	25	50	75	100
Sólidos solúveis (°Brix)	S	1,39 aA	1,74 aA	2,16 aA	1,59 aA	1,97 aA
	AC	1,31 aA	1,93 aA	1,50 bA	1,48 aA	1,54 aA

S: TS + SODIS + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; AC: alagados construídos.

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.

O teste Scott-Knott a 5% de probabilidade acusou diferença estatística entre os valores médios das taxas de sólidos solúveis (Tabela 11) apenas para a lâmina de 50% ART entre os tratamentos avaliados. Os maiores resultados foram observados com as lâminas 50% ARTS (2,16 °Brix) e 25% ARTAC (1,93 °Brix). Os resultados encontrados para os dois sistemas de tratamento de água residuária estudados, são inferiores aos normalmente encontrados, citados por Gouveia (2016) que encontrou médias em torno de 3,5°Brix para rabanetes recém colhidos; Ayub et al. (2013) obtiveram 3,54 °Brix.

No que diz respeito a qualidade microbiológica do rabanete cultivado com ARTS e ARTAC, nas quatro composições da lâmina de irrigação, não foi constatado contaminação por *E. coli* em nenhuma das amostras analisadas, nas quais o resultado foi <1 NMP em 100 g de amostra. Esse resultado é inferior ao limite recomendado pela legislação brasileira (RDC nº 12/2001, BRASIL, 2019), que estabelece valor máximo de 10<sup>2</sup> NMP g<sup>-1</sup> de coliformes fecais, para hortaliças "*in natura*", preparadas sanificadas, refrigeradas ou congeladas, destinadas ao consumo direto.

Esse resultado corrobora com a recomendação internacional, mencionada em Obuobie et al. (2006), que conforme a Comissão Internacional de Especificações Microbiológicas para Alimentos, o limite de coliformes fecais em hortaliças frescas é de 1,0 × 10<sup>3</sup> NMP g<sup>-1</sup>.

Dantas et al. (2014) estudando o efeito da irrigação com efluente doméstico tratado em quatro diluições (25, 50, 75 e 100% de efluente) na cultura do rabanete, também obtiveram produção dessa hortaliça dentro dos padrões microbiológicos estabelecidos pela legislação brasileira (BRASIL, 2019).

Resultados distintos foram obtidos por Mendes et al. (2016) avaliando a qualidade microbiológica do rabanete cv. Crimson Giant submetido a irrigação com efluente doméstico tratado, que constataram presença de *E. coli* ( $8,61 \times 10^7$  UFC g<sup>-1</sup>) na hortaliça, confirmando contaminação acima do previsto na legislação.

Os resultados microbiológicos do presente estudo corroboram com a literatura para moranga (OLIVEIRA et al., 2013), milho (FARHADKHANI et al., 2018), cebola (SHOCK et al., 2016; FARHADKHANI et al., 2018), tomate (LONIGRO et al., 2016; ORLOFSKY et al., 2016), erva-doce e alface (LONIGRO et al., 2016).

Avaliando o desempenho do rabanete (Figuras 17 e 18) de forma geral, percebeu-se que a irrigação com ARTS e ARTAC favoreceu o desenvolvimento da cultura. Esse resultado, demonstra que essa prática agrícola, se executada de maneira correta, possibilita a produção de culturas isentas de contaminação (LONIGRO et al., 2016; ORLOFSKY et al., 2016; BENEDEUCE et al., 2017; FARHADKHANI et al., 2018), além de reduzir a utilização de água de melhor qualidade na agricultura irrigada.

#### 1.4 CONCLUSÕES

1. Comparando o desenvolvimento da alface irrigada com ARTS e ARTAC, o melhor desempenho foi obtido com ARTAC. Em termos de massa fresca, a melhor composição da lâmina de irrigação para os dois sistemas foi a de 75%, as quais proporcionaram valores de 210,1 e 228,0 g, para ARTS e ARTAC respectivamente;
2. O melhor desenvolvimento da beterraba foi alcançado pela irrigação com ARTAC. Com relação a massa fresca, as maiores médias foram obtidas nas composições 100% ARTAC e 75% ARTS, com valores de 288,5 e 235,6 g, respectivamente;
3. Para o rabanete, no geral, os parâmetros biométricos foram superiores no cultivo com ARTS. As composições 50% ARTS e 25% ARTAC

proporcionaram os maiores valores do parâmetro massa fresca de 64,6 e 60,5 g respectivamente;

4. Os dois sistemas avaliados e as quatro composições da lâmina de irrigação (ART) possibilitaram produção de alface, beterraba e rabanete isentos de contaminação com *E. coli* (<1 NMP em 100 g de amostra) classificando-as como apta ao consumo humano crua. No entanto, é recomendado a sanitização de toda e qualquer hortaliça antes do seu consumo.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEGUNRIN, T. P.; AWE, G. O.; IDOWU, D. O.; ADEJUMOBI, M. A. Impact of wastewater irrigation on soil physico-chemical properties, growth and water use pattern of two indigenous vegetables in southwest Nigeria. **Catena**, v. 139, p. 167-178, 2016.

ALLENDE, A.; MONAGHAN, J. Irrigation water quality for leafy crops: a perspective of risks and potential solutions. **International journal of environmental research and public health**, v. 12, n. 7, p. 7457-7477, 2015.

ALVES, A. U.; PRADO, R. D. M.; GONDIM, A. R. D. O.; FONSECA, I. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. Desenvolvimento e estado nutricional da beterraba em função da omissão de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, p. 292-295, 2008.

ALVES, T.R. **Eficiência de um sistema de desinfecção solar de águas residuárias domésticas com adição de diferentes doses de peróxido de hidrogênio**. 2015. 77f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, UNESP, Botucatu-SP.

APHA – American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th edition. Washington: American water works association - water environment federation, 2012.

AYUB, R. A.; SPINARDI, B.; GIOPPO, M. Storage and fresh cut radish. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 2, p. 241 – 245, 2013.

BALKHAIR, K.S. Microbial contamination of vegetable crop and soil profile in arid regions under controlled application of domestic wastewater. **Saudi journal of biological sciences**, v. 23, p. S83-S92, 2016.

BEDBABIS, S.; Trigui, D.; Ahmed, C. B.; Clodoveo, M. L.; Camposeo, S.; Vivaldi, G. A.; Rouina, B. B. Long-terms effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil, yield and olive oil quality. **Agricultural Water Management**, v. 160, p. 14-21, 2015.

BENEDUCE, L.; GATTA, G.; BEVILACQUA, A.; LIBUTTI, A.; TARANTINO, E.; BELLUCCI, M.; TROIANO, E.; SPANO, G. Impact of the reusing of food manufacturing wastewater for irrigation in a closed system on the microbiological quality of the food crops. **International Journal of Food Microbiology**, v. 260, n. 1, p. 51-58, 2017.

BERGONCI, J. I., BERGAMASCHI, H., SANTOS, A. O., FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 7, p. 949-956, 2001.

BHERING, L. L.; CRUZ, C. D.; VASCONCELOS, E. D.; FERREIRA, A.; RESENDE JUNIOR, M. D. Alternative methodology for Scott-Knott test. Embrapa Agroenergia. Artigo em periódico indexado (ALICE). **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. 8: 9-16, 2008.

BISCARO, G.A. **Utilização de águas receptoras de efluentes urbanos em sistemas de irrigação localizada superficial e subsuperficial na cultura da alface americana (*Lactuca sativa* L.)**. 2003. 130f. Tese (doutorado). Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, UNESP, Botucatu-SP.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. RDC N°. 12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos em alimentos. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 jan. 2001. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12\\_01rdc.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_01rdc.htm)>. Acesso em: 10 set. 2019.

CARDOSO, A. I. I.; HIRAKI, H. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrato de cálcio em cobertura na cultura do rabanete. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, p.328-331, 2001.

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

CEUPPENS, S.; HESSEL, C.T.; RODRIGUES, R.Q.; BARTZ, S.; TONDO, E.C.; UYTENDAELE, M. Microbiological quality and safety assessment of lettuce production in Brazil. **International Journal of Food Microbiology**, v. 181, p. 67-76, 2014.

CHAGAS, W. F. T.; EMRICH, E. B.; GUELFI, D. R.; CAPUTO, A. L. C.; FAQUIN, V. Productive characteristics, nutrition and agronomic efficiency of

polymer-coated MAP in lettuce crops. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 266-276, 2015.

CHEKLI, L.; KIM, J.E.; EL SALIBY, I.; KIM, Y.; PHUNTSHO, S.; LI, S.; GHAFFOUR, N.; LEIKNES, T.; SHON, H.K. Fertilizer drawn forward osmosis process for sustainable water reuse to grow hydroponic lettuce using commercial nutrient solution. **Separation and Purification Technology**, v. 181, p. 18-28, 2017.

CHERNICHARO, C. A. DE L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. 2 ed.; Belo Horizonte, MG: UFMG: Projeto PROSAB; 2001, 544 p.

CIRELLI, G. L.; CONSOLI, S.; LICCIARDELLO, F.; AIELLO, R.; GIUFFRIDA, F.; LEONARDI, C. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 163-170, 2012.

COSTA, L. A. S.; EMRICH, E. B., RIBEIRO; F. A. G.; DE MELO, D. F. M. Utilização de biofertilizante líquido no cultivo de alface crespa orgânica, sob cultivo protegido. **Anais do Seminário de Pesquisa e Inovação Tecnológica-SEPIT**, v. 2, n. 1, 2018.

CUBA, R, S.; CARMO, J. R.; SOUZA, C. F.; BASTOS, R. G. Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 3, 2015.

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

DANIEL, L.A.; CAMPOS, J.R. Metodologia simplificada para determinação de parâmetros cinéticos de desinfecção com radiação ultravioleta. In: **Seminário Internacional - Desinfecção de Águas de Abastecimento e Residuárias em Países em Desenvolvimento**, 1993, Belo Horizonte, Brasil. Anais. Belo Horizonte: Ed. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES – Seção Minas Gerais, 1993. p.229-245.

DANTAS, I. L. A. **Análise microbiológica de cenoura e beterraba irrigadas com águas residuárias domésticas tratadas**. 2015. 78 f. Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Sergipe, 2015.

DANTAS, I. L. A.; FACCIOLI, G. G.; MENDONÇA, L. C.; NUNES, T. P.; VIEGAS, P. R. A.; SANTANA, L. O. G. Viability of using treated wastewater for the irrigation of radish (*Raphanus sativus* L.). **Ambiente e Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 9, n. 1, p. 109-117, 2014.

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

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPANS, J.W.; PARLANGE, M.B.  
**Programa SWRC (Version 1.00): Soil-Water Retention Curve (Software).**  
Piracicaba: ESALQ; Davis: University of Califórnia, 1995.

DUARTE, A. S.; SILVA, E. F. F.; ROLIM, M. M.; FERREIRA, R. F. A. L.;  
MALHEIROS, S. M. M.; ALBUQUERQUE, F. S. Uso de diferentes doses de  
manipueira na cultura da alface em substituição à adubação mineral. **Revista  
Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n.3, p. 262–267, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária. Centro Nacional de  
Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2006.

EREGNO, F.; MOGES, M.; HEISTAD, A. Treated greywater reuse for  
hydroponic lettuce production in a green wall system: quantitative health risk  
assessment. **Water**, v. 9, n. 7, p. 454, 2017.

FAÇANHA, L. M.; MEDEIROS; D. C. D.; COUTINHO, O. D. L.; MARQUES, L.  
F.; MEDEIROS, C. D. B.; VALE, L. S. D. Produção e qualidade da beterraba em  
função da adubação com esterco bovino. **Revista Brasileira de Agroecologia**,  
v. 5, n. 1, p. 24-31, 2010.

FARHADKHANI, M.; NIKAEEN, M.; YADEGARFAR, G.; HATAMZADEH, M.;  
POURMOHAMMADBAGHER, H.; SAHBAEI, Z.; RAHMANI, H.R. Effects of  
irrigation with secondary treated wastewater on physicochemical and microbial  
properties of soil and produce safety in a semi-arid area. **Water Research**, v.  
144, p. 356-364, 2018.

FARIAS, C. H. A.; SOBRINHO, J. E.; DE MEDEIROS, J. F.; COSTA, M. D. C.;  
DO NASCIMENTO, I. B.; SILVA, M. C. D. C. Crescimento e desenvolvimento da  
cultura do melão sob diferentes lâminas de irrigação e salinidade da  
água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p.  
445-450, 2003.

FEITOSA, T.; GARRUTI, D. S.; LIMA, J. R.; MOTA, S.; BEZERRA, F. M. L.;  
AQUIMO, B. F.; SANTOS, A. B. Qualidade de frutos de melancia produzidos  
com reúso de água de esgoto doméstico tratado. **Revista Tecnologia**, v.30,  
n.1, p. 53-60, 2009.

FERREIRA, D. F. Sistema de análises de variância para dados balanceados-  
SISVAR: programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos.  
Lavras: DEX/UFLA, 2007.

FILGUEIRA F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna  
na produção e comercialização de hortaliças.** Viçosa: UFV, 412 p, 2008.

FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação: citrus, flores e hortaliças.** Agropecuária.  
458p. Guaíba, 1999.

FREIRE, J.L.O.; DA SILVA, J.E.; DE LIMA, J.M.; DE ARRUDA, J.A.;  
RODRIGUES, C. R. Desempenho fitotécnico e teores clorofilianos de cultivares

de alfaces crespas produzidas com fertilização à base de urina de vaca no Seridó paraibano. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos-PB, v.12, n.3, p.258-267, julho-setembro, 2016.

GATTA, G.; LIBUTTI, A.; BENEDUCE, L.; GAGLIARDI, A.; DISCIGLIO, G.; LONIGRO, A.; TARANTINO, E. Reuse of treated municipal wastewater for globe artichoke irrigation: Assessment of effects on morpho-quantitative parameters and microbial safety of yield. **Scientia Horticulturae**, v. 213, p. 55-65, 2016.

GATTA, G.; LIBUTTI, A.; GAGLIARDI, A.; BENEDUCE, L.; BRUSETTI, L.; BORRUSO, L.; DISCIGLIO, G.; TARANTINO, E. Treated agro-industrial wastewater irrigation of tomato crop: Effects on qualitative/quantitative characteristics of production and microbiological properties of the soil. **Agricultural Water Management**, v. 149, p. 33-43, 2015.

GOMES, T.M.; ROSSI, F.; TOMMASO, G.; RIBEIRO, R.; MACAN, N.P.F.; PEREIRA, R. S. Treated Dairy Wastewater Effect on the Yield and Quality of Drip Irrigated Table Beet. **Applied Engineering In Agriculture**, v. 31, n. 2, p.255-260, 2015.

GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A. Morfogênese de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 341-348, 2000.

GONDIM, A. R. O.; CORREIA, M. A. R.; ALVES, A. U.; PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. Crescimento e marcha de acúmulo de nutrientes em plantas de beterraba cultivadas em sistema hidropônico. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 4, 2011.

GOUVEIA, A. M. S. **Adubação potássica na produção e qualidade pós-colheita do rabanete**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia (Horticultura), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu.

GRAU, F.; DRECHSEL, N.; HAERING, V.; TRAUTZ, D.; WEERAKKODY, W. J. S. K.; DRECHSEL, P.; SINNATHAMBY, V. Impact of Fecal Sludge and Municipal Solid Waste Co-Compost on Crop Growth of *Raphanus Sativus* L. and *Capsicum Anuum* L. under Stress Conditions. **Resources**, v. 6, n. 3, p. 26, 2017.

GUIMARÃES, I.P.; OLIVEIRA, F.A.; TORRES, S.B.; PEREIRA, F.E.C.B.; FRANÇA, F.D.; OLIVEIRA, M.K.T. Use of fish-farming wastewater in lettuce cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p.728-733, ago. 2016.

HORTIBRASIL - Centro de qualidade de horticultura - **Norma de classificação da beterraba (*Beta vulgaris* L.)**. São Paulo: CQH/CEAGESP, 2006. Disponível em: <<http://www.hortibrasil.org.br/rtbeterraba.doc>>. Acesso em 03 set. 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?edicao=25757&t=resultados>>. Acesso em 03 set. 2019.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

LANNA, N. B. L. **Doses de composto orgânico na produção de chicória e rabanete**. 2014. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia (Horticultura), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu.

LI, J.; WEN, J. Effects of water managements on transport of *E. coli* in soil-plant system for drip irrigation applying secondary sewage effluent. **Agricultural Water Management**, v. 178, p. 12-20, 2016.

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

LINHARES, P. C. F.; SOUSA, A. J. P.; PEREIRA, M. F. S.; ALVES, R. F.; MARACAJÁ, P. B. Beterraba fertilizada sob diferentes doses de palha de carnaúba incorporada ao solo. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 8, n. 4, p. 71-76, 2012.

LONIGRO, A.; RUBINO, P.; LACASELLA, V.; MONTEMURRO, N. Faecal pollution on vegetables and soil drip irrigated with treated municipal wastewaters. **Agricultural Water Management**, v. 174, p. 66-73, 2016.

MAKKAEW, P.; MILLER, M.; FALLOWFIELD, H. J.; CROMAR, N. J. Microbial risk in wastewater irrigated lettuce: comparing *Escherichia coli* contamination from an experimental site with a laboratory approach. **Water Science and Technology**, v. 74, n. 3, p. 749-755, 2016.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres. 638p. 2006.

MARCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.

MARQUES, L. F.; MEDEIROS, D. C.; COUTINHO, O. L.; MARQUES, L. F. MEDEIROS, C. B.; VALE, L. S. Produção e qualidade da beterraba em função da adubação com esterco bovino. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.5, p.24-33, 2010.

MATOS, R. M.; DA SILVA, P. F.; DE LIMA, S. C.; DE ASSIS CABRAL, A.; NETO, J. D. Partição de assimilados em plantas de rabanete em função da qualidade da água de irrigação. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.4, n.1, p.151-164, 2015

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

MURRAY, A.; RAY, I. Wastewater for agriculture: A reuse-oriented planning model and its application in peri-urban China. **Water research**, v. 44, n. 5, p. 1667-1679, 2010.

NANDAL, M.; YADAV, J. P.; RASTOGI, M. Effect of Industrial Effluents on Mineral Uptake of Two Rabi Crops (*Triticum aestivum* and *Raphanus sativus*). **Nature Environment and Pollution Technology**, v. 16, n. 2, p. 541-544, 2017.

OBUOBIE, E.; KERAITA, B.; DANSO, G.; AMOAH, P.; COFIE, O. O.; RASCHID-SALLY, L.; DRECHSEL, P. **Irrigated urban vegetable production in Ghana: Characteristics benefits and risks**. International Water Management Institute, p. 90-102, 2006.

OLIVEIRA, E. Q., SOUZA, R. J., CRUZ, M. C. M., MARQUES, V. B.; FRANÇA, A. C. Produtividade de alface e rúcula, em sistema consorciado, sob adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 36-40, 2010.

OLIVEIRA, N. L. C.; PUIATTI, M.; DA SILVA BHERING, A; CECON, P. R.; DA SILVA, G. D. C. C. Uso de urina de vaca no cultivo da beterraba de mesa. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 2, 2012.

OLIVEIRA, P.C.P.; GLOAGUEN, T.V.; GONÇALVES, R.A.B.; SANTOS, D.L. Produção de moranga irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 861–867, 2013.

ORLOFSKY, E.; BERNSTEIN, N.; SACKS, M.; VONSHAK, A.; BENAMI, M.; KUNDU, A.; GILLOR, O. Comparable levels of microbial contamination in soil and on tomato crops after drip irrigation with treated wastewater or potable water. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 215, p. 140-150, 2016.

PARFITT, JOSÉ MARIA B. Produção de milho e sorgo em várzea. **Embrapa Clima Temperado-Documentos (INFOTECA-E)**, 2000.

PEDRERO, F.; KALAVROUZOTIS, I.; ALARCÓN, J. J.; KOUKOULAKIS, P.; ASANO, T. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 9, p. 1233-1241, 2010.

PENG, Y.; YAN-ZHI, G.; LING, Q. Effects of ozone-treated domestic sludge on hydroponic lettuce growth and nutrition. **Journal of integrative agriculture**, v. 17, n. 3, p. 593 – 602, 2018.

PEREIRA, B. B. M. **Eficiência agroecônômica de cultivares de coentro consorciado com rabanete adubado com jitirana mais esterco bovino**.

2014. 66 f. Dissertação (Mestrado Profissional) - Programa de Pós Graduação em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

PEREIRA, J. T. S.; RODRIGUEIRO, G. R. O.; GABRIEL, C. P. C.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; SÁNCHEZ ROMÁN, R. M. Influência da orientação solar no cultivo de hortaliças em sistema vertical usando vermicompostagem e fertirrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 42-54, Edição Especial 30 anos PG Irriga, 2018.

PETOUSI, I.; FOUNTOULAKIS, M. S.; TZORTZAKIS, N.; DOKIANAKIS, S.; STENTIFORD, E. I.; MANIOS, T. Occurrence of Micro-pollutants in a Soil–Radish System Irrigated with Several Types of Treated Domestic Wastewater. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 225, n. 1, p. 1791, 2014.

PIEIDADE, A. R. **Desenvolvimento vegetativo de quatro espécies de grama irrigadas com efluente de estação de tratamento de esgoto doméstico**. Dissertação (mestrado) FCA/UNESP, Botucatu, 79f. 2004.

QUELUZ, J.G.T.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M. Efficiency of domestic wastewater solar disinfection in reactors with different colors. **Water Utility Journal**, v.7, n.1, p. 35-44, 2014.

QUELUZ, João Gabriel Thomaz. **Eficiência de alagados construídos para o tratamento de águas residuárias com baixas cargas orgânicas**. 2016. 124 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia (Irrigação e Drenagem), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

RAIJ, B. VAN.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. 2001. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 285p.

RAMAMURTHY, M.; UMAVATHI, S.; THANGAM, Y.; MATHIVANAN, R. Effect of Vermicompost on Tuber Yield Status of Radish Plant *Raphanus sativus* L. **International Journal of Advanced Research in Biological Sciences**, v. 2, p. 50-55, 2015.

RAVINDRAN, B.; KUMARI, S. S.; STENSTROM, T. A.; BUX, F. Evaluation of phytotoxicity effect on selected crops using treated and untreated wastewater from different configurative domestic wastewater plants. **Environmental technology**, v. 37, n. 14, p. 1782-1789, 2016.

SANDRI, D. MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n.1, p. 17–29, 2007.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. D. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 443-449, 2011.

SCHNEIDER, C.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, n. 1, p.671-675, jan. 2012.

SEDIYAMA, M. A.; SANTOS, M. R.; VIDIGAL, S. M.; SALGADO, L. T. Produtividade e exportação de nutrientes em beterraba cultivada com cobertura morta e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental -Agriambi**, v. 15, n. 9, 2011.

SEGURA, M.L.; MORENO, R.; MARTÍNEZ, S.; PÉREZ, J.; MORENO, J. Effects of wastewater irrigation on melon growth under greenhouse conditions. **Acta Horticult.** v. 559, p. 345–352, 2001.

SHOCK, C. C.; REITZ, S. R., RONCARATI; R. A., KREEFT; H., SHOCK; B. M.; KLAUZER, J. C. Drip vs. furrow irrigation in the delivery of Escherichia coli to onions. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 32, n. 2, p. 235-244, 2016.

SOUSA, J.T.; CEBALLOS, B.S.; HENRIQUE, I.N.; DANTAS, J. P.; LIMA, S.M. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annum* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 89-96, 2006.

STAGNARI, F.; GALIENI, A.; PISANTE, M. Shading and nitrogen management affect quality, safety and yield of greenhouse-grown leaf lettuce. **Scientia Horticulturae**, v. 192, p. 70-79, 2015.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia vegetal**. Universitat Jaume I, 2007.

TCHOBANOGLOUS, G.; ANGELAKIS, A. N. Technologies for wastewater treatment appropriate for reuse: potential for applications in Greece. **Water Science and Technology**, v. 33, n. 10-11, p. 15-24, 1996.

TIVELLI, S. W.; FACTOR, T. L.; TERAMOTO, J. R. S.; FABRI, E. G.; MORAES, A. D.; TRANI, P. E.; MAY, A. Beterraba: do plantio à comercialização. **Campinas: IAC**, 2011.

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

TRANI, P.E.; RAIJ, B. V. Hortaliças. In: RAIJ, B. van. et al. (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico/ Fundação IAC, 1997. Cap.18, p.157-185. (Boletim Técnico, 100).

TRANI, P.E.; TIVELLI, S.W.; FACTOR, T.L.; BREDA JÚNIOR, J.M. **Calagem e adubação da beterraba**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2013. 15p.

URBANO, V. R.; MENDONÇA, T. G.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural water management**, v. 181, p. 108-115, 2017.

VAN GENUCHTEN, M. TH. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils 1. **Soil science society of America journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VENTURA, K. M. **Eficiência do uso da água em um sistema vertical sob irrigação localizada**. 2017. 58f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, UNESP, Botucatu-SP.

VENTURA, K. M.; SANTOS, R. D. S.; PEREIRA, J. T. S.; GOMES, M. D.; SOUZA, M. H. C.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. Avaliação da Uniformidade de Aplicação de Água em Mangueira Gotejadora. **Anais do IV Inovagri International Meeting**, Fortaleza, 2017.

VERGINE, P.; LONIGRO, A.; SALERNO, C.; RUBINO, P.; BERARDI, G.; POLLICE, A. Nutrient recovery and crop yield enhancement in irrigation with reclaimed wastewater: a case study. **Urban Water Journal**, v. 14, n. 3, p. 325-330, 2017.

VIANA, T. V. A.; BASTOS, E. A.; ALVES, D. R. B.; FOLEGATTI, M. V. Algoritmo da classificação climática de Köppen. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. 1997. p. 255.

WERADUWAGE, S. M.; Chen, J.; Anozie, F. C.; Morales, A.; Weise, S. E.; Sharkey, T. D. The relationship between leaf area growth and biomass accumulation in *Arabidopsis thaliana*. **Frontiers In Plant Science**, v. 6, p.1-10, 9 abr. 2015. Frontiers Media SA. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2015.00167>>. Acesso em: 10 maio. 2019.

World Health Organization – WHO, 2006. **Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater** vol. 2. France. ISBN: 92 4 154683 2.

YURI, J. E.; DE RESENDE, G. M.; MOTA, J. H.; DE SOUZA, R. J.; PETRAZZINI, L. L. Produção de alface americana em função da época de cultivo e doses de nitrogênio. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 6, n. 1, p. 55 - 65, 2015.

ZUFFO, A. M.; JÚNIOR, J. M. Z.; SILVA, L. M. A.; DA SILVA, R. L.; DE MENEZES, K. O. Análise de crescimento em cultivares de alface nas condições do sul do Piauí. **Ceres**, v. 63, n. 2, p. 145-153, 2016.

## CAPÍTULO 2 – EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA E NUTRIENTES PRESENTES NA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA EM TRÊS CULTURAS HORTÍCOLAS

### RESUMO

A agricultura irrigada visa sobretudo a maior produtividade das culturas. Uma das maneiras de atingir esse objetivo, é através da utilização de água residuária tratada – ART, a qual fornece água e nutrientes as plantas. Portanto, os objetivos desse trabalho foram avaliar a produtividade da alface, beterraba e rabanete, irrigadas com água residuária tratada pelo sistema tanque séptico (SODIS + 125 mg L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (ARTS) e alagados construídos (ARTAC); calcular a quantidade dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, fornecidos via irrigação com ARTS e ARTAC, e comparar com a recomendação de adubação para as hortícolas, visando determinar o percentual de economia da aplicação de fertilizantes químicos, proporcionada pelo reúso da ART; e avaliar o efeito da irrigação com ARTS e ARTAC na eficiência do uso da água, considerando tanto a lâmina de irrigação isolada (EUAI) como somada a precipitação efetiva (EUAIP). O experimento foi conduzido em condições de campo, na Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Botucatu, SP. Ao final dos ciclos foram calculadas as produtividades das culturas a partir da massa fresca. Foi feita ainda a caracterização química da ARTS e ARTAC, a qual foi utilizada para cálculo das quantidades de N, P e K fornecidos por elas. Para a determinação da eficiência do uso da água (EUA, kg m<sup>-3</sup>) foi feita uma relação entre a produtividade das culturas (kg ha<sup>-1</sup>) e o volume de água inserido (m<sup>3</sup>) em determinada área (ha), para as diferentes culturas considerando duas situações: a primeira foi determinada a eficiência de uso da água considerando apenas a lâmina de água fornecida pela irrigação (EUAI, kg m<sup>-3</sup>), e a segunda foi feita a determinação da eficiência de uso da água considerando a lâmina de água fornecida pela irrigação somada a precipitação efetiva (EUAIP, kg m<sup>-3</sup>). A produtividade da alface e da beterraba foi superior no cultivo com ARTAC em comparação ao ARTS e ao convencional. Já para o rabanete, a produtividade foi superior no cultivo com ARTS em relação a ARTAC e ao 0% ART. Em relação ao aporte nutricional a ARTS e ARTAC, conseguiram atender parcialmente as necessidades nutricionais da alface e da beterraba (N, P e K) e totalmente a do rabanete em relação ao N e parcialmente a de P e K. Para a alface, os maiores valores de EUAI e EUAIP foram obtidos através da irrigação com ARTS.

Na beterraba, os maiores valores de EUAI e EUAIP foram obtidos através da irrigação com ARTAC, superior estatisticamente ao cultivo convencional. Na cultura do rabanete, os maiores valores de EUAI e EUAIP foram obtidos através da irrigação com ARTS.

**Palavras-chave:** produtividade; macronutrientes; irrigação; agricultura sustentável.

### ABSTRACT

Irrigated agriculture is aimed primarily higher crop yields. One ways to achieve this is through the use of treated wastewater (TW), which provides plants with water and nutrients. Therefore, the objectives of this study were to evaluate the productivity of lettuce, beet and radish, irrigated with treated wastewater from septic tank system + SODIS + 125 mg L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (TWST) and constructed wetland (WTCW); calculate the amount of macronutrients (Nitrogen, Phosphorus and Potassium) supplied by irrigation with TWST and WTCW, and compare with the fertilizer recommendation for vegetables, aiming to determine the percentage of economy of chemical fertilizer application, provided by the reuse of TW; and evaluate the effect of TWST and WTCW irrigation on water use efficiency, considering both the isolated irrigation depth (WUEI) and the effective precipitation (WUEIP). The experiment was conducted under field conditions at the Faculty of Agricultural Sciences - UNESP, Botucatu, SP. At the end of the cycles the crop yields were calculated from the fresh mass. The chemical characterization of TWST and WTCW was also made, which was used to calculate the quantities of N, P and K supplied by them. For the determination of water use efficiency (WUE, kg m<sup>-3</sup>) a relation was made between crop yield (kg ha<sup>-1</sup>) and the volume of water (m<sup>3</sup>) in a given area (ha), for different crops considering two situations: the first was determined water use efficiency considering only the water depth provided by irrigation (WUEI, kg m<sup>-3</sup>), and the second was determined the water use efficiency considering the depth of water supplied by irrigation plus effective rainfall (WUEIP, kg m<sup>-3</sup>). Lettuce and beet yield were higher in WTCW cultivation compared to TWST and conventional. For radish, the yield was higher in the cultivation with TWST compared to WTCT and 0% TW. Regarding the nutritional contribution to TWST and WTCW, they were able to partially meet the nutritional needs of lettuce and beet (N, P and K) and

totally of radish in relation to N and partially of P and K. Higher values of WUEI and WUEIP were obtained by irrigation with TWST. In sugar beet, the highest values of WUEI and WUEIP were obtained by irrigation with WTCW, statistically superior to conventional cultivation. In radish, the highest values of WUEI and WUEIP were obtained by irrigation with TWST.

**Keywords:** productivity; macronutrients; irrigation; sustainable agriculture.

## 2.1 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada visa sobretudo a maior produtividade das culturas. Uma das maneiras de atingir esse objetivo, é através da utilização de água residuária tratada – ART, a qual fornece água e nutrientes as plantas.

A horticultura, largamente praticada no Brasil, também tem incorporado a prática do reúso de ART, obtendo maiores produtividades em comparação ao cultivo convencional, das culturas alface (LONIGRO et al., 2016; VERGINE et al., 2017), beterraba (HUSSAR et al., 2005; GOMES et al., 2015) e rabanete (ZAVADIL 2009; LIMA et al., 2016).

Aliado a isso, o cenário hídrico marcado pela escassez qualitativa e quantitativa, também impulsiona a necessidade de inovações na agricultura irrigada, que favoreçam a eficiência do uso da água (EUA) proporcionada pela lâmina de irrigação isolada (EUAI) e/ou somada a precipitação efetiva (EUAIP). Segundo Al-Jamal et al. (2001) e Howell (2003) a EUA é obtida através da razão entre o rendimento das culturas e o volume de água aplicado.

A utilização de fontes alternativas de água para a irrigação, como por exemplo, as águas residuárias municipais tratadas, já é praticada e recomendada em vários países no mundo (USEPA, 1992; TOZE, 2006; CIRELLI et al., 2012; SINGH et al., 2012; LIBUTTI et al., 2018), evitando o descarte inadequado desse efluente com elevado potencial nutricional, e incorporando práticas sustentáveis a agricultura irrigada, como a reutilização e conservação da água.

A utilização bem sucedida de ART é largamente discutida na comunidade científica, e têm proporcionado aumento na EUAI e EUAIP, em culturas como alface (SANDRI et al., 2007; BALKHAIR et al., 2013), beterraba (HASSANLI et al., 2010),

rabanete (BALKHAIR et al., 2014), milho (HASSANLI, et al., 2009), espinafre (IRSHAD, et al., 2012), quiabo (BALKHAIR, et al., 2014), repolho (BALKHAIR et al., 2013; TUNC; SAHIN, 2016), cevada (AL-KARAKI, 2011) e tomate (SAMARAS et al., 2009).

Além disso, a reutilização de ART pode suprir a necessidade hídrica e nutricional das culturas agrícolas. Segundo Braga et al. (2014) o esgoto doméstico bruto contém em média, 20 – 90 mg L<sup>-1</sup> de nitrogênio, 4 – 12 mg L<sup>-1</sup> de fósforo e 10 – 60 mg L<sup>-1</sup> de potássio, nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas.

Para ser utilizada na irrigação, a água residuária precisa passar por algum tipo de tratamento, visando reduzir a quantidade de microrganismos patogênicos, evitando assim a contaminação das culturas e dos consumidores finais. Os processos de tratamento reduzem a concentração dos nutrientes, porém, mesmo assim esse efluente ainda possui elevado potencial de fertilização (THAPLIYAL et al., 2011; BRAGA et al., 2014).

Ademais, os custos com adubação química podem inviabilizar a produção agrícola. Segundo Souza e Garcia (2013) esses custos no cultivo de hortaliças, podem chegar em torno de 16% do total gasto, sendo considerado o segundo maior dispêndio, ficando atrás apenas dos custos com mão-de-obra.

Portanto, os objetivos desse trabalho foram avaliar a produtividade agrícola da alface, beterraba e rabanete, irrigadas com água residuária tratada pelo sistema tanque séptico + (SODIS + 125mg L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (ARTS) e alagados construídos (ARTAC); calcular a quantidade dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio (N, P e K), fornecidos via irrigação com ARTS e ARTAC, e comparar com a recomendação de adubação para as hortícolas, visando determinar o percentual de economia da aplicação de fertilizantes químicos, proporcionada pelo reúso da ART; e avaliar o efeito da irrigação com ARTS e ARTAC na eficiência do uso da água, considerando tanto a lâmina de irrigação isolada (EUI) como somada a precipitação efetiva (EUAIP).

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado a campo, na Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCA/UNESP), localizada

em Botucatu – SP, localizado nas coordenadas geográficas 22° 51' 12''S e 48° 25' 45''O e 763 m de altitude média. O clima é Cwa temperado quente (mesotérmico), úmido, conforme a classificação de Köppen. A temperatura média anual varia de 17,1 a 23,2°C; a precipitação pluvial total média é de aproximadamente 1.500 mm (CUNHA; MARTINS, 2009). O solo da área experimental pertence à classe do LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO (EMBRAPA, 2006).

Para avaliação da produtividade das hortaliças alface, beterraba e rabanete (Tabela 12), estas foram cultivadas em canteiros, com dimensões 2,0 x 0,5 m, cada um contendo uma linha de gotejo entre as duas fileiras de plantas, sendo cada planta considerada uma repetição.

**Tabela 12:** Detalhes do experimento para as diferentes culturas

<b>Culturas</b>	<b>Variedade</b>	<b>Período</b>	<b>Espaçamento (m)</b>
Alface	Crespa (Vera)	jul-set/2017	0,25 x 0,25
Beterraba	Early Wonder Tall Top	jul-out/2017	0,10 x 0,10
Rabanete	F1 Híbrido HS 2030	set-out/2017	0,10 x 0,10

As hortaliças foram irrigadas via gotejamento, com dois tipos de água residuária tratada (ARTS e ARTAC), por dois sistemas distintos. A ARTS era proveniente do primeiro sistema de tratamento, composto de tanque séptico + (desinfecção solar + 125 mg L<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (QUELUZ; SÁNCHEZ-ROMÁN, 2014; ALVES, 2015). Já a ARTAC foi obtida a partir do segundo tipo de tratamento, formado por três leitos de alagados construídos (QUELUZ, 2016).

A lâmina de irrigação foi calculada via tensiometria, e aplicada em cinco composições distintas, formadas com 0, 25, 50, 75 e 100% de ARTS e ARTAC, sendo complementadas com água de abastecimento do Campus Universitário da FCA, proveniente de poço profundo (AA). Só não foi realizada a irrigação, nos dias onde ocorreu precipitação ou em dias subsequentes, pois a leitura do tensiômetro mostrava não haver necessidade de irrigação.

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, organizados em esquema fatorial 2x5, considerando as duas fontes de água residuária tratada (ARTS e ARTAC) e as cinco composições da lâmina de irrigação (100%, 75%, 50%, 25%, e 0% de ART).

Na ARTS e ARTAC foram avaliados semanalmente, os teores dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), essas análises foram realizadas no Laboratório do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP.

Foram coletadas também, amostras de solo (0 – 20 cm) para análise química, conforme proposto por Raij et al. (2001), realizada no Laboratório de Solos da FCA/UNESP. Com base na análise de solo e na recomendação de adubação para as culturas alface (TRANI et al., 2014), beterraba (TRANI et al., 2013) e rabanete (TRANI; RAIJ, 1997), foi calculada a quantidade de fertilizantes necessária para completar o ciclo produtivo das culturas (Tabela 13). Foi feita a adubação de plantio para as culturas da alface (50, 180 e 84 kg ha<sup>-1</sup> de N, P e K, respectivamente) e da beterraba (40, 240 e 112 kg ha<sup>-1</sup> de N, P e K, respectivamente), sendo que esses valores foram para suprir toda adubação de plantio de N e P, e 70% de K.

**Tabela 13:** Quantitativo dos nutrientes recomendados para cada cultura

Nutrientes	Recomendação* (Kg ha <sup>-1</sup> )		
	Alface	Beterraba	Rabanete
N	100	160	40
P	30	-	180
K	86	168	130

\*Esses valores são recomendados para adubação de cobertura e no caso do Potássio repõe ainda 30% da adubação de plantio.

Na composição 0% ART, foi aplicado para as culturas da alface (150, 210 e 170 kg ha<sup>-1</sup> de N, P e K, respectivamente) e da beterraba (200, 240 e 280 kg ha<sup>-1</sup> de N, P e K, respectivamente), considerando todo o ciclo produtivo. Já no cultivo do rabanete, não foi feita adubação de plantio, visto que esta cultura foi implantada após a colheita da alface, portanto, nos cálculos, foi considerado a adubação completa, recomendada para todo o ciclo.

Para as composições com ART, a partir da caracterização química da mesma e do volume de água aplicado diariamente (determinado via tensiometria), foi calculada a quantidade dos macronutrientes (Equação 7) N, P e K fornecidos pela ARTS e ARTAC, para cada composição da lâmina de irrigação (25, 50, 75 e 100% de ART) e para cada uma das culturas. A partir desses valores foi calculado (Equação 8)

o percentual aplicado de N, P e K via irrigação com ARTS e ARTAC e realizada uma comparação com a recomendação de adubação específica para cada cultura.

$$N_A = C * VART * f \quad \text{Equação - 7}$$

Em que:

$N_A$  = Quantidade de nutriente aplicado ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

$C$  = Concentração do nutriente presente na ART ( $\text{mg L}^{-1}$ );

$VART$  = Volume de ART aplicado no ciclo ( $\text{L m}^{-2}$ );

$f = 0,01$ ; constante para conversão de unidades.

$$PE = \frac{N_a * 100}{QNR} \quad \text{Equação - 8}$$

Em que:

$PE$  = Porcentagem de economia de nutrientes, %;

$NA$  = Quantidade de nutriente aplicado ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

$QNR$  = Quantidade de nutriente recomendado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Após a colheita, as amostras de cada uma das culturas foram pesadas em balança analítica eletrônica BG 1000 (precisão de 0,1g) da marca Gehaka, para cálculo das respectivas produtividades, conforme Equação 9.

$$P = \frac{P_f}{A_c} \quad \text{Equação - 9}$$

Em que:

$P$ : produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

$P_f$ : Massa fresca (kg);

$A_c$ : área cultivada (ha).

As raízes de beterraba foram ainda classificadas (HORTBRASIL, 2006) quanto ao calibre, em comercial (classes 50, 90 e 120 mm) e não comercial (raízes com rachaduras, furos e ocorrência de praga).

As raízes de rabanete também foram classificadas em comerciais (livres de rachaduras, não isoporizadas com diâmetro  $\geq 20$  mm) e não comerciais (raízes com rachaduras, furos e ocorrência de praga), conforme metodologia proposta por Cardoso e Hiraki (2001).

Para a determinação da eficiência do uso da água (EUA,  $\text{kg m}^{-3}$ ) foi feita uma relação entre a produtividade das culturas ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e o volume de água recebido ( $\text{m}^3$ ) em determinada área (ha), considerando duas situações: a primeira foi determinada a eficiência de uso da água considerando apenas a lâmina de água fornecida pela irrigação (EUAI,  $\text{kg m}^{-3}$ ), e a segunda foi feita a determinação da eficiência de uso da água considerando a lâmina de água fornecida pela irrigação somada a precipitação efetiva (EUAIP,  $\text{kg m}^{-3}$ ).

O cálculo da precipitação efetiva ( $P_{\text{ef}}$ , Equação 10) foi feito através do balanço de umidade no solo. Com base na curva de retenção de água no solo, foi calculada a capacidade de água disponível – CAD, considerando a profundidade do sistema radicular de 15 cm, usando a CAD como referencial e considerando como saída de água apenas a evapotranspiração da cultura. Nos dias onde ocorreram precipitação (P) e nos dias subsequentes, onde não houve necessidade de irrigação, se  $P \leq P_{\text{ef}}$ , considerou-se como precipitação efetiva, o próprio valor de P. Na situação contrária, onde  $P > P_{\text{ef}}$ , utilizou-se o valor de  $P_{\text{ef}}$ .

$$P_{\text{ef}} = ET_0 * K_c$$

Equação - 10

Em que:

$P_{\text{ef}}$ : Precipitação efetiva, mm;

$ET_0$ : Evapotranspiração de referência, mm;

$K_c$ : coeficiente de cultivo, adimensional (Tabela 14).

**Tabela 14:** Coeficientes de cultivo (Kc) para as culturas

Cultura	Fase Fenológica	Duração (dias)*	Kc
Beterraba	I	37	0,50
	II	27	1,05
	III	24	0,95
Alface	I	11	0,70
	II	11	1,00
	III	15	0,95
Rabanete	I	6	0,70
	II	10	0,90
	III	15	0,85

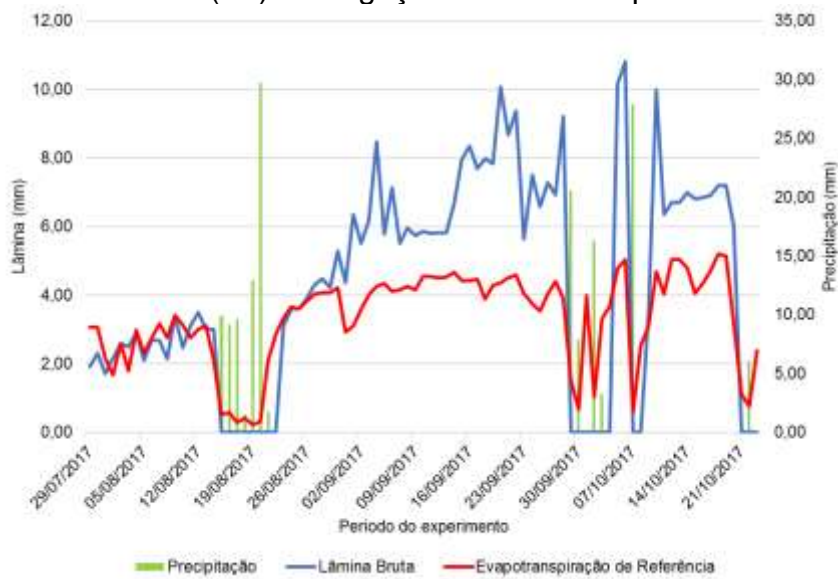
Fonte: Adaptado de FAO 56. \* A duração das fases foi adaptada a algumas características intrínsecas do experimento, onde nos primeiros dias após transplântio/semadura não foi utilizada na irrigação ART.

Os dados obtidos foram avaliados por meio de análise de variância pelo teste Scott-Knott com probabilidade de 5%, sendo utilizado o software Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2007).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

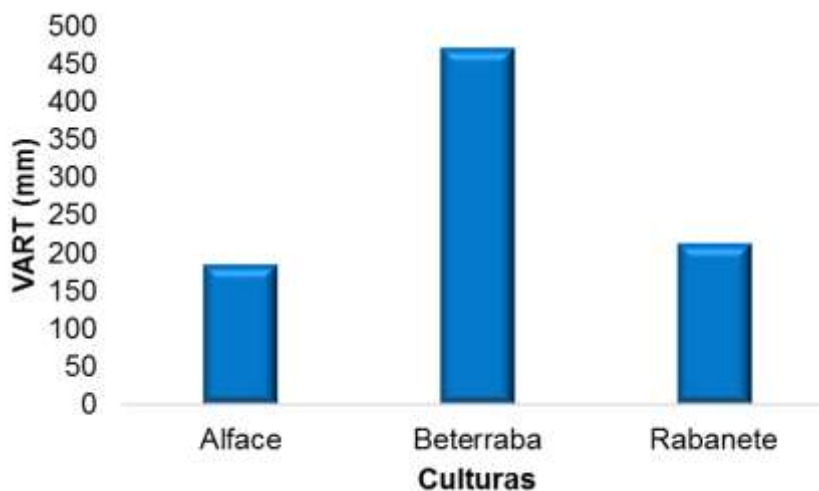
Na Figura 19 podem ser observados os resultados da evapotranspiração de referência, precipitação e lâmina de irrigação (manejo via solo). Nos dias em que ocorreram precipitação e quando a tensão média medida foi inferior a 7 KPa não se realizou irrigação, pois nesta tensão o solo atingia a capacidade de campo.

**Figura 19:** Valores diários de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), precipitação e lâmina bruta (LB) de irrigação durante o experimento



Na Figura 20 consta o volume final de ARTS e ARTAC aplicado durante o ciclo de cada uma das culturas.

**Figura 20:** Volume final de ART (VART) aplicado em cada cultura.



## 2.3.1 Produtividade

### 2.3.1.1 Alface

Na Tabela 15 estão apresentados os resultados de produtividade da alface irrigada ARTS e ARTAC.

**Tabela 15:** Produtividade da alface

Água de irrigação	Composições da lâmina (%)	Produtividade (ton ha <sup>-1</sup> )
AA	0	31,34 b
	25	34,09 b
	50	32,04 b
	75	36,48 b
	100	35,05 b
ARTAC	25	25,24 a
	50	30,46 b
	75	33,62 b
	100	27,81 a
	ARTS	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 15, verifica-se que as maiores produtividades foram obtidas nas lâminas 75%, de 36,48 e 33,62 ton ha<sup>-1</sup> para ARTAC e ARTS respectivamente, sendo superiores em relação ao sistema convencional de cultivo (0% ART), porém iguais estatisticamente.

Em consonância com os dados obtidos neste estudo, Vergine et al. (2017) obtiveram produtividade de aproximadamente 38 ton ha<sup>-1</sup>, em cultivo de alface irrigado com água residuária tratada e adição de fósforo (50 Kg ha<sup>-1</sup>) e nitrogênio (125 Kg ha<sup>-1</sup>). Da mesma forma, Lonigro et al. (2016) encontraram produtividade de 31,37 ton ha<sup>-1</sup>, avaliando o desenvolvimento da alface irrigada com esgoto doméstico tratado por processo terciário.

### 2.3.1.2 Beterraba

Para a beterraba, como pode ser observado na Tabela 16, a produtividade foi numericamente superior nos cultivos irrigados ARTS e ARTAC, se comparado ao plantio convencional (0% ART). As maiores médias de produtividade foram verificadas

nas composições 100% ARTAC e 75% ARTS, sendo iguais a 288,45 e 235,6 ton ha<sup>-1</sup> respectivamente.

**Tabela 16:** Produtividade da beterraba

Água de irrigação	Composições da lâmina (%)	Produtividade (ton ha <sup>-1</sup> )		
		Total	Raízes comerciais	Raízes não comerciais
AA	0	176,16 a	173,77 a	2,39 a
	25	188,58 a	169,72 a	18,86 d
	50	202,18 a	176,90 a	25,27 e
	75	235,60 b	217,93 a	17,67 d
	100	220,50 a	209,48 a	11,03 c
ARTS	25	185,95 a	185,95 a	0,00 a
	50	233,85 b	233,85 b	0,00 a
	75	258,80 b	252,33 b	6,47 b
	100	288,45 b	281,24 b	7,21 b

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.

As composições 50% ARTS e 100% ARTAC produziram o maior percentual de raízes não comerciais, que são aquelas onde apresentam deformidades ou rachaduras (Figura 21), cerca de 12,50 e 2,50% respectivamente.

**Figura 21:** Raízes consideradas não comerciais no cultivo da Beterraba



Resultados de produtividades inferiores aos obtidos neste trabalho, foram relatados por Gomes et al. (2015) avaliando a influência da irrigação com água residuária tratada (processo aeróbico e anaeróbico), visando repor 50, 100 e 150% da evapotranspiração da cultura (ETc) da beterraba, com aplicação de 50% do nitrogênio recomendado para a cultura, obtiveram 47,72 ton ha<sup>-1</sup>. Hussar et al. (2005), ao

avaliarem a eficiência do reúso da água residuária tratada em reator anaeróbio compartimentado, na irrigação da beterraba, encontrou para o tratamento com 100% de água residuária sem adubação, uma produtividade de 163,87 kg ha<sup>-1</sup>. Isto comprova a qualidade nutricional da ARTS e ARTAC; e o efeito benéfico desses efluentes para as plantas, proporcionando um melhor rendimento da cultura.

Comparando a produtividade de raízes comerciais (Tabela 16) da beterraba, obtiveram-se os maiores valores com a lâmina de 100% ARTAC (281,24 ton ha<sup>-1</sup>) e 75% ARTS (217,93 ton ha<sup>-1</sup>), diferindo estatisticamente ( $p < 0,05$ ). Em todas as composições avaliadas, a maior concentração de raízes comerciais ocorreu na classe compreendida entre 50 a 90 mm (100% no controle, 82,5% na ARTS e 62,5% na ARTAC), seguida da classe 90 a 120 mm (7,5% na ARTS e 36,3% na ARTAC) e não houve produção de raízes maiores que 120 mm.

Sediyama et al. (2011) avaliando o efeito da cobertura do solo e doses de lodo de lagoa de decantação de água residuária de suinocultura na produtividade da beterraba, também constataram que a incorporação de material orgânico ao sistema de cultivo, proporcionou maior produtividade comercial (38,66 ton ha<sup>-1</sup>). Segundo os mesmos autores, houve predominância de raízes comerciais compreendidas na classe entre 50 a 90 mm (85,4%), semelhante aos resultados obtidos neste trabalho.

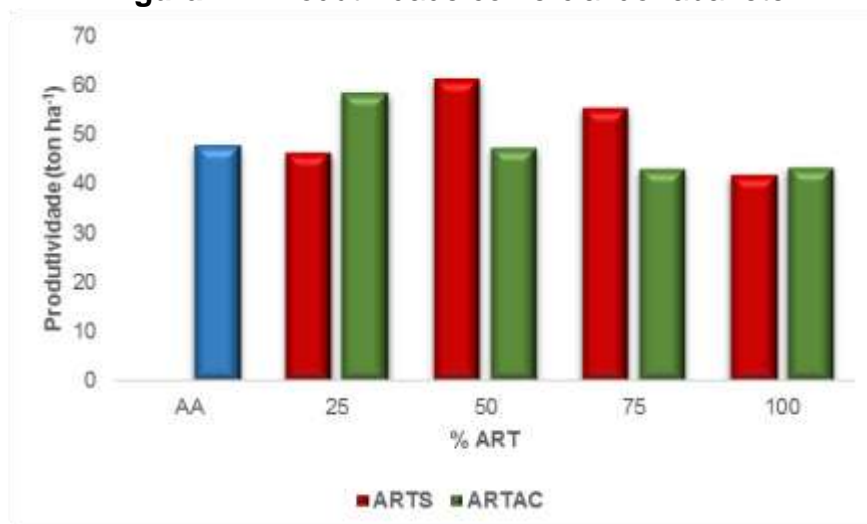
### **2.3.1.3 Rabanete**

Na Tabela 17 e Figura 22 são apresentados os valores de produtividade total e comercial respectivamente, das raízes de rabanete. Fazendo uma avaliação da produtividade total (Tabela 17), muito embora não se tenha observado diferença estatística, a irrigação com ARTS e ARTAC proporcionou, em geral, médias superiores para esta variável quando comparado ao plantio convencional (AA). Os maiores valores obtidos foram 65,92 ton ha<sup>-1</sup> na composição 50% ARTS e 60,46 ton ha<sup>-1</sup> na composição 25% ARTAC. Para produtividade comercial, os tratamentos 50 e 75% ARTS e 25% ARTAC diferiram estatisticamente em relação ao plantio tradicional.

**Tabela 17:** Produtividade total e comercial do rabanete

Água de irrigação	Composições da lâmina (%)	Produtividade (ton ha <sup>-1</sup> )	
		Total	Comercial
AA	0	51,46 a	47,78 a
	25	51,75 a	46,20 a
	50	65,92 a	61,20 b
	75	57,33 a	55,29 b
	100	55,75 a	41,82 a
ARTS	25	60,46 a	58,30 b
	50	55,08 a	47,21 a
	75	60,04 a	42,89 a
	100	54,92 a	43,15 a

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.

**Figura 22:** Produtividade comercial do rabanete

Valores inferiores de produtividade do rabanete aos encontrados neste estudo, foram relatados por Costa et al. (2006) aplicando doses de húmus de minhoca e de esterco bovino no rabanete, plantado com espaçamento de 0,20 x 0,08 m, encontraram 3,25 ton ha<sup>-1</sup>; Lima et al. (2016) obtiveram produtividade de 18,02 ton ha<sup>-1</sup>, com aplicação de 25 ton ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto e Zavadil (2009) reportou 29,3 e 22,3 ton ha<sup>-1</sup>, avaliando o desempenho da cultura irrigada com efluente doméstico tratado por processos secundário e primário, respectivamente.

Com relação a produtividade comercial (Tabela 17 e Figura 22) foi observado que as composições 50% ARTS e 25% ARTAC, proporcionaram os maiores valores de produtividade, como também raízes de melhor qualidade comercial, com valores de 61,20 e 58,30 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente. As composições 100% ARTS e 75% ARTAC produziram o maior percentual de raízes não comerciais, que são aquelas isoporizadas ou que apresentam rachaduras (Figura 23), cerca de 24,99 e 28,56%

respectivamente. A produtividade de raízes comerciais obtida neste trabalho, é superior aos valores relatados por Costa et al. (2006) que obtiveram 1,57 ton ha<sup>-1</sup> para rabanete cultivado sob diferentes fontes e doses de adubos orgânicos; Cardoso e Hiraki (2001) relataram 5,05 ton ha<sup>-1</sup> com aplicação de 300 Kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio.

**Figura 23:** Raiz de rabanete considerada não comercial



### 2.3.2 Aporte nutricional

Na Tabela 18, estão descritas as concentrações dos macronutrientes (N, P e K) presentes na água dos diferentes sistemas. Já na Tabela 19 são apresentados os valores referentes ao aporte nutricional fornecido pela ART a cultura da Alface e os respectivos percentuais de economia, quando comparado ao plantio convencional (Tabela 13).

**Tabela 18:** Concentração dos Macronutrientes presentes na AA, ARTS e ARTAC

Macronutrientes	Concentração (mg L <sup>-1</sup> )		
	AA	ARTS	ARTAC
Nitrogênio total	2,80	41,72	39,20
Fósforo total	0,54	2,13	0,38
Potássio	16,00	18,00	14,20

**Tabela 19:** Aporte nutricional via irrigação com ARTS e ARTAC, e percentual de economia de fertilizantes com base na adubação de cobertura, para a alface

Tratamentos	Macronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )			Porcentagem de economia (%)			
	N	P	K	N	P	K	
ARTS	25%	19,28	0,98	8,32	19,27	3,28	9,67
	50%	38,55	1,97	16,63	38,55	6,56	19,34
	75%	57,83	2,95	24,95	57,83	9,84	29,01
	100%	77,11	3,94	33,27	77,11	13,12	38,68
ARTAC	25%	18,11	0,18	6,56	18,11	0,58	7,62
	50%	36,22	0,35	13,12	36,22	1,17	15,26
	75%	54,34	0,53	19,68	54,34	1,76	22,89
	100%	72,45	0,70	26,24	72,45	2,34	30,52

A ARTS em todas as proporções forneceu uma maior quantidade de NPK em comparação com a ARTAC, porém esses valores foram inferiores ao recomendado para a alface. Nas composições com ART, mesmo a 100% ART tendo fornecido um maior aporte nutricional que as demais, a 75% ARTS foi quem apresentou maior produtividade, seguida da 100% ARTS e 75% ARTAC.

Dessa forma, e com base nos resultados de produtividade (Tabela 15), é possível afirmar que apesar da menor quantidade de nutrientes aplicada pela ARTS em comparação ao cultivo convencional, todas as proporções são viáveis, pois apresentaram maior rendimento da alface. Mesmo que estes valores de produtividade não apresentem diferença estatística ( $p < 0,05$ ), a composição 100% ARTS proporcionou rendimento 11,8% superior ao cultivo convencional, com economia de 77,11; 13,12 e 38,68% de N, P e K, respectivamente, além de proporcionar uma economia de 100% do uso de água de melhor qualidade.

Na Tabela 20 são apresentados os valores referentes ao aporte nutricional fornecido pela ART para a beterraba, e os respectivos percentuais de reposição quando comparado ao plantio convencional (Tabela 13).

**Tabela 20:** Aporte nutricional via irrigação com ARTS e ARTAC, e percentual de economia de fertilizantes com base na adubação de cobertura, para a beterraba

Tratamentos		Macronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )			Porcentagem de economia (%)		
		N	P	K	N	P*	K**
ARTS	25%	49,20	2,51	21,23	30,75	-	12,64
	50%	98,40	5,02	42,45	61,50	-	25,27
	75%	147,60	7,54	63,68	92,25	-	37,91
	100%	196,80	10,05	84,91	123,00	-	50,54
ARTAC	25%	46,23	0,45	16,75	28,90	-	9,97
	50%	92,46	0,90	33,49	57,79	-	19,94
	75%	138,68	1,34	50,24	86,68	-	29,90
	100%	184,91	1,79	66,98	115,57	-	39,87

\*Para a cultura da beterraba, a recomendação é não adicionar fósforo na adubação de cobertura (TRANI et al., 2013). \*\*Para o potássio, considerou-se 30% da adubação de plantio e 100% da adubação de cobertura.

A ARTS em todas as proporções forneceu uma maior quantidade de N, P e K em comparação com a ARTAC, porém esses valores foram inferiores ao recomendado para a beterraba, exceto na composição 100% ARTS e ARTAC, nas quais o aporte de N foi 23,00 e 15,57% superior ao recomendado. Mesmo as composições com ARTS fornecendo um maior aporte nutricional, a 100% ARTAC foi a que apresentou maior produtividade, seguido do 75% ARTAC e 75% ARTS.

Com base nos resultados de produtividade (Tabela 16), é possível afirmar que apesar da menor quantidade de nutrientes aplicada nas composições 25, 50 e 75% ARTAC e ARTS em comparação ao cultivo convencional, todas as proporções são viáveis por proporcionar um maior rendimento da beterraba, pois a menor produtividade (25% ARTAC) obtida neste estudo é 5,6% superior ao cultivo convencional, com economia de 28,89 e 9,97% de N e K, respectivamente, além de proporcionar uma economia de 25% de água de poço utilizada na irrigação.

Ademais, a composição 100% ARTAC possibilitou a maior produtividade da beterraba (288,45 ton ha<sup>-1</sup>), 63,7% superior ao obtido com o cultivo convencional, sem a utilização de água limpa e com uma economia de 115,57 e 39,872% de N e K, respectivamente.

Na Tabela 21 são apresentados os valores referentes ao aporte nutricional fornecido pela ARTS e ARTAC e os respectivos percentuais de reposição para o cultivo do rabanete, quando comparados ao plantio convencional (Tabela 13).

**Tabela 21:** Aporte nutricional via irrigação com ARTS e ARTAC, e percentual de economia de fertilizantes com base na adubação de cobertura, para o rabanete

Tratamentos	Macronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )			Porcentagem de economia (%)			
	N	P	K	N	P	K	
ARTS	25%	22,17	1,13	9,56	55,41	0,63	7,36
	50%	44,33	2,26	19,13	110,83	1,26	14,71
	75%	66,50	3,40	28,69	166,24	1,89	22,07
	100%	88,66	4,53	38,25	221,66	2,51	29,43
ARTAC	25%	20,83	0,20	7,54	52,07	0,11	5,80
	50%	41,65	0,40	15,09	104,14	0,22	11,61
	75%	62,48	0,61	22,63	156,20	0,34	17,41
	100%	83,31	0,81	30,18	208,27	0,45	23,21

A ARTS em todas as composições forneceu uma maior quantidade de N, P e K em comparação com a ARTAC. Em relação ao N a composição 25% para ARTS e ARTAC, foi a única que supriu 55 e 52% da recomendação nutricional para o rabanete, respectivamente. As demais, forneceram valores superiores ao recomendado.

Com base nos resultados de produtividade (Tabela 17), verificou-se que a composição 50% ARTS proporcionou a maior produtividade do rabanete, 26,7% superior ao cultivo convencional, com economia de 100; 1,26 e 14,71% de N, P e K, respectivamente, além de proporcionar uma economia de 50% do uso de água de poço.

Ainda com relação a produtividade, os valores máximos de 65,92 e 60,46 ton ha<sup>-1</sup> foram obtidos nas composições 50% ARTS e 25% ARTAC respectivamente, e são superiores aos relatados por Gouveia (2016) que obteve produtividade máxima de 33,6 ton ha<sup>-1</sup> na maior dose estuda de K<sub>2</sub>O (90 kg ha<sup>-1</sup>).

De maneira semelhante, neste trabalho verificou-se o mesmo comportamento, onde as maiores médias de produtividade foram obtidas através da irrigação com ARTS, na qual a concentração de K também era superior. O potássio é o nutriente mais extraído por plantas armazenadoras de reserva em órgãos subterrâneos, sendo utilizado para translocação de açúcares, ativação dos sistemas enzimáticos que atuam no metabolismo da planta e requerido para a obtenção de elevadas produtividades, atuando diretamente no crescimento vegetal (MARSCHNER, 1995; TAIZ; ZEIGER, 2007; MALAVOLTA, 2006; FILGUEIRA, 2008; ALVES et al., 2008), o que justifica esse incremento de produtividade das raízes de rabanete.

Em termos nutricionais, comparando a ARTS e ARTAC com o efluente doméstico tratado utilizado por Dantas et al. (2014), em cultivo de rabanetes, verificou-se que a concentração de nitrogênio (N – Total) na ARTS (41,72 mg L<sup>-1</sup>) e ARTAC (39,20 mg L<sup>-1</sup>) foram superiores em relação ao encontrado por Dantas et al. (2014), os quais obtiveram concentração média de 31,96 mg L<sup>-1</sup>. Já em relação ao fósforo (P – Total), constatou-se o contrário, com valores inferiores de 2,13; 0,38 e 14,02 mg L<sup>-1</sup> respectivamente.

De maneira geral, tanto a ARTAC como a ARTS proporcionaram um maior aporte de N as culturas. Tendência semelhante foi observada por Montemurro et al. (2017) avaliando o efeito da irrigação com esgoto doméstico tratado em erva doce e alface, que constataram economia de 54% de fertilizante nitrogenado. Kummer et al. (2018) obtiveram um fornecimento de 100% da adubação nitrogenada química, com a utilização de 80 Kg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado, na cultura do trigo. Na cultura do algodão marrom, Alves et al. (2009) considerando o mesmo consumo hídrico para o cultivo convencional, relataram uma economia de 84,4 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio quando utilizado efluente municipal tratado em reator anaeróbico de fluxo ascendente (UASB). Segundo Marques et al. (2017) o esgoto doméstico tratado (preliminar), foi capaz de suprir 93% do requerimento de nitrogênio do capim-elefante.

Segundo Matos (2006), em termos nutricionais, as plantas necessitam de uma maior quantidade de nitrogênio, em comparação aos outros elementos. A elevada disponibilidade de N nas águas residuárias, proporciona um maior crescimento vegetativo e conseqüentemente, um maior rendimento das culturas, além disso, seu fornecimento contínuo através da irrigação com água residuária, reduz as perdas por gaseificação e lixiviação (MONTEMURRO et al., 2017), maximizando a disponibilidade do N para o metabolismo das plantas, conforme foi verificado nesse trabalho.

Com relação ao fósforo, o maior aporte foi observado para a alface e o rabanete, sob a composição 100% ARTS, proporcionando economia de 7,04 e 2,51% respectivamente. Cuba et al. (2015), ao estudarem o desenvolvimento da alface em cultivo hidropônico com efluente de esgoto doméstico tratado, observaram economia de 11% com fosfato monoamônico. Para as culturas trigo (CHOUKR-ALLAH; HAMDY, 2005) e capim-elefante (MARQUES et al., 2017) irrigadas com água residuária tratada, foram obtidos percentuais de economia com P de 10 e 100%, respectivamente.

Em se tratando do potássio, os maiores percentuais de economia foram obtidos na composição 100% ARTS, com valores de 20,74; 40,81 e 29,43%, para alface, beterraba e rabanete, respectivamente. Percentuais semelhantes foram obtidos em cultivo com água residuária tratada por Cuba et al. (2015) em alface, que constataram 49%; Segura et al. (2001) em melão, que encontraram 17,8%; e Marques et al. (2017) em capim-elefante, observaram 33%. Valores superiores foram relatados por Choukr-Allah; Hamdy (2005) em trigo, os autores reportaram economia em torno de 70-82% para o K.

Corroborando com os resultados dessa pesquisa, Rebouças et al. (2010) analisando o desenvolvimento de feijão-caupi irrigado com esgoto doméstico tratado, também verificaram que na ausência de adubação química, o efluente atendeu as necessidades nutricionais da cultura. Duarte et al. (2008) constataram que a água residuária contém qualidade física e química adequada para irrigação do pimentão.

Conforme verificado neste trabalho, para o N, a ARTS e ARTAC atendeu parcialmente a demanda nutricional para alface e beterraba e completamente para o rabanete, em comparação com o recomendado para essas culturas. Entretanto, mesmo com um menor fornecimento de nutrientes, o rendimento das três culturas foi superior ao cultivo convencional, exceto para a alface nas composições 25, 50 e 100% ARTAC.

Esse resultado pode ser atribuído a vários fatores, como características específicas da ARTS e ARTAC, do solo utilizado e do manejo nutricional. Esse último é devido ao fato de que na irrigação com ART, via gotejamento, a aplicação de água e nutrientes ocorre em alta frequência e baixo volume, assim, diariamente são fornecidas pequenas doses dos nutrientes as culturas. Já no sistema convencional de cultivo, a dosagem dos nutrientes é fornecida por exemplo, em quatro ou cinco vezes, a depender do ciclo produtivo de cada cultura, dessa forma, pode ocorrer perda dos nutrientes por volatilização e lixiviação, e conseqüentemente prejudicar o rendimento esperado da planta.

De acordo com Mateo-Sagasta e Burke (2010) e Montemurro et al. (2017), as águas residuárias atendem totalmente ou parcialmente a demanda nutricional das culturas agrícolas, porém pode haver variação nas concentrações dos nutrientes de acordo com as características físicas e químicas do efluente. Vale ressaltar a importância do manejo adequado desses elementos, para evitar os prejuízos causados pelo excesso, tanto no solo quanto nas plantas.

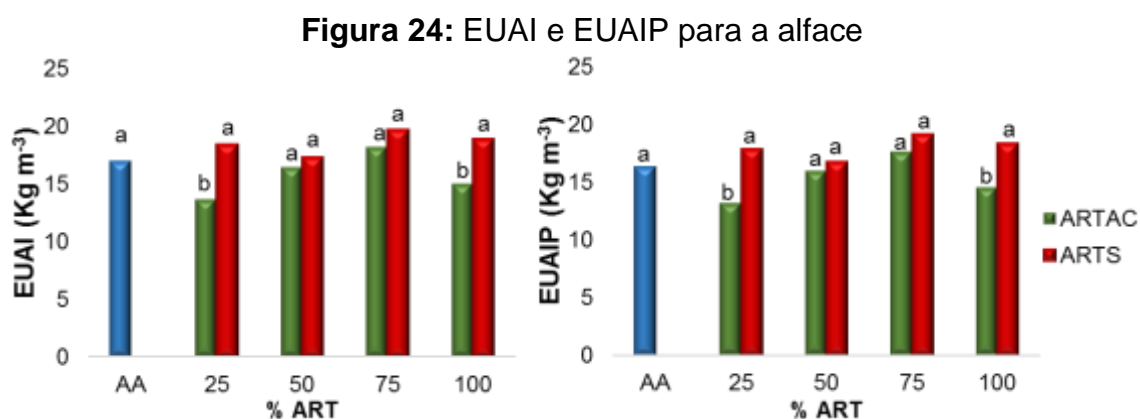
O manejo adequado dos nutrientes pode contribuir para um melhor desenvolvimento da cultura, em virtude da elevada concentração de nutrientes e matéria orgânica, favorecendo assim, a retenção de água no solo e a fixação de nutrientes (LEON; CAVALLINI, 1999; PEDRERO et al., 2010).

Esses resultados estão em conformidade com a literatura, na qual o incremento de produtividade, está diretamente relacionado com a qualidade nutricional da água residuária tratada, que favorece o desenvolvimento das culturas (MURRAY; RAY, 2010; CIRELLI et al., 2012; GATTA et al., 2015; ABEGUNRIN et al., 2016; URBANO et al., 2017; NANDAL et al., 2017).

### 2.3.3 Eficiência do uso da água

#### 2.3.3.1 Alface

Os valores de EUAI e EUAIP obtidos para a alface são apresentados na Figura 24.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Scott-Knott

Na alface, verificou-se que para a ARTS, tanto a EUAI quanto a EUAIP, foram superiores numericamente se comparadas ao cultivo convencional mesmo não apresentando diferença estatística, em todas as composições da lâmina de irrigação, e os maiores valores obtidos foram 19,74 e 19,08 kg m<sup>-3</sup>, na composição 75% de ARTS, respectivamente. Já para a ARTAC, os valores de EUAI e EUAIP das composições 25 e 100% foram inferiores e diferentes estatisticamente se comparados

ao controle. Ainda em comparação ao 0% ART a composição 50% foi inferior e a composição 75% superior tanto para o EUAI quanto para o EUAIP, entretanto estes valores são iguais estatisticamente. Para a EUAI as maiores médias foram 18,19 e 19,74 kg m<sup>-3</sup> e para EUAIP foram 17,58 e 19,08 kg m<sup>-3</sup>, obtidas nas composições 75% ARTAC e ARTS, respectivamente.

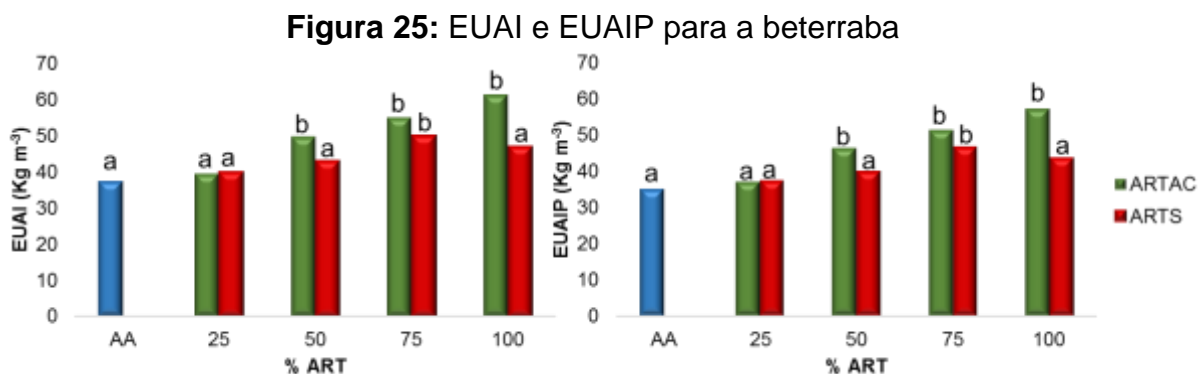
Balkhair et al. (2013) estudando o efeito da irrigação por gotejamento com seis diluições diferentes de águas residuárias domésticas tratadas, sobre o rendimento da alface, obtiveram valores superiores aos relatados nesta pesquisa. O maior valor obtido pelos autores para a eficiência do uso da água de irrigação foi de 25,0 kg m<sup>-3</sup> no tratamento com 60% de efluente doméstico.

Sandri et al. (2007), avaliaram a alface Elisa, irrigada com esgoto doméstico tratado em reator anaeróbio compartimentado, via gotejamento superficial, durante dois ciclos, observaram valores superiores de eficiência do uso da água, de 54,5 (1º ciclo) e 35,5 (2º ciclo) kg m<sup>-3</sup>.

Os resultados de EUAI e EUAIP para a alface, irrigada com ARTAC e ARTS, são superiores se comparados ao plantio convencional, exceto nas composições 50 e 100%, para ARTAC, resultados semelhantes foram relatados por Magalhães et al. (2015) e Valença et al. (2018).

### 2.3.3.2 Beterraba

Para a beterraba, os resultados de EUAI e EUAIP são apresentados na Figura 25.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Scott-Knott

Para a beterraba irrigada com ARTS, verificou-se que em todas as composições os valores de EUAI e EUAIP foram superiores ao cultivo convencional, porém essa diferença foi significativa apenas na composição 75%. Já para a ARTAC, em todas as composições os valores foram superiores ao 0% ART significativamente, exceto na 25%. Para a EUAI as maiores médias foram 61,15 e 49,95 kg m<sup>-3</sup> e para EUAIP foram 57,49 e 46,96 kg m<sup>-3</sup>, obtidas nas composições 100% ARTAC e 75% ARTS, respectivamente.

Ao contrário do observado neste trabalho, Hassanli et al. (2010) pesquisando sobre os efeitos de diferentes sistemas de irrigação, aplicando efluente doméstico tratado na beterraba açucareira, constataram valores de EUAIP consideravelmente menores, de 9 kg m<sup>-3</sup>.

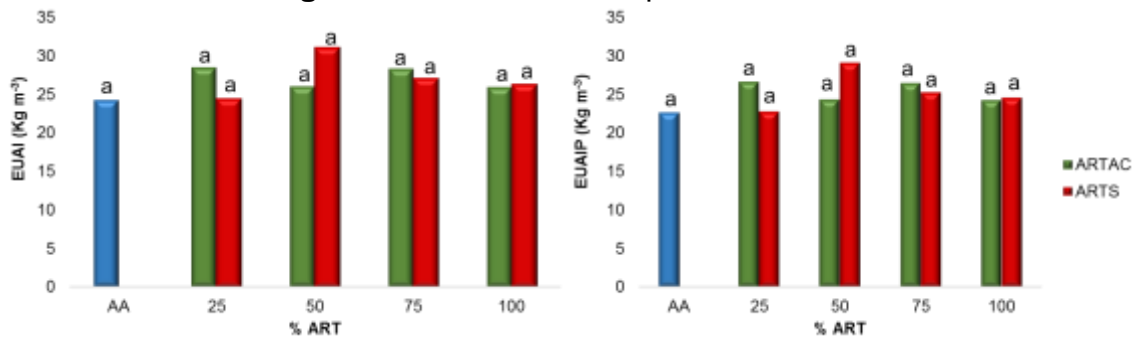
Kiyamaz e Ertek (2015) ao estudarem o efeito de diferentes níveis de irrigação e nitrogênio, no rendimento da beterraba açucareira, durante os anos de 2012 e 2013 na Turquia, obtiveram resultados menores que os obtidos nesse trabalho. Os maiores valores de EUAI e EUAIP apresentados por estes autores foram 22,8 e 13,0 kg m<sup>-3</sup>.

Os valores de EUAI e EUAIP obtidos neste trabalho são superiores aos relatados por Topak et al. (2011), os quais avaliando os efeitos da irrigação por déficit no rendimento da beterraba açucareira, no semiárido da Turquia, alcançaram valores médios de 8,32 e 11,5 kg m<sup>-3</sup> respectivamente, evidenciando assim, uma menor relação biomassa por quantidade de água consumida.

De acordo com Khan et al. (1990), Badawi et al. (1995) e Kandil et al. (2002) como os parâmetros biométricos da beterraba diâmetro e massa das raízes aumentaram com o aumento dos níveis de fertilizantes nitrogenados, se acredita que este aumento influenciou na síntese de metabólitos pelas plantas.

### **2.3.3.3 Rabanete**

Para o rabanete, os resultados de EUAI e EUAIP estão apresentados na Figura 26.

**Figura 26:** EUAI e EUAIP para o rabanete

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Scott-Knott

Verificou-se que para o rabanete, irrigado tanto com ARTS quanto com ARTAC, os valores de EUAI e EUAIP foram superiores se comparadas ao cultivo convencional, em todas as composições da lâmina de irrigação, porém todos iguais estatisticamente. Para a EUAI as maiores médias foram 28,45 e 31,02 kg m<sup>-3</sup> e para o EUAIP foram 26,58 e 28,58 kg m<sup>-3</sup>, obtidas nas composições 25% ARTAC e 50% ARTS, respectivamente.

Balkhair et al. (2014), avaliaram o efeito da irrigação utilizando esgoto doméstico tratado (tratamento secundário) no cultivo do rabanete, na Cidade de Jeddah (Arábia Saudita), nos anos de 2011 e 2012, onde foram testadas diferentes composições de lâmina de irrigação, com água residuária e água subterrânea. Os maiores valores de EUAI obtidos pelos autores foram 13,25; 13,23 e 12,89 kg m<sup>-3</sup> nos tratamentos com água subterrânea, 60 e 100% de água residuária tratada respectivamente, entretanto esses resultados são inferiores aos obtidos neste trabalho.

Já no cultivo com adubação convencional e utilizando apenas água potável na China, com diferentes tensões de água no solo, Kang e Wan (2005) obtiveram uma EUA de 28,3 kg m<sup>-3</sup> no ano de 2001 e no ano seguinte 22,3 kg m<sup>-3</sup>, calculado o volume de água aplicado com base na equação do balanço hídrico. Estes valores corroboram com a hipótese de que a utilização de água residuária tratada pode apresentar bons resultados quando manejado corretamente, podendo proporcionar ainda, redução na utilização de fertilizantes químicos.

No geral, a irrigação com ARTAC e ARTS favoreceu o rendimento das três culturas avaliadas e consequentemente a EUAI e a EUAIP. Esse resultado positivo, pode estar relacionado ao conteúdo nutricional das águas residuárias utilizadas.

Segundo Balkhair et al. (2013) a incorporação de nutrientes no solo através da irrigação com ART, melhora seu conteúdo físico e nutricional, favorecendo os teores de clorofila e carotenos totais nas plantas, resultando no aumento da biomassa e rendimento das culturas. Ademais, Zavadil (2009) também constatou melhor rendimento das culturas alface, rabanete, cenoura, batata e beterraba açucareira, irrigadas com água residuária municipal tratada.

Em consonância com os resultados deste trabalho, Tunc e Sahin (2016) também constataram incremento na EUAI e na EUAIP no cultivo do repolho, devido a irrigação com água residuária, quando comparado ao cultivo com água limpa. Os autores obtiveram aumento de 122,3% no EUAIP e 82,3% no EUAI, nos tratamentos com efluente, no ano de 2010.

Outro fator que pode ter favorecido a EUAI e EUAIP, foi o manejo da irrigação via solo, utilizado nesse trabalho. Esse método resulta em um menor volume de água aplicado, se comparado ao manejo via clima, dessa forma a lâmina aplicada é menor, e conseqüentemente, maiores serão os índices de eficiência do uso da água. Segundo Kang e Wan (2005) uma maior quantidade de água aplicada no rabanete, reduziu a eficiência do uso da água, da mesma forma foi constatado por Topak et al. (2011) para a beterraba açucareira e por Magalhães et al. (2015) e Lima Júnior et al. (2012) para a alface.

## 2.4 CONCLUSÕES

1. Os maiores valores numéricos de produtividade da alface, foram obtidos na composição 75% tanto para ARTAC (36,48 ton ha<sup>-1</sup>) como para ARTS (33,62 ton ha<sup>-1</sup>), porém não diferiu significativamente do plantio convencional (31,34 ton ha<sup>-1</sup>);
2. Para a beterraba, nas composições 75% ARTS e 50, 75 e 100% ARTAC os valores de produtividade foram significativamente superiores em comparação ao sistema de cultivo convencional. As maiores médias de 288,45 e 235,60 ton ha<sup>-1</sup>, foram alcançadas nas composições 100% ARTAC e 75% ARTS respectivamente;
3. Para o rabanete, os maiores valores numéricos de produtividade foram obtidos na composição 50% ARTS (65,92 ton ha<sup>-1</sup>) e 25% ARTAC (60,46 ton

ha<sup>-1</sup>), porém não diferiu significativamente do plantio convencional (51,46 ton ha<sup>-1</sup>);

4. Para a alface, a ARTS e ARTAC atenderam parcialmente as necessidades nutricionais, porém o rendimento da cultura foi superior ao cultivo convencional, exceto nas composições 25, 50 e 100 ARTAC;
5. Para a beterraba, a ARTS e ARTAC atenderam parcialmente as necessidades nutricionais, exceto nas composições 100% ARTS e ARTAC, as quais proporcionaram um aporte de 23,0 e 15,57% de N, superior ao recomendado, porém o rendimento da cultura foi superior ao cultivo convencional, em todas as composições da lâmina de irrigação;
6. Para o rabanete, a ARTS e ARTAC atenderam totalmente a necessidade de N nas composições 50, 75 e 100%, e parcialmente a de P e K. Entretanto, o rendimento da cultura foi superior ao cultivo convencional, em todas as composições da lâmina de irrigação;
7. Para a alface, os maiores valores numéricos de EUAI e EUAIP foram obtidos através da irrigação com ARTS, na composição 75%. Na beterraba, os maiores valores de EUAI e EUAIP foram obtidos através da irrigação com ARTAC, na composição 100%. Na cultura do rabanete, os maiores valores numéricos de EUAI e EUAIP foram obtidos através da irrigação com ARTS, na composição 50%.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEGUNRIN, T. P.; AWE, G. O.; IDOWU, D. O.; ADEJUMOBI, M. A. Impact of wastewater irrigation on soil physico-chemical properties, growth and water use pattern of two indigenous vegetables in southwest Nigeria. **Catena**, v. 139, p. 167-178, 2016.

AL-JAMAL, M. S.; BALL, S.; SAMMIS, T. W. Comparison of sprinkler, trickle and furrow irrigation efficiencies for onion production. **Agricultural water management**, v. 46, n. 3, p. 253 – 266, 2001.

AL-KARAKI, G. N. Utilization of treated sewage wastewater for green forage production in a hydroponic system. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 80 – 94, 2011.

ALVES, A. U.; PRADO, R. M.; GONDIM, A. R. O.; FONSECA, I. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. Desenvolvimento e estado nutricional da beterraba em função da omissão de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n.2, p. 292 – 295, 2008.

ALVES, T.R. **Eficiência de um sistema de desinfecção solar de águas residuárias domésticas com adição de diferentes doses de peróxido de hidrogênio**. 2015. 77f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, UNESP, Botucatu-SP.

ALVES, W. W. A.; AZEVEDO, C. A. V.; DANTAS NETO, J.; SOUZA, J. T.; LIMA, V. L. A. Águas residuárias e nitrogênio: efeito na cultura do algodão marrom. **Revista Verde**, v.4, n.1, p. 16 – 23, 2009.

BADAWI, M. A.; EL-AGROUDY, M. A.; ATTIA, A. N. Effect of planting dates and NPK fertilization on growth and yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). **Journal of Agricultural Science**. Mansoura Univ. v. 20, n. 6, p. 2683 – 2689, 1995.

BALKHAIR, K. S.; EL-NAKHLAWY, F. S.; AL-SOLIMANI, S. G.; ISMAIL, S. M. Effect of diluted wastewater and irrigation systems on the yield and contamination of vegetable crops in arid region. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 12, n. 2, p. 579 – 586, 2014.

BALKHAIR, K. S.; EL-NAKHLAWY, F. S.; ISMAIL, S. M.; AL-SOLIMANI, S. G. Treated wastewater use and its effect on water conservation, vegetative yeild, yield components and water use efficiency of some vegetable crops grown under two different irrigation systems in western region, Saudi Arabia. **European Scientific Journal**, v. 9, n. 21, p. 395 – 402, 2013.

BRAGA, M.B.; LIMA, C.E.P. Editores Técnicos. **Reúso de água na Agricultura**. Brasília-DF: Embrapa, 2014.

CHOUKR-ALLAH, R.; HAMDY, A. Best management practices for sustainable reuse of treated wastewater. **Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches**, n. 53, p. 191-200, 2005.

CIRELLI, G. L.; CONSOLI, S.; LICCIARDELLO, F.; AIELLO, R.; GIUFFRIDA, F.; LEONARDI, C. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 163-170, 2012.

COSTA, C. C.; DE OLIVEIRA, C. D.; SILVA, C. J. D.; TIMOSSI, P. C.; LEITE, I. C. Crescimento, produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob

diferentes fontes e doses de adubos orgânicos. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 118-122, 2006.

CUBA, R. S.; CARMO, J. R.; SOUZA, C. F.; BASTOS, R. G. Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 3, p. 574-586, 2015.

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

DANTAS, I. L. A.; FACCIOLI, G. G.; MENDONÇA, L. C.; NUNES, T. P.; VIEGAS, P. R. A.; DE SANTANA, L. O. G. Viability of using treated wastewater for the irrigation of radish (*Raphanus sativus* L.). **Ambiente e Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 9, n. 1, p. 109-117, 2014.

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

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2006.

FERREIRA, D. F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados-SISVAR: programa de análises estatísticas e planejamento de experimentos**. Lavras: DEX/UFLA, 2007.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 421 p., 2008.

GATTA, G.; LIBUTTI, A.; GAGLIARDI, A.; BENEDEUCE, L.; BRUSETTI, L.; BORRUSO, L.; DISCIGLIO, G.; TARANTINO, E. Treated agro-industrial wastewater irrigation of tomato crop: Effects on qualitative/quantitative characteristics of production and microbiological properties of the soil. **Agricultural Water Management**, v. 149, p. 33-43, 2015.

GOMES, T.M.; ROSSI, F.; TOMMASO, G.; RIBEIRO, R.; MACAN, N.P.F; PEREIRA, R. S. Treated Dairy Wastewater Effect on the Yield and Quality of Drip Irrigated Table Beet. **Applied Engineering In Agriculture**, v. 31, n. 2, p.255-260, 2015.

GOUVEIA, A. M. S. **Adubação potássica na produção e qualidade pós-colheita do rabanete**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia (Horticultura), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu.

HASSANLI, A. M.; AHMADIRAD, S.; BEECHAM, S. Evaluation of the influence of irrigation methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 2, p. 357 – 362, 2010.

HASSANLI, A. M.; EBRAHIMIZADEH, M. A.; BEECHAM, S. The effects of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an arid region. **Agricultural water management**, v. 96, n. 1, p. 93 – 99, 2009.

HOWELL, T. A. Irrigation efficiency. In: STEWART, B.A., HOWELL, T.A. (Eds.), **Encyclopedia of Water Science**. Dekker, pp. 467–472. 2003.

HUSSAR, G. J.; PARADELA, A. L.; BASTOS, M. C.; REIS, B. T.; JONAS, T. C.; IRSHAD, M.; ANWAR, Z.; PERVEZ, A.; WASEEM, A. Water use efficiency and accumulation of trace elements in spinach (*Spinacia oleracea* L.) irrigated with municipal wastewater. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 6, n. 22, p. 3882-3888, 2012.

KANDIL, A. A.; BADAWI, M. A.; EL-MOURSRY, S. A.; ABDOU, U. M. A. Effect of planting dates, nitrogen levels and biofertilization treatments on: II – yield, yield components and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). **Journal of Agricultural Science**. Mansoura Univ. v. 27, n. 11, p. 7257 – 7266, 2002.

KANG, Y.; WAN, S. Effect of soil water potential on radish (*Raphanus sativus* L.) growth and water use under drip irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 106, n. 3, p. 275-292, 2005.

KHAN, M. A.; SINGHANIA, R. A.; MISHRA, N. P. Effect of nitrogen and phosphorus on yield and quality of sugar beet in saline sodic soils. **Acta Agron. Hung.** v. 39, n. 3–4, p. 381 – 387, 1990.

KIYMAZ, S.; ERTEK, A. Yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) at different water and nitrogen levels under the climatic conditions of Kirsehir, Turkey. **Agricultural Water Management**, v. 158, p. 156-165, 2015.

KUMMER, A. C. B.; GRASSI FILHO, H.; LOBO, T. F.; SOUZA LIMA, R. A. Fertilizante orgânico composto e água residuária no desenvolvimento de trigo irrigado por gotejamento. **Irriga**, v. 22, n. 2, p. 275, 2018.

LEON, S. G.; CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Campina Grande: UFPB, 1999. 110p.

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

LIMA JUNIOR, J. A.; PEREIRA, G. M.; GEISENHOF, L. O.; BOAS, V.; CARVALHO, R.; SILVA, W. G.; PEREIRA DA SILVA, A. L. Produtividade da alface americana submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, p. 2681 – 2688, 2012.

LIMA, V. N.; SILVA, R. V. T. O.; NUNES, P.; DA SILVA, P. H.; MORANT, K.; ANDRADE, R. F.; NASCIMENTO, A. E.; CAMPOS-TAKAKI, G. M.; MESSIAS, A. S.

The Cumulative Effects of Sewage Sludge Compost on *Raphanus sativus* L: Growth and Soil Properties. **Green and Sustainable Chemistry**, v. 6, p. 1-10, 2016.

LONIGRO, A.; RUBINO, P.; LACASELLA, V.; MONTEMURRO, N. Faecal pollution on vegetables and soil drip irrigated with treated municipal wastewaters. **Agricultural Water Management**, v. 174, p. 66-73, 2016.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638p.

MAGALHÃES, F. F.; CUNHA, F.; GODOY, A. R.; SOUZA, E.; SILVA, R. Produção de cultivares de alface tipo crespa sob diferentes lâminas de irrigação. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 4, n. 1-3, p. 41-50, 2015.

MARCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.

MARQUES, M. V. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, A. P. M.; SILVÉRIO, T. H. R.; PENIDO, D. L. A.; COSTA, M. T. M.; SILVA, D. A. P. Potencial, economia de água e adubação com a aplicação de efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico na fertirrigação de capim-elefante. **HOLOS**, v. 2, p. 52-64, 2017.

MATEO-SAGASTA, J.; BURKE, J. Agriculture and water quality interactions. **SOLAW Background Thematic Report TR08**. Rome, FAO , 2010.

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. 1. ed. Viçosa: AEAMG, 2006. 120 p. (Caderno didático, 37).

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

MURRAY, A.; RAY, I. Wastewater for agriculture: A reuse-oriented planning model and its application in peri-urban China. **Water research**, v. 44, n. 5, p. 1667-1679, 2010.

NANDAL, M.; YADAV, J. P.; RASTOGI, M. Effect of Industrial Effluents on Mineral Uptake of Two Rabi Crops (*Triticum aestivum* and *Raphanus sativus*). **Nature Environment and Pollution Technology**, v. 16, n. 2, p. 541-544, 2017.

PEDRERO, F.; KALAVROUZOTIS, I.; ALARCÓN, J. J.; KOUKOULAKIS, P.; ASANO, T. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 9, p. 1233-1241, 2010.

QUELUZ, J.G.T.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M. Efficiency of domestic wastewater solar disinfection in reactors with different colors. **Water Utility Journal**, v.7, n.1, p. 35-44, 2014.

QUELUZ, João Gabriel Thomaz. **Eficiência de alagados construídos para o tratamento de águas residuárias com baixas cargas orgânicas**. 2016. 124 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia (Irrigação e Drenagem), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

RAIJ, B. VAN.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. 2001. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas. 285p.

REBOUÇAS, J. R. L.; DIAS, N. D. S.; GONZAGA, M. I. D. S.; GHEYI, H. R.; NETO, O. N. D. S. Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 97-102, 2010.

SAMARAS, V.; TSADILAS, C. D.; TSIALTAS, J. T. Use of treated wastewater as fertilization and irrigation amendment in pot-grown processing tomatoes. **Journal of plant nutrition**, v. 32, n. 5, p. 741 – 754, 2009.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.11, n.1, p.17 – 29, 2007.

SEDIYAMA, M. A.; SANTOS, M. R.; VIDIGAL, S. M.; SALGADO, L. T. Produtividade e exportação de nutrientes em beterraba cultivada com cobertura morta e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental -Agriambi**, v. 15, n. 9, 2011.

SEGURA, M.L.; MORENO, R.; MARTÍNEZ, S.; PÉREZ, J.; MORENO, J. Effects of wastewater irrigation on melon growth under greenhouse conditions. **Acta Horticult.** 559, 345–352, 2001.

SERRA, W.; GOMES, J. P. Efeito do uso do efluente de reator anaeróbio compartimentado na fertirrigação da beterraba. **Engenharia Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 35-45, 2005.

SINGH, P. K.; DESHBHRATAR, P. B.; RAMTEKE, D. S. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. **Agricultural Water Management**, v. 103, p. 100-104, 2012.

SOUZA, J. L.; GARCIA, R. D. C. Custos e rentabilidades na produção de hortaliças orgânicas e convencionais no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.3, n.1, p.11-24, Julho, 2013.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia vegetal**. Universitat Jaume I, 2007.

THAPLIYAL, A.; Vasudevan, P.; Dastidar, M. G.; Tandon, M.; Sen, P. K.; Mishra, S. Growth of tree saplings of neem (*Azadirachta indica* Juss) under fertigation with untreated and treated domestic wastewater. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 70, n. 8, p. 616-621, 2011.

TOPAK, R.; SÜHERI, S.; ACAR, B. Effect of different drip irrigation regimes on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield, quality and water use efficiency in Middle Anatolian, Turkey. **Irrigation Science**, v. 29, n. 1, p. 79-89, 2011.

TOZE, S. Reuse of effluent water—benefits and risks. **Agricultural water management**, v. 80, n. 1-3, p. 147-159, 2006.

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

TRANI, P.E.; RAIJ, B. V. Hortaliças. In: RAIJ, B. van. et al. (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC, 1997. Cap.18, p.157-185. (Boletim Técnico, 100).

TRANI, P.E.; TIVELLI, S.W.; FACTOR, T.L.; BREDA JÚNIOR, J.M. **Calagem e adubação da beterraba**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2013. 15p.

TUNC, T.; SAHIN, U. Red cabbage yield, heavy metal content, water use and soil chemical characteristics under wastewater irrigation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 7, p. 6264 – 6276, 2016.

URBANO, V. R.; MENDONÇA, T. G.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural water management**, v. 181, p. 108-115, 2017.

USEPA. Guidelines for Water Reuse, USEPA Office of Technology Transfer and Regulatory Support, Report N°. EPA/625/R-92/004, Washington, 1992.

VALENÇA, D. D. C.; CARVALHO, D. F. D.; REINERT, F.; AZEVEDO, R. A.; PINHO, C. F. D.; MEDICI, L. O. Automatically controlled deficit irrigation of lettuce in “organic potponics”. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 1, p. 52 – 59, 2018.

VERGINE, P.; LONIGRO, A.; SALERNO, C; RUBINO, P.; BERARDI, G.; POLLICE, A. Nutrient recovery and crop yield enhancement in irrigation with reclaimed wastewater: a case study. **Urban Water Journal**, v. 14, n. 3, p. 325-330, 2017.

ZAVADIL, JOSEF. The effect of municipal wastewater irrigation on the yield and quality of vegetables and crops. **Soil & Water Research**, v. 4, n. 3, p. 91-103, 2009.

## **CAPÍTULO 3 – OBSTRUÇÃO E UNIFORMIDADE DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO OPERANDO COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA<sup>1</sup>**

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi avaliar o risco de obstrução e a uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento, operando com água residuária tratada – ART. Esse sistema operava a campo na Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP, na irrigação de hortaliças, com cinco composições da lâmina de irrigação (0, 25, 50, 75 e 100% ART) e dois tipos de água (água residuária tratada por tanque séptico + desinfecção solar + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – ARTS e água residuária tratada por alagados construídos – ARTAC). Após a colheita, o sistema foi avaliado quanto ao risco de obstrução, e calculados os coeficientes de uniformidade e de variação de vazão (CV). Para a ARTS o pH foi o único parâmetro que representou risco severo de obstrução dos emissores e para a ARTAC apenas o pH e Mn ofereceram risco moderado. O CUC e CUD foram classificados como bom para ATRS e ARTAC em todas as composições de lâmina avaliadas. O CV dos emissores foi maior para o sistema operando com ARTS se comparado ao ARTAC.

**PALAVRAS-CHAVE:** desempenho, mangueira gotejadora, reúso.

### **3.1 INTRODUÇÃO**

A produção de alimentos enfrenta dois grandes desafios, o primeiro consiste em atender à crescente demanda populacional, o que exige expansão da área agricultável e da utilização dos recursos hídricos. O segundo está relacionado a água, cuja

<sup>1</sup>Artigo submetido a Revista Engenharia Agrícola em 08/10/2019.

qualidade é deteriorada pela inexorável degradação ambiental, além de ter se tornado um recurso escasso, devido a distribuição irregular, as variações climáticas e ao desperdício.

Essa realidade exige que todos os setores usuários dos recursos hídricos adotem práticas sustentáveis de utilização e descarte dos efluentes. Na agricultura irrigada, o reúso dessa água residuária é uma alternativa para mitigar a poluição no sistema interligado que envolve água, solo e atmosfera.

A água residuária tratada é uma fonte de água e nutrientes para as plantas, porém, a presença de microrganismos, matéria orgânica e sólidos suspensos e dissolvidos, pode causar obstrução dos emissores, reduzindo assim a eficiência do sistema de irrigação, e conseqüentemente o volume de água aplicado, a produtividade agrícola e a oferta de nutrientes.

Aliado a isso, os microrganismos mais as partículas orgânicas e inorgânicas presentes na água residuária, podem resultar em biofilmes bacterianos. O prejuízo causado aos sistemas de irrigação pela obstrução dos emissores, seja pelo biofilme ou pelas características físicas, químicas e microbiológicas da água residuária, tem sido amplamente debatido na comunidade científica (Oliver et al., 2014; Li et al., 2015; Batista et al., 2018).

O entupimento dos emissores afeta suas características de operação, tornando o sistema de irrigação mais susceptível a manutenções, comprometendo seu funcionamento. Vale ressaltar que o tipo de tratamento adotado, influencia diretamente nas características do efluente, como também, na sensibilidade ao entupimento dos emissores (Oliver et al., 2014; Sevostianova & Leinauer, 2014; Tripathi et al., 2014; Song et al., 2017; Zhou et al., 2017; Batista et al., 2018).

Portanto, faz-se necessário a avaliação dos sistemas de irrigação que operam com água residuária, visando manter a aplicação uniforme de água, garantindo a eficiência do sistema. A literatura é vasta em pesquisas que realizaram essa avaliação e recomendam essa prática (Mansour et al., 2014; Szekut et al., 2015; Lili et al., 2016; Silva et al., 2017; Fischer Filho et al., 2017; Chinchilla et al., 2018; Tang et al., 2018; Han et al., 2019; Zhou et al., 2019).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o risco de obstrução e a uniformidade de aplicação de água, de um sistema de gotejamento, operando a campo no cultivo de hortaliças, com água de abastecimento (AA), água residuária tratada por tanque séptico + desinfecção solar + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (ARTS) e água residuária tratada por alagados construídos (ARTAC).

### **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado na área agrícola do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP, campus Botucatu-SP.

As mangueiras foram avaliadas após o uso, em campo, utilizando água de abastecimento do campus Universitário da FCA, proveniente de poço profundo (AA) e água residuária tratada (ART) na irrigação de hortaliças durante três meses (julho a outubro de 2017), 19 horas de operação. A ART utilizada foi proveniente de dois sistemas de tratamento distintos. O primeiro composto por um tanque séptico e três reatores de desinfecção solar com adição peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, PM 34,01), do qual era obtida a ARTS (Queluz & Sánchez-Román, 2014; Alves, 2015). Já o segundo sistema de tratamento era composto por três leitos de alagados construídos

instalados em paralelo sem cultivo de plantas. Cada leito continha quatro caixas d'água em fibra de vidro, ligadas em série, com desnível de 2 cm entre elas, preenchidas com brita #0, com porosidade média de 51%, do qual era obtida a ARTAC (Queluz et al., 2017).

As mangueiras foram utilizadas na irrigação das hortaliças, em cinco composições distintas da lâmina de irrigação, formadas com 0, 25, 50, 75 e 100% de ARTS e ARTAC, sendo complementadas com AA. As mangueiras foram instaladas em canteiros, contendo duas fileiras de plantas entre a linha de gotejo.

Foi avaliado um sistema de irrigação localizada, utilizando mangueira gotejadora, com espessura da parede de 0,65 mm, diâmetro interno de 16 mm, pressão de trabalho de 1,0 a 2,5 bar, vazão nominal de  $2,5 \text{ L h}^{-1}$ , com espaçamento de 60 cm.

Para aplicação da ARTAC e ARTS foi montado um sistema de irrigação idêntico e individual para cada um dos tratamentos. Assim, o sistema era composto por estação de bombeamento da água residuária, um manômetro e um filtro de disco de 120 mesh e máxima vazão de  $5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ .

A avaliação da uniformidade do sistema de gotejamento foi realizada com base na metodologia proposta por Keller & Karmeli (1974) com adaptações. Dessa forma, foram feitas avaliações em todas as mangueiras, nas quais foram amostrados o primeiro emissor, o segundo localizado a  $1/3$ , o terceiro a  $2/3$  do início e o último emissor da linha.

O volume de água aplicado por cada emissor foi coletado em béquer graduado, durante 10 minutos. Em seguida esses valores foram convertidos em vazão, dividindo o volume de água coletado ( $\text{m}^3$ ), pelo tempo de coleta (h). Durante o ensaio, foi

monitorada a pressão de operação, a qual oscilou entre 1 e 1,5 bar, dentro do intervalo recomendado pelo fabricante.

A partir dos dados coletados, foram calculados os coeficientes de uniformidade de distribuição – CUD (Equação 1); uniformidade de Christiansen – CUC (Equação 2); uniformidade estatístico – CUE (Equação 3); uniformidade de Hart – CUH (Equação 4), além do coeficiente de variação – CV (Equação 5).

$$CUD = 100 * \frac{\bar{X}_{25}}{\bar{X}} \quad (1)$$

Em que:

CUD: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição;

$\bar{X}_{25}$ : Média das 25% menores descargas dos emissores, em L h<sup>-1</sup>;

$\bar{X}$ : Média das descargas de todos os emissores, em L h<sup>-1</sup>.

$$CUC = 100 \cdot \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \right] \quad (2)$$

Em que:

CUC: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen;

n: Número de observações;

X<sub>i</sub>: Lâmina de água coletada no i-ésimo ponto sobre a superfície do solo;

$\bar{X}$ : Lâmina média aplicada.

$$CUE = 100 * \left( 1 - \frac{S_d}{Q_{méd}} \right) \quad (3)$$

Em que:

CUE: Coeficiente de Uniformidade Estatístico;

S<sub>d</sub>: desvio padrão dos valores de vazão, em L h<sup>-1</sup>;

q<sub>méd</sub>: Média das vazões coletadas nos gotejadores na subárea, em L h<sup>-1</sup>.

$$CUH = \left[ 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} * \frac{S_d}{q_{méd}} \right] * 100 \quad (4)$$

Em que:

CUH: Coeficiente de Uniformidade de Hart, em %;

$S_d$ : desvio padrão dos valores de vazão, em  $L h^{-1}$ ;

$q_{méd}$ : Média das vazões coletadas nos gotejadores na subárea, em  $L h^{-1}$ .

$$CV = \frac{S_d}{q_{méd}} * 100 \quad (5)$$

Em que:

CV: Coeficiente de Variação, em %;

$S_d$ : desvio padrão dos valores de vazão, em  $L h^{-1}$ ;

$q_{méd}$ : Média das vazões coletadas nos gotejadores na subárea, em  $L h^{-1}$ .

A metodologia para avaliação e interpretação da uniformidade de irrigação no sistema de gotejamento foi fundamentada nos índices CUC, CUD, CUE (WILCOX e SWAILES, 1947), CUH (HART, 1961) e CV, todos descritos em Frizzone et al. (2012). O CUH foi classificado de acordo com HART (1961).

Foram analisadas as seguintes variáveis físico-químicas e microbiológicas na AA, ARTS e ARTAC: Coliformes totais e fecais, Sólidos suspensos, pH e Condutividade Elétrica (APHA, 2012). Tais análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Rural e no Laboratório do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP. Foram analisados também, os teores de macro e micronutrientes, no Laboratório do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP. Essas análises foram realizadas semanalmente durante todo o experimento. A partir desta caracterização físico-química e microbiológica da AA, ARTS e ARTAC, calculou-se a razão de adsorção de sódio – RAS (Equação 6), sendo classificada conforme metodologia proposta por FAO

(1985), e foi avaliado o risco de entupimento dos gotejadores, conforme proposto por Bucks et al. (1979) e Capra & Scicolone (1998).

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}} \quad (6)$$

Em que:

RAS: Razão de adsorção de sódio, em meq L<sup>-1</sup>;

Na<sup>+</sup>: Concentração de sódio, em meq L<sup>-1</sup>;

Ca<sup>++</sup>: Concentração de cálcio, em meq L<sup>-1</sup>;

Mg<sup>++</sup>: Concentração de magnésio, em meq L<sup>-1</sup>;

O experimento foi montado em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 5, considerando ARTS e ARTAC; e as cinco composições da lâmina de irrigação (100, 75, 50, 25 e 0% ART). Os dados obtidos foram avaliados por meio de análise de variância pelo teste de Tukey com probabilidade de 5%, sendo utilizado o software Sisvar 5.6.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As características físicas, químicas e microbiológicas da AA, ARTS e ARTAC, usadas nos testes do sistema de irrigação por gotejamento, além dos riscos de entupimento dos emissores são mostrados na Tabela 1. Esses resultados estão de acordo com a literatura para água residuária tratada (Gomes et al., 2015; Lonigro et al., 2016; Libutti et al., 2018).

Tabela 1: Características físicas, químicas e microbiológicas da AA, ARTS e ARTAC utilizadas no experimento e o risco de obstrução dos emissores

Características a	AA	Risco de obstrução		ARTS	Risco de obstrução		ARTAC	Risco de obstrução	
		a	B		A	b		a	b
		SS	0					45,00	B
Fe	0,00	N		0,12	B	B	0,02	B	B
Mn	0,00	B		0,03	B	B	0,11	M	B
Ca <sup>2+</sup>	10,00		B	16,40		B	30,40		B
Mg <sup>2+</sup>	2,00		B	4,00		B	3,60		B
Na	0,80			72,22			63,38		
Ph	6,45	B		8,11	S		7,43	M	
Ce	0,04			0,64		B	0,58		B
CT	0	N		4,95x10 <sup>3</sup>	B		5,15x10 <sup>2</sup>	B	

Onde: N – Nenhum; B – Baixo; M – Moderado; S – Severo; SS – Sólidos suspensos (mg L<sup>-1</sup>); Fe – Ferro (mg L<sup>-1</sup>); Mn – Manganês (mg L<sup>-1</sup>); Ca<sup>2+</sup> – Cálcio (mg L<sup>-1</sup>); Mg<sup>2+</sup> – Magnésio (mg L<sup>-1</sup>); Na – Sódio (mg L<sup>-1</sup>); Ce – Condutividade elétrica (mS); CT – Coliformes totais (NMP 100 mL<sup>-1</sup>); a – Bucks et al. (1979); b – Capra e Scicolone (1998).

O pH foi o único parâmetro que apresentou risco severo de entupimento dos gotejadores apenas para a ARTS; para Mn e pH da ARTAC esse risco foi moderado e para as características SS, SD, Fe, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e condutividade dos dois efluentes analisados, foi baixo, conforme a classificação proposta por Bucks (1979); Capra & Scicolone (1998).

Comparando os resultados apresentados na Tabela 1, constatou-se que os efluentes tratados, por apresentarem uma maior quantidade nutrientes, possuem

também um maior risco de obstrução se comparados a água de abastecimento, condizente com a literatura (Batista et al., 2011; Silva et al., 2013; Fernandes et al., 2014; Szekut et al., 2015; Silva et al., 2017; Batista et al., 2018).

Os dados apresentados na Tabela 1, demonstram que as duas águas residuárias avaliadas proporcionaram baixo risco de obstrução dos gotejadores, uma vez que para ARTS apenas o pH apresentou risco severo e para ARTAC a classificação foi moderada (pH e Mn), ao contrário do observado por Silva et al. (2017), que obtiveram risco severo para cinco dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos (inclusive pH) avaliados em esgoto doméstico tratado, por sistema *wetland* e reator anaeróbico seguido de *wetland*.

No caso da ARTS, o pH representa risco severo de obstrução dos emissores, em consonância com Batista et al. (2011), avaliando uniformidade de aplicação de esgotos domésticos submetidos aos tratamentos secundário e terciário, via gotejamento. No caso de água residuária de processamento da castanha de caju, Batista et al. (2018), Fernandes et al. (2014) e Silva et al. (2013) também revelaram risco severo para o pH, elevados valores desse parâmetro podem resultar em incrustação nas paredes das tubulações.

Para a ARTAC, o manganês e o pH apresentaram risco de obstrução moderado, no caso do Mn, ao sofrer oxidação, pode precipitar causando obstrução dos emissores conforme relatado por Batista et al. (2018), Silva et al. (2017) e Fernandes et al. (2014).

Com relação a RAS, para ARTS e ARTAC os valores foram 4,14 e 2,89 meq L<sup>-1</sup> respectivamente. Segundo classificação de FAO (1985), com base nos valores de condutividade elétrica (CE), em termos de salinidade, ambos os efluentes avaliados não oferecem nenhuma restrição ao uso. Já no que diz respeito a capacidade de

infiltração do solo, que é avaliada com base na RAS e na CE ambos foram classificados com restrição ao uso moderada; com relação a toxicidade (sódio) da ARTS a classificação para restrição ao uso foi moderada e da ARTAC foi nenhuma.

Verifica-se portanto, que a ARTS e ARTAC atendem aos padrões de qualidade para irrigação em termos de salinidade, infiltração de água e toxicidade do íon sódio, podendo ser reutilizada na agricultura irrigada.

Os valores da RAS para os efluentes analisados são inferiores aos relatados por Ganjegunte et al. (2017) que obtiveram  $9,3 \text{ mmol L}^{-1}$  para efluente municipal tratado. Valores semelhantes, foram encontrados por Rahav et al. (2017) que apontam  $4,62 \text{ meq L}^{-1}$ , para esgoto doméstico tratado.

Os valores dos coeficientes de uniformidade (CUC, CUD, CUE e CUH) e do coeficiente de variação da vazão (CV) para o sistema de irrigação operando com AA, ARTS e ARTAC, encontram-se na Figura 1. Verificou-se que todos os tratamentos avaliados foram diferentes estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

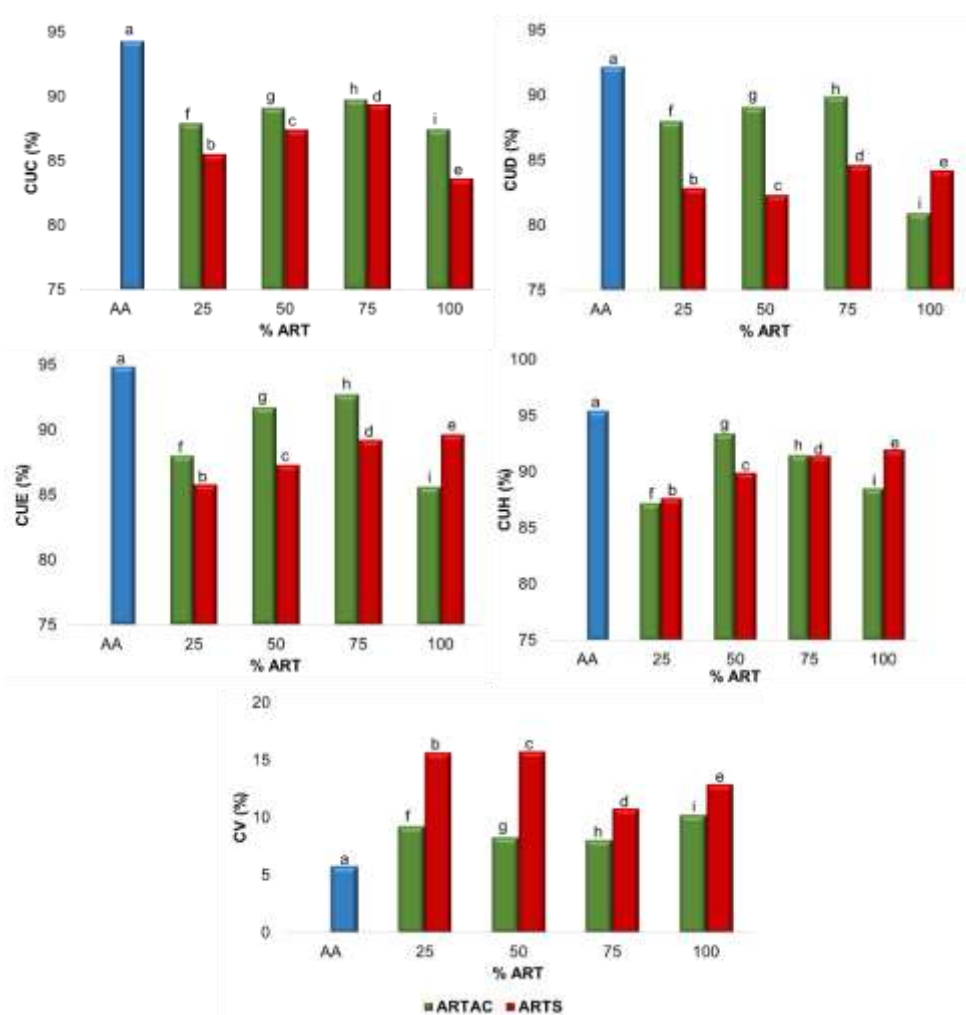


Figura 1: Coeficientes de uniformidade para o sistema de irrigação por gotejamento operando com AA, ARTS e ARTAC, por 19 horas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Para o sistema de irrigação operando com AA, como era de se esperar, todos os coeficientes analisados (Figura 1) apresentaram classificação adequada, conforme a literatura (Silva et al., 2017; Ventura et al., 2017; Tang et al., 2018).

Ventura et al. (2017) avaliando em laboratório a mesma mangueira utilizada nesse trabalho, nova, durante 352 h de funcionamento, operando com água de abastecimento público, constataram que a mesma apresentou desempenho

satisfatório, pois os parâmetros CUC (93%), CUD (96%) e CUE (94%) classificaram-se como excelentes e a eficiência de aplicação de água (87%) como aceitável.

Com relação ao CUC, para os sistemas de irrigação operando com ARTS e ARTAC, nas composições 25, 50, 75 e 100%, os valores foram de 85,5 e 87,9%; 87,4 e 89,1%; 89,4 e 89,7%; 83,6 e 87,4%, respectivamente. Para todos os tratamentos avaliados, os valores do CUC ficaram entre 80 – 90%. Comparando os valores do CUC nos dois sistemas, constatou-se que os maiores valores foram obtidos no ARTAC. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2017), em gotejamento superficial operando com água residuária tratada em reatores UASB seguido de *wetland*.

Batista et al. (2018) estudando o efeito de diferentes pressões no desempenho de gotejadores operando com água residuária do processamento da castanha de caju, também constataram valores de CUC < 90% a partir de 20 h de funcionamento. Freitas et al. (2015), observou comportamento similar, em gotejadores autocompensante, com 60 h de operação com esgoto doméstico tratado.

Os resultados encontrados no presente estudo concordam com os verificados por Han et al. (2019), os quais avaliando um sistema de irrigação por gotejamento operando com água contendo sólidos suspensos entre 38,2 – 43,7 mg L<sup>-1</sup>, concentração semelhante às da água residuária tratada utilizadas neste trabalho, encontraram valores de CUC na faixa de 83,6 – 89,9%.

Os valores de CUD para os sistemas de irrigação operando com ARTS e ARTAC, nas composições 25, 50, 75 e 100% foram 82,9 e 88,0%; 82,3 e 89,1%; 84,6 e 89,9%; 84,2 e 80,9%, respectivamente. Segundo Frizzone et al. (2012), valores de CUD entre 80 e 90%, são classificados como bom. Mesmo apresentado a mesma classificação, os maiores valores desse coeficiente foram obtidos no sistema

operando com ARTAC. De acordo com os mesmos autores, o CUD é um indicativo de problemas de distribuição da irrigação, e deve ser utilizado também para fins de dimensionamento, sendo considerado o parâmetro mais rigoroso na avaliação de sistemas de irrigação.

Resultados semelhantes de CUD foram obtidos por Puig-Bargués et al. (2010), Thebaldi et al. (2013) e Silva et al. (2017), todos estes, avaliando sistemas de irrigação por gotejamento superficial, operando com água residuária tratada.

Os valores de CUD obtidos neste trabalho, concordam com os encontrados por Batista et al. (2013), os quais obtiveram 89,7%, a partir de 40 horas de funcionamento, em gotejadores operando com água residuária de suinocultura. Da mesma forma, Silva et al. (2012), estudando o desempenho hidráulico de gotejadores autocompensantes sob efeito de três tipologias distintas de tratamento de esgoto doméstico, encontraram valores de CUD entre 84 – 88,3%, após 69 dias de irrigação a campo, em cultivo de mamona.

Os valores do CUE (Figura 1) para os sistemas de irrigação operando com ARTS e ARTAC, nas composições 25, 50, 75 e 100%, foram de 85,8 e 88,0%; 87,3 e 91,7%; 89,2 e 92,7%; 89,6 e 85,6%, respectivamente. Para todos os tratamentos com ARTS e ARTAC os valores do CUE receberam classificação muito bom, exceto as composições 75 e 100% ARTAC, que foram classificadas como excelente, segundo Frizzone et al. (2012).

O coeficiente de uniformidade estatístico – CUE, leva em consideração fatores hidráulicos, de fabricação, de entupimento e agrupamento de emissores (Frizzone et al., 2012). Wilcox & Swailes (1947) propuseram no cálculo desse coeficiente o uso do desvio padrão, visando aumentar sua sensibilidade, tornando-o útil em sistemas de

microirrigação que apresentam problemas de obstrução, como ocorre rotineiramente na aplicação de água residuária.

Os valores de CUE aqui obtidos são semelhantes ou mais elevados que os encontrados na literatura (Batista et al., 2011; Silva et al., 2012; Thebaldi et al., 2013; Oliver et al., 2014; Batista et al., 2016; Han et al., 2019; Liu et al., 2019) em trabalhos com água residuária, demonstrando que se aplicada de maneira correta, não compromete a uniformidade do sistema de irrigação, além de favorecer os fatores que influenciam o crescimento das plantas, como fertilidade e água.

Hart (1961) sugeriu um outro coeficiente, que também considera o desvio padrão, denominado Coeficiente de Uniformidade de Hart – CUH, o qual considera aceitável para microirrigação valor mínimo de 85%. Conforme os resultados apresentados na Figura 1, os valores do CUH para os sistemas de irrigação operando com ARTS e ARTAC, nas composições 25, 50, 75 e 100%, foram de 87,6 e 87,2%; 89,9 e 93,4%; 91,4 e 91,4%; 91,9 e 88,5%, respectivamente, todos considerados aceitáveis.

Verificou-se que os valores de CUE e CUH, em todos os tratamentos avaliados, foram semelhantes. Segundo Santos et al. (2015) esse comportamento é previsto, pois esses dois coeficientes são baseados no desvio-padrão como medida de dispersão, assim, as lâminas aplicadas pelos gotejadores apresentaram distribuição normal.

Com relação a variação da vazão dos gotejadores, verificou-se que os valores de CV de todas as composições com ARTS ficaram no intervalo entre 0,11 – 0,16, sendo classificados como médios, segundo Frizzone et al. (2012). Já nas composições com ARTAC, os valores foram  $\leq 0,1$ , classificados portanto, como bons.

As maiores variações de vazão tanto no ARTS quanto no ARTAC, aconteceram nos gotejadores operando com as composições 25 e 100% de ART.

Os baixos valores de CV (<10%) obtidos com a ARTAC, reafirmam a hipótese de que a água residuária tratada, dentro dos padrões físico-químicos e biológicos, e realizando limpeza periódica do sistema de filtração, não compromete a uniformidade do sistema de irrigação, condizente com as observações de Tripathi et al. (2016) e Chinchilla et al. (2018).

Apesar da variação de vazão (0,11 – 0,16) ter sido maior nos tratamentos com ARTS, os valores do CV corroboram com os obtidos por Fischer Filho et al. (2017) e Silva et al. (2013). Em contraposição, os valores de CV foram menores que os obtidos por Silva et al. (2012), Morata et al. (2014) e Szekut et al. (2015), demonstrando que a ARTS e ARTAC não afetaram o desempenho do sistema de irrigação por gotejamento.

De maneira geral, com base nos coeficientes estudados, comparando a avaliação do sistema de irrigação operando com ARTAC e ARTS, o desempenho foi melhor com ARTAC, devido à menor concentração de sólidos suspensos e de coliformes totais, conseqüentemente, menor susceptibilidade a obstrução dos emissores. Essa constatação foi observada tanto na análise físico-química da água residuária, quanto na limpeza periódica do sistema de filtração, onde o filtro que operava com ARTS apresentava uma maior quantidade de partículas sólidas. Os sólidos e os microrganismos além de obstruírem a saída dos emissores, causam oscilação na vazão e favorecem a formação de biofilme, todos esses fatores comprometem a uniformidade de aplicação de água (Oliver et al., 2014; Li et al., 2015; Batista et al., 2018).

### **3.4 CONCLUSÕES**

Para a ARTS o pH foi o único parâmetro que representou risco severo de obstrução dos emissores. Para a ARTAC apenas o pH e Mn ofereceram risco moderado, comprovando que tanto a ATRS quanto a ARTAC ofereceram no geral, baixo risco de obstrução.

Com relação a avaliação do sistema de irrigação, o CUC e CUD foram classificados com excelente para AA, e como bom para ATRS e ARTAC em todas as composições de lâmina avaliadas. O sistema de irrigação operando com ARTAC apresentou melhores resultados, se comparado com ARTS.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas de estudo.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Alves TR (2015). Eficiência de um sistema de desinfecção solar de águas residuárias domésticas com adição de diferentes doses de peróxido de hidrogênio. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Agrônomicas.

APHA – American Public Health Association (2012) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22th ed. APHA.

Batista RO, Costa FGB, Lopes HSS, Coelho DCL, Paiva MRFC (2011) Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação por gotejamento. *Revista Caatinga* 24(4):137-144.

Batista RO, oliveira RA, Santos DB, Cunha FF, Medeiros SS (2016) Modelos empíricos da aplicação de água residuária de suinocultura por gotejadores sob pressões de serviço. *Irriga* 21(4):648 - 661.

Batista RO, Oliveira RA, Santos DB, Oliveira AFM, Azevedo CAV, Medeiros SS (2013) Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17(7):698-705.

Batista RO, Silva KB, Silva Júnior MJ, Santos DB, Cunha RR (2018) Performance of drip emitters for different pressures and application of cashew nuts wastewater. *Dyna* 85(204):38-43.

Bucks DA, Nakayama FS, Gilbert RG (1979) Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. *Agricultural Water Management* 2:149-162.

Capra A, Scicolone B (1998) Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70:355-365.

Chinchilla A, Sisgo R, Silva ÊFDF, De Almeida CD, Silva AOD, Santos PRD (2018) Statistical process control in the assessment of drip irrigation using wastewater. *Engenharia Agrícola* 38(1):47-54.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nation (1985). *Water quality for agriculture*. Rome, FAO, 174p.

Fernandes RKA, Batista RO, Silva SKC, Oliveira JF, Paiva LAL (2014) Vazão de gotejadores aplicando água residuária da castanha de caju. *Irriga* 19(4):585-597.

Fischer Filho JA, Dalri AB, Dos Santos MG, Zanini JR, De Faria RT (2017) Non-pressure compensating emitters using treated sewage effluent for irrigation. *Ciencia Rural* 47(7):1 – 6.

Freitas CAS, Nogueira LKA, Moreira LCJ, Ferreira CDS (2015) Desempenho hidráulico de gotejadores sob o tempo de exposição ao esgoto doméstico tratado. *Revista Caatinga* 28(1):214-219.

Frizzone JA, Freitas PD, Rezende R, Faria MD (2012) *Microirrigação: gotejamento e microaspersão*. Maringá, Eduem, 356p.

Ganjegunte G, Ulery A, Niu G, Wu Y (2017) Effects of treated municipal wastewater irrigation on soil properties, switchgrass biomass production and quality under arid climate. *Industrial crops and products* 99(1):60-69.

Gomes TM, Rossi F, Tommaso G, Ribeiro R, Macan NPF, Pereira RS (2015) Treated Dairy Wastewater Effect on the Yield and Quality of Drip Irrigated Table Beet. *Applied Engineering In Agriculture* 31(2):255-260.

Han S, Li Y, Zhou B, Liu Z, Feng J, Xiao Y (2019) An in-situ accelerated experimental testing method for drip irrigation emitter clogging with inferior water. *Agricultural Water Management* 212:136-154.

Hart WE (1961) Overhead irrigation pattern parameters. *Agricultural Engineering* 42(7):255-354.

Keller J, Karmeli D (1974) Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE* 17:678-684.

Libutti A, Gatta G, Gagliardi A, Vergine P, Pollice A, Beneduce L, Disciglio G, Tarantino E (2018) Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management* 196(1): 1-14.

Li YK, Song P, Pei YT, Feng J (2015) Effects of lateral flushing on emitter clogging and biofilm components in drip irrigation systems with reclaimed water. *Irrigation Science* 33(3):235–245.

Lili Z, Yang P, Ren S, Li Y, Liu Y, Xia Y (2016) Chemical clogging of emitters and evaluation of their suitability for saline water drip irrigation. *Irrigation and Drainage* 65(4):439-450.

Liu Z, Xiao Y, Li Y, Zhou B, Feng J, Han S, Muhammad T (2019) Influence of operating pressure on emitter anti-clogging performance of drip irrigation system with high-sediment water. *Agricultural Water Management* 213:174-184.

LONIGRO A, RUBINO P, LACASELLA V, MONTEMURRO, N (2016) Faecal pollution on vegetables and soil drip irrigated with treated municipal wastewaters. *Agricultural Water Management* 174:66-73.

Mansour HA, Gaballah MS, El-Hady MA, Eldardiry EI (2014) Influence of different localized irrigation systems and treated agricultural wastewater on distribution uniformities, potato growth tuber yield and water use efficiency. *International Journal of Advanced Research* 2(2):143-150.

Morata GT, Dantas GF, Dalri AB, Palaretti LF, Faria RT, Santos GL (2014) Entupimento de gotejadores com uso de efluente de esgoto sob dois sistemas de filtragem. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI* 8(2):86-97.

Oliver MMH, Hewa GA, Pezzaniti D (2014) Bio-fouling of subsurface type drip emitters applying reclaimed water under medium soil thermal variation. *Agricultural Water Management* 133(1):12-23.

Puig-Bargués J, Arbat G, Elbana M, Duran-Ros M, Barragán J, Ramírez CF, Lamm FR (2010) Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. *Agricultural Water Management* 97:883-891.

Queluz JGT, Drizo A, Sánchez-Román RM (2017) Performance evaluation of first-order hydraulic models for COD removal in horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Journal of Environmental Engineering*, 143(10): 06017008.

Queluz, JGT, Sánchez-Román RM (2014). Efficiency of domestic wastewater solar disinfection in reactors with different colors. *Water Utility Journal* 7(1):35-44.

Rahav M, Brindt N, Yermiyahu U, Wallach R (2017) Induced heterogeneity of soil water content and chemical properties by treated wastewater irrigation and its reclamation by freshwater irrigation. *Water Resources Research* 53(6):4756-4774.

Santos MAL, Santos DP, Silva DS, Santos MS, Cavalcante PHS (2015) Avaliação da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por gotejamento em inhame (*Dioscoreacayennensis* L.). *Ciência Agrícola* 13(1):7-13.

Sevostianova E, Leinauer B (2014) Subsurface-applied tailored water: combining nutrient benefits with efficient turfgrass irrigation. *Crop Science* 54(5):1926-1938.

Silva KB, Silva Júnior MJ, Batista RO, Santos DB, Barbosa Filho S (2013) Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. *Ceres* 60(3):339-346.

Silva LP, Silva MM, Correa MM, Souza FCD, Silva EFF (2012) Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi* 16(5):480-486.

Silva PF, Matos RM, Lima SC, Neto JD, Lima VLA (2017) Obstruction and uniformity in drip irrigation systems by applying treated wastewater. *Revista Ceres* 64(4):344-350.

Song P, Li Y, Zhou B, Zhou C, Zhang Z, Li J (2017) Controlling mechanism of chlorination on emitter bio-clogging for drip irrigation using reclaimed water. *Agricultural water management* 184(1):36-45.

Szekut FD, Santos DB, Azevedo CAV, Klein MR, Ribeiro MD, Medeiros SS (2015) Emitter clogging in drip irrigation using treated domestic wastewater. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 13(3&4):60-66.

Tang P, Li H, Issaka Z, Chen C (2018) Effect of manifold layout and fertilizer solution concentration on fertilization and flushing times and uniformity of drip irrigation systems. *Agricultural Water Management* 200(1):71-79.

Thebaldi MS, Rocha MS, Sandri D, Felisberto AB, Avelino Neto S (2013) Diferentes tipos de água e seu efeito na uniformidade de gotejadores na cultura de tomate. *Irriga* 18(1):212-222.

Tripathi VK, Rajput TBS, Patel N (2014) Performance of different filter combinations with surface and subsurface drip irrigation systems for utilizing municipal wastewater. *Irrigation Science* 32(5):379-391.

Tripathi VK, Rajput TBS, Patel N (2016) Biometric properties and selected chemical concentration of cauliflower influenced by wastewater applied through surface and subsurface drip irrigation system. *Journal of Cleaner Production* 139(1):396-406.

Ventura KM, Santos RDS, Pereira JTS, Gomes MD, Souza MHC, Sánchez-Román RM (2017) Avaliação da Uniformidade de Aplicação de Água em Mangueira Gotejadora. In *Anais do IV Inovagri International Meeting*, Fortaleza.

Wilcox JC, Swailes GE (1947) Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. *Scientific Agriculture* 27(11):565-583.

Zhou B, Wang T, Li Y, Bralts V (2017) Effects of microbial community variation on bio-clogging in drip irrigation emitters using reclaimed water. *Agricultural Water Management* 194:139-149.

Zhou B, Zhou H, Puig-Bargués J, Li Y (2019) Using an anti-clogging relative index (CRI) to assess emitters rapidly for drip irrigation systems with multiple low-quality water sources. *Agricultural Water Management* 221:270-278.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal estudar a viabilidade do uso de água residuária tratada por dois sistemas distintos, TS + SODIS + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e Alagados construídos, através da irrigação localizada em hortaliças (alface, beterraba e rabanete), visando suas produções isenta de contaminação por *E. coli*, além de avaliar a uniformidade do sistema de irrigação, a eficiência do uso da água e o aporte nutricional fornecido por esses efluentes.

Após a condução dos experimentos com as hortícolas, ficou evidente que a irrigação com ARTS e ARTAC, favoreceu o desenvolvimento da alface, da beterraba e do rabanete tanto em termos de parâmetros biométricos quanto de produtividade total e comercial, se comparado ao sistema convencional de plantio. A irrigação com ARTS e ARTAC também favoreceu a eficiência do uso água.

Em se tratando da sanidade da alface, beterraba e rabanete, todas as quatro composições da lâmina de irrigação com ARTS e ARTAC, proporcionaram produções de tais hortícolas isentas de contaminação com *E. Coli*, classificando-as como aptas ao consumo humano cru. Entretanto, recomenda-se a sanitização de toda e qualquer hortaliça antes do seu consumo, independentemente da fonte de água com que foi irrigada.

A ARTS e ARTAC atendem aos padrões de qualidade para irrigação em termos de salinidade, infiltração de água e toxicidade do íon sódio; e ofereceram no geral, baixo risco de obstrução dos emissores. Com relação a uniformidade de aplicação de ARTS e ARTAC pelo sistema de irrigação, os coeficientes CUC e CUD foram classificados como bom em todas as composições de lâminas avaliadas.

Em relação ao aporte nutricional a ARTS e ARTAC, conseguiram atender parcialmente as necessidades nutricionais da alface e da beterraba (N, P e K) e totalmente a do rabanete em relação ao N e parcialmente a de P e K.

Portanto, tanto o sistema TS+SODIS+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (ARTS) quanto os alagados construídos (ARTAC), são capazes de fornecer água residuária tratada para irrigação por gotejamento de hortaliças, dentro dos padrões físico-químicos e microbiológicos estabelecidos na legislação, favorecendo o desenvolvimento das culturas, complementando e/ou suprindo as necessidades nutricionais das plantas, além de proporcionar uma fonte alternativa de água para irrigação.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada** / Agência Nacional de Águas. Brasília-DF: ANA, 86 p, 2017.
- ALLENDE, A.; MONAGHAN, J. Irrigation water quality for leafy crops: a perspective of risks and potential solutions. **International journal of environmental research and public health**, v. 12, n. 7, p. 7457-7477, 2015.
- AZEVEDO, C.A.V.; TAVARES, T.L. Características tecnológicas da fibra do algodão herbáceo sob efeito da adubação nitrogenada e irrigação com água residuária tratada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 202-206, 2005.
- BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S.C.; DA SILVA, T.R.; TEO, C.R.P.A.; VILAS BOAS, M.A. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p.152-163, 2007.
- BEDBABIS, S.; Trigui, D.; Ahmed, C. B.; Clodoveo, M. L.; Camposeo, S.; Vivaldi, G. A.; Rouina, B. B. Long-terms effects of irrigation with treated municipal wastewater on soil, yield and olive oil quality. **Agricultural Water Management**, v. 160, p. 14-21, 2015.
- BRAGA, M.B.; LIMA, C.E.P. Editores Técnicos. **Reúso de água na Agricultura**. Brasília-DF: Embrapa, 2014.
- CAMARGO, G.A.; CONSOLI, L.; LELLIS, I.C.S.; MIELI, J.; SASSAKI, E.K. Bebidas naturais de frutas perspectivas de mercado, componentes funcionais e nutricionais. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.1, p.181- 195, 2007.
- CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. **Resolução Nº 54**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direito não potável de água, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. 2005.
- GATTA, G.; LIBUTTI, A.; GAGLIARDI, A.; BENEDEUCE, L.; BRUSETTI, L.; BORRUSO, L.; DISCIGLIO, G.; TARANTINO, E. Treated agro-industrial wastewater irrigation of tomato crop: Effects on qualitative/quantitative characteristics of production and microbiological properties of the soil. **Agricultural Water Management**, v. 149, p. 33-43, 2015.
- GOMES, T.M.; ROSSI, F.; TOMMASO, G.; RIBEIRO, R.; MACAN, N.P.F; PEREIRA, R. S. Treated Dairy Wastewater Effect on the Yield and Quality of Drip Irrigated Table Beet. **Applied Engineering In Agriculture**, v. 31, n. 2, p.255-260, 2015.
- GUIMARÃES, I.P.; OLIVEIRA, F.A.; TORRES, S.B.; PEREIRA; F.E.C.B.; FRANÇA, F.D.; OLIVEIRA, M.K.T. Use of fish-farming wastewater in lettuce cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p.728-733, ago. 2016.
- HUSSAR, G. J.; PARADELA, A. L.; BASTOS, M. C.; REIS, B. T.; JONAS, T. C.; SERRA, W.; GOMES, J. P. Efeito do uso do efluente de reator anaeróbio

compartimentado na fertirrigação da beterraba. **Engenharia Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 35-45, 2005.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. **Treatment Wetlands**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2008. 1016 p.

KHALID, S.; SHAHID, M.; BIBI, I.; SARWAR, T.; SHAH, A.; NIAZI, N. A review of environmental contamination and health risk assessment of wastewater use for crop irrigation with a focus on low and high-income countries. **International journal of environmental research and public health**, v. 15, n. 5, p. 895, 2018.

KUMMER, A. C. B.; GRASSI FILHO, H.; LOBO, T. F.; SOUZA LIMA, R. A. Fertilizante orgânico composto e água residuária no desenvolvimento de trigo irrigado por gotejamento. **Irriga**, v. 22, n. 2, p. 275, 2018.

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

MARQUES, M. V. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, A. P. M.; SILVÉRIO, T. H. R.; PENIDO, D. L. A.; COSTA, M. T. M.; SILVA, D. A. P. Potencial, economia de água e adubação com a aplicação de efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico na fertirrigação de capim-elefante. **HOLOS**, v. 2, p. 52-64, 2017.

MARTINS, D. R. **Legislação uso de água residuária: análises e propostas normativas**. 2018. 67f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Pombal-PB.

MENEZES, J. A. G., SANTOS, V. S., DE MENEZES, A. R. V., ALVES, F. K. S., PEREIRA, J. A. Produtividade do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. walp) utilizando cinzas de bagaço da cana-de-açúcar e esgoto tratado. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 08-12, 2014.

MINAMI, K.; TESSARIOLI NETTO, J. **Rabanete: Cultura rápida, para temperaturas amenas e solos areno-argiloso**. Piracicaba: ESALQ, 1997 (Serie Produtor Rural, 4). 27 p.

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

NANDAL, M.; YADAV, J. P.; RASTOGI, M. Effect of Industrial Effluents on Mineral Uptake of Two Rabi Crops (*Triticum aestivum* and *Raphanus sativus*). **Nature Environment and Pollution Technology**, v. 16, n. 2, p. 541-544, 2017.

OLIVEIRA, D. P. F., ANDRADE, T. C. O., BROETTO, F. 2019. **Água Residuária: Usos e Legislação**. In: Zabotto, A. R. Estudos Sobre Impactos Ambientais: Uma Abordagem Contemporânea. FEPAF. Botucatu, Brasil. pp. 11-19.

QUELUZ, J.G.T.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M. Efficiency of domestic wastewater solar disinfection in reactors with different colors. **Water Utility Journal**, v.7, n.1, p. 35-44, 2014.

QUELUZ, João Gabriel Thomaz. **Eficiência de alagados construídos para o tratamento de águas residuárias com baixas cargas orgânicas**. 2016. 124 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia (Irrigação e Drenagem), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

REBOUÇAS, J.R.L.; DIAS, N.D.S.; GONZAGA, M.I.D.S.; GHEYI, H.R.; SOUSA NETO, O.N.D. Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 97-102, 2010.

SANDRI, D.; MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, R. Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 1, n. 26, p.45-57, 2006.

SHOCK, C. C.; REITZ, S. R., RONCARATI; R. A., KREEFT; H., SHOCK; B. M.; KLAUZER, J. C. Drip vs. furrow irrigation in the delivery of Escherichia coli to onions. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 32, n. 2, p. 235-244, 2016.

SILVA, A.O.; SILVA, E.F.F.; BASSOI, L.H.; KLAR, A.E. Desenvolvimento de cultivares de beterraba sob diferentes tensões da água no solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 12-18, 2015.

SILVA, F. P.; CARVALHO, C. V. A.; CARDOSO, A. M. GESTÃO DA ÁGUA: A Importância de Políticas Públicas para a Implementação do Reuso de Água no Brasil. **Episteme Transversalis**, v. 10, n. 2, p. 309 – 322, 2019.

SOUSA, J.T.; CEBALLOS, B.S.; HENRIQUE, I.N.; DANTAS, J. P.; LIMA, S.M. Reúso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annum* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 89-96, 2006.

SOUSA, J.T.; LEITE, V.D.; LUNA, J.G. Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2001.

SOUZA, D.P.; QUELUZ, J.G.T.; SILVA, A.O.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M. Influência da fertirrigação por sulco utilizando água residuária e diferentes níveis de adubação na produtividade do feijoeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 348-362, março - junho, 2015.

VIDIGAL, S.M.; SEDIYAMA, M.A.N.; PEDROSA, M.W.; SANTOS, M.D. Produtividade de cebola em cultivo orgânico utilizando composto à base de dejetos de suínos. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 168-173, 2010.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. **Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions**. London, Uk: Iwa Publishing, 2005.