

---

## Cultivo vertical de hortaliças

Valdemiro Simão João Pitoro, Rodrigo Máximo Sánchez-Román, Kevim Muniz Ventura, Sérgio Alberto Jane

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-991393-7-6.c1>

### Resumo

A irrigação é uma poderosa ferramenta de gestão de incertezas de chuvas na atividade agrícola. A escassez de recursos hídricos que afeta diversas regiões de Mundo, tem limitado o desenvolvimento efetivo desta atividade, e portanto, tem se observado maior interesse no desenvolvimento de sistemas e manejos de irrigação que proporcionam maior economia de uso de água. Por estas razões, esta pesquisa objetivou avaliar o desempenho de dois sistemas de cultivo, nomeadamente, sistema de cultivo vertical (SCV) (em barris plásticos) e convencional (SCC) (no solo), na economia de água de irrigação, produção e qualidade sanitária de folhas de couve-manteiga irrigada com efluente tratado (EFT). Foi estabelecido um experimento que compreendia dois sistemas de cultivo (SCV e SCC) e irrigação com água de diferentes qualidades, nomeadamente: T1 – irrigação com 100% EFT; T2 – irrigação com 100% água potável (AP) e T3 – irrigação com 50% EFT + 50% AP. As variáveis analisadas foram: eficiência de uso de água (EUA), número de folhas adultas por planta (NFA), comprimento do limbo de folhas comerciais (CLFC), massa fresca de folhas comerciais (MFFC) e não comerciais (MFFNC) da cultura de couve-manteiga. Os resultados obtidos indicaram que a irrigação com EFT proporcionou maior produção de MFFC e MFFNC, e não afetou a qualidade sanitária das folhas, fato associado ao aproveitamento dos nutrientes disponíveis no EFT, enquanto no SCV o barril isolou as plantas de um possível contato com a água de irrigação, reduzindo os riscos de contaminação.

**Palavras-chave:** eficiência de uso de água de irrigação, gestão de recursos hídricos, qualidade sanitária de couve-manteiga, reuso de efluente de esgoto tratado na irrigação.

### 1. Introdução

A agricultura irrigada é o maior usuário de água a nível mundial [1], no entanto, representa a maneira mais eficiente de aumento da produção de alimentos [2], devido à sua capacidade de possibilitar o desenvolvimento da atividade agrícola em ambientes extremos (regiões áridas), aumento da produtividade [3] e gestão de incerteza de chuvas que afeta diversas regiões do mundo [4].

Este sector é responsável pela retirada de cerca de 70% do total da água captada anualmente nas principais fontes de recursos hídricos a nível mundial para diversas finalidades [5–8]. Em países subdesenvolvidos esta percentagem chega a ser superior a 90% [9], uma vez que na maior parte deles, as estratégias de desenvolvimento da agricultura dependem da possibilidade de manter e expandir as áreas irrigadas para assegurar a produção de alimentos e a segurança alimentar, para além de usarem

práticas agrícolas rudimentares que geralmente propiciam um desperdício considerável de água durante as suas operações.

Estimativas da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) indicam que a população mundial passará dos 8 bilhões em 2025 para 9,8 bilhões de pessoas em 2050 [5], e para responder a este crescimento populacional, a agricultura deverá aumentar a sua capacidade de produção mundial em 70% e em 100% nos países em desenvolvimento [3], ficando evidente que a pressão sobre os recursos naturais (sobretudo os recursos hídricos para responder a demanda de água dos campos irrigados), continuará crescendo nos próximos anos.

Nos dias atuais, a escassez de recursos hídricos e seus impactos na atividade agrícola, sobretudo a agricultura irrigada, a necessidade de expandir as áreas de cultivo irrigado para atender a demanda crescente por alimentos e questões relativas à preservação de recursos naturais, com destaque para recursos hídricos, tem incentivado o desenvolvimento de pesquisas com vista a identificar soluções que garantem melhor gestão e sustentabilidade no uso deste precioso líquido na produção de alimentos. Neste contexto, o uso de fontes de água alternativas [10], como é o caso do reuso de efluentes de esgoto e adoção de técnicas de irrigação que proporcionam maior eficiência de uso de água, constituem soluções fundamentais para os diversos desafios da agricultura irrigada com relação à gestão ou disponibilidade de recursos hídricos.

O reuso de efluentes de esgoto na irrigação agrícola tem sido indicada como uma estratégia fundamental para redução da escassez de recursos hídricos, na medida em que, estes podem substituir parcial ou totalmente a água de boa qualidade na irrigação de culturas [11, 12]. A possibilidade de reduzir os custos e impactos ambientais pelo lançamento de efluentes nos corpos de água [13, 14], e aproveitamento de nutrientes presentes nos efluentes, que pode permitir os agricultores reduzirem ou eliminarem a necessidade de aplicar fertilizantes convencionais nos seus campos de produção [13–15], também são destacados como outros benefícios essenciais do reuso de efluentes de esgoto na irrigação.

Apesar dos inúmeros benefícios, o reuso inadequado de efluentes pode ser prejudicial à saúde humana e animal, assim como ao solo [16, 17] e sistemas de irrigação, pois, pela sua natureza contém uma diversidade de substâncias e microrganismos na sua composição. Portanto, para alcançar um reuso seguro, para além do tratamento prévio dos efluentes, faz-se necessário adotar técnicas de aplicação ou irrigação que conferem menores riscos à saúde e ao ambiente, e viabilizem o uso racional desse precioso recurso.

A adoção de técnicas de irrigação que reduzem o risco de contaminação humana e outros impactos negativos causados pela aplicação de efluentes de esgoto, e que proporcionam melhor racionalização no uso de água na irrigação, compreendem critérios fundamentais para garantir o reuso sustentável de efluentes e melhor gestão dos recursos hídricos na agricultura irrigada. À semelhança dos múltiplos benefícios relacionadas ao uso da irrigação por gotejamento (superficial e subsuperficial) para aplicação de efluentes de esgoto [18–20], o cultivo vertical em tambores plásticos confere uma adequada proteção das plantas e dos agricultores de um possível contato com a água de irrigação, como também contribui para à conservação da umidade garantindo maior disponibilidade de água às plantas.

Os benefícios do cultivo vertical em tambores plásticos no que concerne a economia de uso da água de irrigação também foram destacados por [17], que cultivando alface, rúcula, salsa, almeirão, cebolinha e chicória, observou que este sistema de cultivo

proporcionou uma eficiência do uso da água (EUA) e produtividade em torno de cinco vezes superior ao registrado no cultivo convencional (no solo). O termo EUA na agricultura tem sido usado para descrever a razão entre os benefícios líquidos das culturas (produção em kg) e a quantidade de água (m<sup>3</sup>) utilizada para alcançar tais benefícios [21, 22]. Estes autores defendem que a adoção de técnicas de irrigação ou combinação de práticas agrícolas que aumentam a eficiência do uso da água de irrigação é o caminho mais prático para alcançar a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Avaliando o efeito do sistema de plantio direto (SPD) sobre diferentes quantidades de palhada, na eficiência de uso de água e na produção de repolho, [23] observaram uma redução na quantidade de água aplicada no SPD com palhada, quando comparado à utilizada no sistema de plantio convencional (SPC) (sem palhada) e a EUA no SPD apresentou incremento linear com o aumento da quantidade de palhada utilizada, e foi até 21% maior que no SPC. Estes resultados destacam a importância da seleção ou combinação de técnicas de irrigação e práticas agrícolas adequadas com vista a aumentar os índices de EUA, como também confirmam que o sistema de irrigação por gotejamento contribui para o aumento da produtividade e economia de uso de água de irrigação.

Diante do exposto acima, fica evidente que a agricultura que se assenta em boas práticas e manejo adequado de irrigação contribui para a redução dos impactos negativos da atividade agrícola ao meio ambiente e garante o equilíbrio entre a disponibilidade limitada de recursos naturais e a crescente demanda por alimentos. Por estas razões, pretendesse neste capítulo partilhar resultados de uma pesquisa desenvolvida entre Março e Agosto de 2018 cujo objetivo era avaliar o potencial do cultivo vertical em tambores plásticos para o reuso seguro de efluentes de esgoto doméstico e economia de uso de água na irrigação de couve-manteiga. Também serão partilhados resultados de sucesso de várias outras pesquisas desenvolvidas na Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Campus de Botucatu objetivando avaliar a adequação do sistema de cultivo vertical (SCV) em tambores plásticos no cultivo de hortaliças.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Descrição da área de estudo**

Os resultados aqui apresentados compreendem pesquisas desenvolvidas entre 2017 e 2018 [17, 24], na área experimental do Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), pertencente à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Botucatu – São Paulo; nas coordenadas 22° 50' 48" S, 48° 26' 06" W e altitude de 817,74 m. O clima da região é definido como do tipo Cfa (Koppen): clima subtropical úmido (mesotérmico) com verão chuvoso e inverno seco, a temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e a precipitação média anual em torno de 1.500 mm.

### **2.2. Sistema de tratamento de efluentes de esgoto**

O efluente de esgoto doméstico usado na irrigação de couve-manteiga (*Brassica oleracea* L. var. *Acephala*) foi previamente tratado em uma estação de tratamento de efluentes alternativa (ETEA) composto por seis filtros anaeróbios (Figura 1) confeccionados em tambores plásticos de 200 L (com dimensões de 0,90 m de altura e 0,50 m de diâmetro), preenchidos totalmente de brita #1, proporcionando uma porosidade média de 48% em relação ao material inerte, dispostos na vertical e ligados em série através de uma tubulação PVC de 32 mm, e o nível da água mantido

a 10 cm da superfície do barril, o correspondente a uma taxa de aplicação diária de 95 litros e um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 5,4 dias.

A ETEA operou por um período de 165 dias e a avaliação do desempenho do sistema de tratamento de efluentes baseou-se na comparação da qualidade do efluente bruto (EFB), efluente tratado coletado no filtro três (EFT 3) e efluente tratado final ou coletado no filtro seis (EFT ou EFT 6) nos parâmetros pH, condutividade elétrica (CE), sólidos suspensos totais (SST), demanda química (DQO) e bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), potássio (K), coliformes fecais (CF) e totais (CT).

A coleta de amostras e respetiva análise foram realizadas aos 41, 70, 100, 130 e 165 dias após o início da operação do sistema de tratamento. A coleta, preservação e análise das amostras do afluente e efluente tratado baseou-se nas recomendações e métodos do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* [25].



**Figura 1.** Sistema de tratamento de efluentes de esgoto doméstico em filtros anaeróbios.

Fonte: Pitoro (2019).

A escolha de barril plástico para confecção dos filtros foi em função da sua maior acessibilidade, como também da capacidade de resistência ao peso do meio suporte saturado. Pois, diferente das tecnologias de tratamento utilizadas em companhias de saneamento, geralmente inviáveis de aplicá-las em zonas rurais ou de forma individual, tanto pelo alto custo de implantação e manutenção, assim como devido à grande dispersão populacional nestas zonas, o tratamento de EF nos filtros anaeróbios estudados nesta pesquisa compreende uma solução adequada para este cenário, pois para além do facto de serem eficientes e adaptáveis às condições econômicas e estruturas de comunidades rurais, destacam-se pela sua simplicidade, pouca mecanização, baixo consumo energético, baixo custo de construção e operação, e assim tornando-as acessíveis para agricultores de baixo poder aquisitivo, permitindo que estes possam mantê-los tanto economicamente, assim como tecnicamente.

### 2.3. Produção de couve-manteiga

O cultivo de couve-manteiga foi conduzido no sistema de cultivo vertical (SCV) (em tambores plásticos) e convencional (SCC) ou horizontal (em solo), em dois ciclos (uma repetição) com duração de 60 dias cada: ciclo 1 entre 28 de Março e 26 de Maio, e ciclo 2 entre 6 de Junho e 4 de Agosto de 2018.

Para o estabelecimento do SCV foram utilizados tambores plásticos semelhantes aos do sistema de tratamento de efluentes e a sua montagem baseou-se nos

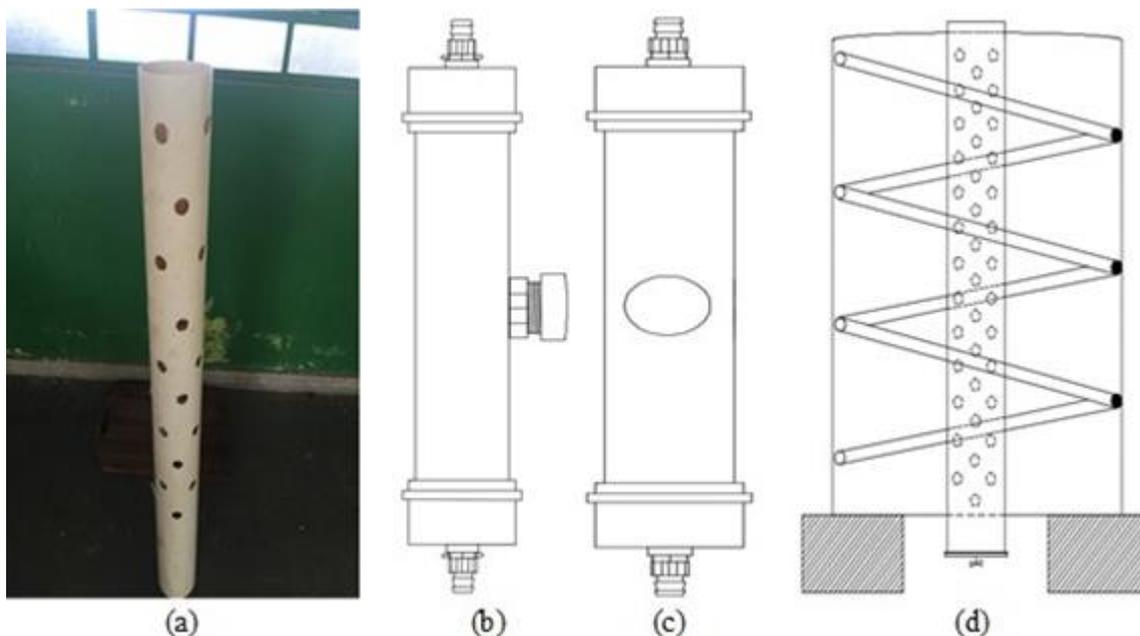
procedimentos descritos por [17]. Os tambores foram preenchidos com substrato orgânico e para acomodar as plantas foram abertos 45 furos na superfície lateral do tambor (Figura 2a), com auxílio de um lança chamas, um molde de madeira e uma serra circular elétrica. Cada barril tinha capacidade para 49 plantas, distribuídas em seis níveis de plantio (Figura 2b) (cinco na superfície lateral e um na superfície superior do barril), no entanto, para reduzir a densidade de plantio e competição entre plantas, apenas foram alocadas 29 plantas (Figura 2c) de couve-manteiga por tambor.



**Figura 2.** Esquema de estabelecimento do sistema de cultivo vertical em tambores plásticos.

Fonte: Pitoro (2019), Ventura (2017).

O SCV ocupou uma área aproximada de 3 m<sup>2</sup>, na qual foram alocados três tambores, sendo que a cada um deles também foi alocada uma linha de irrigação por gotejamento de nove metros, uma composteira (Figura 3a) confeccionada em tubo PVC de 100 mm de diâmetro para a produção de “compost tea” utilizado como biofertilizante orgânico, coletado e aplicado ao sistema através do injetor de fertilizantes (Figura 3b, 3c) confeccionado em tubo PVC de 50 mm de diâmetro e inserido na parte inferior do tambor, junto à linha de irrigação por gotejamento (Figura 3d).



**Figura 3.** Outras componentes do sistema de cultivo vertical em tambores plásticos.

Fonte: Ventura (2017).

O SCC ocupou uma área de aproximadamente 52 m<sup>2</sup>, na qual foram preparados 12 canteiros de 5,4 m de comprimento e 0,8 m de espaçamento. Em cada canteiro foi alocada uma linha de irrigação por gotejamento e nove plantas de couve-manteiga espaçadas em 0,6 m, tendo um emissor por planta.

A linha de gotejamento utilizada em ambos sistemas de cultivo era de emissores autocompensantes, do tipo *in-line*. A vazão do gotejador indicada nas especificações é de 2,5 L h<sup>-1</sup>, pressão nominal de 1,5 bar, espaçamento de 0,6 m e espessura da parede do tubo de 0,65 mm, de marca Amanco modelo *Maxdrip*.

Para irrigação, contou-se com duas fontes de água: (i) efluente tratado (EFT) proveniente do sistema de tratamento de efluentes de esgoto doméstico então em estudo e (ii) água potável (AP) da rede de abastecimento do Campus Universitário, captada de um poço com nível dinâmico e estático a uma profundidade de 158 m e 76 m respectivamente, razão pela qual não foi necessário tratá-la previamente.

O efeito da irrigação com EFT no cultivo de couve-manteiga foi estudado considerando três tratamentos, que compreendiam diferentes tipos de água de irrigação, nomeadamente: T1 – irrigação com 100% EFT, T2 – irrigação com 100% AP e T3 - irrigação com a combinação 50% EFT + 50% AP. O efeito dos tratamentos foi estimado pela avaliação do desenvolvimento e produção das plantas aos 30, 40, 50 e 60 dias após o transplante (AP), quantificando o número de folhas adultas por planta (NFA) (folhas com comprimento de limbo superior a 10 cm), número de folhas comerciais (NFC) (folhas com comprimento de limbo não inferior a 20 cm) segundo os critérios propostos por [26], número de folhas não comerciais (NFNC), massa fresca de folhas comerciais (MFFC) e não comerciais (MFFNC).

## 2.4. Manejo de irrigação

As irrigações foram realizadas diariamente, sendo o volume aplicado correspondente à evapotranspiração da cultura para irrigação localizada ( $ET_{C_{Loc}}$ ) (Equação 1), calculado de acordo com a metodologia proposta por Keller (1978), considerando evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) estimada pelo método de Penman-Montheith [27] (dados obtidos na plataforma Web da Estação Meteorológica, nas coordenadas 22°51'06.9"S 48°25'56.9"W) e coeficientes de cultivo ( $kc$ ) para cada fase de desenvolvimento fenológico de couve-manteiga propostos por [28], com valores de 0,55 (durante 10 dias na Fase I – correspondente a fase de estabelecimento da cultura); 0,7 (20 dias na Fase II– crescimento das plantas [O  $kc$  nesta fase não é constante, regista um aumento contínuo até a Fase III]); 1,0 (20 dias na Fase III – formação da produção) e 0,95 (10 dias na Fase IV – até ao final da colheita).

$$ET_{C_{Loc}} = ET_0 * kc * k_L \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:  $ET_{C_{Loc}}$  – evapotranspiração da cultura para irrigação localizada (mm dia<sup>-1</sup>),  $ET_0$  – evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>),  $kc$  – coeficiente de cultivo,  $k_L$  – fator de correção devido a localização (0,17 para fase de desenvolvimento fenológico I; 0,29 para Fase II; 0,89 para Fase III e IV).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:  $ET_0$  – evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>),  $R_n$  – saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>),  $G$  – fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>),  $T$  – temperatura média do ar (°C),  $u_2$  – velocidade média do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>),  $e_s$  – pressão de saturação de

vapor média diária (Kpa),  $\Delta$  – curva de pressão de vapor (KPa °C<sup>-1</sup>) e  $\gamma$  – constante psicrométrica (KPa °C<sup>-1</sup>).

## 2.5. Análise estatística

Os dados obtidos neste estudo foram submetidos à análise de variância (ANOVA) considerando um delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas no tempo, onde as amostragens (41, 70, 100, 130 e 165 dias de operação do sistema de tratamento) constituíram as parcelas e tipos de água (AP, EFT e EFB) as sub-parcelas, com três repetições (as amostras foram analisadas três vezes por parâmetro) para as características físicas, químicas e microbiológicas dos diferentes tipos de água usada para irrigação (AP e EFT) e do EFB. Já os dados do NFA do SCC foram submetidos à ANOVA, considerando um delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas no tempo, sendo que as datas de colheita (30, 40, 50 e 60 AP) constituíram as parcelas e os tratamentos estudados (100% EFT, 100% AP e combinação 50% EFT + 50% AP) as sub-parcelas, com quatro repetições (quatro canteiros por tratamento). Todas as médias foram comparadas pelo *test Scott-Knott* a 1% de probabilidade usando o software estatístico Sisvar versão 5.6 [29].

Não sendo possível proceder ANOVA com os resultados de produção de couve-manteiga no SCV, adotou-se a análise de estatísticas descritivas para ilustrar os efeitos da irrigação com EFT no desenvolvimento e produção de couve-manteiga neste sistema de cultivo. A avaliação do desempenho dos sistemas de cultivo (SCV e SCC) com relação a gestão de recursos, sobretudo de recursos hídricos, baseou-se na determinação e comparação dos valores de eficiência de uso de água de irrigação (Equação 3) e produtividade das culturas.

A eficiência do uso de água de irrigação (EUA) por planta foi calculada sendo a razão entre a produção total de massa fresca por planta ( $Y_p$ ) e a quantidade de água aplicada por planta para obter tal produção [21, 30], e produtividade a razão entre  $Y_p$  e a área ocupada por planta.

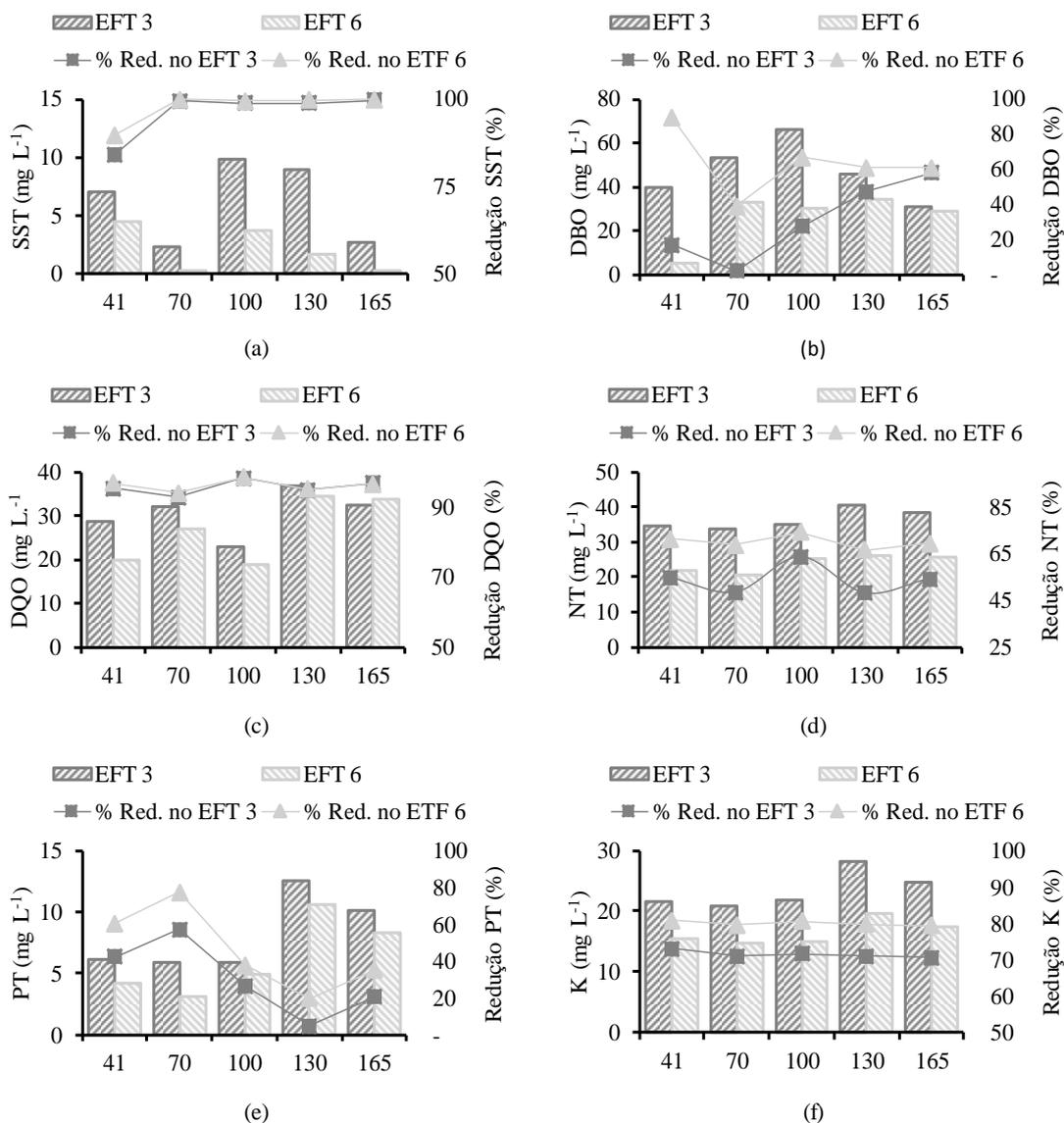
$$EUA = \frac{Y_p}{UTAp} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: EUA – eficiência de uso de água de irrigação (g L<sup>-1</sup>),  $Y_p$  – produção total de massa fresca por planta (g planta<sup>-1</sup>) e  $UTAp$  – uso total de água por planta (L planta<sup>-1</sup>).

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Desempenho do sistema de tratamento de efluentes e qualidade da água de irrigação

Os resultados obtidos indicaram que o sistema de tratamento apresentou um desempenho satisfatório na redução de partículas sólidas, matéria orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos presentes no EFB. A redução média de SST, DBO e DQO no EFT em relação a EFB em todas amostragens realizadas ao longo da pesquisa esteve próximo de 100% (Figura 4a), 62,9% (Figura 4b) e 96,7% (Figura 4c) respectivamente. Estes resultados destacam o potencial que filtros estudados nesta pesquisa tem na redução de partículas sólidas e matéria orgânica (MO). Estes resultados enquadram-se na faixa provável de remoção de poluentes (representada pela DBO) prevista na NBR 13.969 para filtros anaeróbios [31].



**Figura 4.** Valores médios e porcentagem de redução de sólidos suspensos totais (SST), demanda química (DBO) e bioquímica de oxigênio (DQO), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT) e potássio (K) no efluente tratado (EFT 3 e EFT 6) em relação ao efluente bruto nos diferentes tempos de amostragem.

O sistema de tratamento proporcionou EFT (efluente tratado final) de qualidade aceitável para reuso na irrigação. Foram observadas diferenças significativas na qualidade do EFT e AP na maioria dos parâmetros avaliados (Tabela 1), sendo os valores de CE, concentração de nutrientes, coliformes fecais e totais muito superiores no EFT do que na AP, corroborando com os argumentos de diversos pesquisadores [10, 14, 32, 33] que indicam que geralmente os efluentes de esgoto apresentam altas concentrações de poluentes quando comparado à água potável. Diferenças significativas também foram observadas entre a qualidade do EFT e EFB, o que reforça a ideia de que o sistema de tratamento apresentou um desempenho satisfatório.

Embora os resultados de redução de nutrientes indicaram que a ETEA teve um desempenho satisfatório, a concentração de PT no EFT superou os limites

estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05 [34] e Agência Americana de Proteção Ambiental (EPA) [35], e o NT esteve na faixa de restrição considerada moderada para reuso na irrigação [36, 37]. Diversos pesquisadores [38, 39] referem que a remoção de nutrientes presentes no efluente de esgoto é mais efetiva em sistema de tratamento que envolvem o cultivo de plantas. Avaliando um *wetland* com capim vetiver, [38], observaram que a redução de fósforo e nitrogênio amoniacal em módulos com este capim esteve em torno de 80,35% e 83,3%, e em módulos sem capim foi de 44,45% e 42,55% respectivamente.

**Tabela 1.** Características físicas, químicas e microbiológicas da água de irrigação (AP e EFT) e efluente bruto, e resultados da análise estatística.

	41 dias	70 dias	100 dias	130 dias	165 dias	Média (Desv.P)
Condutividade elétrica (dS m <sup>-1</sup> )						
AP	0,33bA	0,35cA	0,38cA	0,36cA	0,34cA	0,35 (±0,02)
EFB	0,58aB	0,76aA	0,69aA	0,72aA	0,72aA	0,69 (±0,06)
EFT	0,56aC	0,68bA	0,63bAB	0,60bBC	0,61bABC	0,61 (±0,04)
Demanda bioquímica de oxigênio (mg L <sup>-1</sup> )						
AP	4,80bC	17,0cA	0,7cD	5,6cC	9,4cB	7,5 (±5,50)
EFB	48,0aE	54,0aD	91,0aA	87,0aB	74,0aC	70,8 (±17,22)
EFT	5,2bE	33,0bB	30,0bC	34,0bA	29,0bD	26,2 (±10,68)
Demanda química de oxigênio (mg L <sup>-1</sup> )						
AP	10,2cC	42,0bA	4,0cC	11,3cC	28,1bB	19,1 (±13,95)
EFB	600,8aD	445,0aE	1251,0aA	706,3aC	1000,8aB	800,8 (±289,2)
EFT	19,7bB	27,0cA	19,0bB	34,3bA	33,8bA	26,8 (±6,58)
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )						
AP	1,20bA	1,11bA	0,65bA	0,90bA	1,06cA	0,98 (±0,21)
EFB	10,56aAB	13,76aA	7,92aB	13,18aA	12,68aAB	11,62 (±3,01)
EFT	4,20bBC	3,14bC	4,94aBC	10,58aA	8,24bAB	6,22 (±3,13)
Nitrogênio total (mg L <sup>-1</sup> )						
AP	4,50cA	3,20cA	0,20cA	1,57cA	2,31cA	2,36 (±1,51)
EFB	76,03aB	65,60aC	96,70aA	77,80aB	84,03aB	80,03 (±11,13)
EFT	21,85bA	20,40bA	25,10bA	26,00bA	25,81bA	23,83 (± 4,36)
Potássio (mg L <sup>-1</sup> )						
AP	2,90cA	2,10cA	1,30cA	1,76cA	3,21cA	2,25 (± 0,75)
EFB	80,00aB	71,50aC	76,90aBC	97,60aA	84,00aB	82,00 (± 9,65)
EFT	15,42bA	14,60bA	14,90bA	19,70bA	17,38bA	16,40 (± 2,76)
Coliformes totais (MPN 100 mL <sup>-1</sup> )*						
AP	ausente	1,4 × 10 <sup>1</sup>	ausente	Ausente	10	n/a
EFB	2,06 × 10 <sup>9</sup>	2,19 × 10 <sup>9</sup>	1,99 × 10 <sup>7</sup>	1,35 × 10 <sup>7</sup>	5,17 × 10 <sup>6</sup>	n/a
EFT	1,45 × 10 <sup>4</sup>	2,76 × 10 <sup>5</sup>	1,24 × 10 <sup>3</sup>	7,70 × 10 <sup>3</sup>	4,35 × 10 <sup>3</sup>	n/a
Coliformes fecais (MPN 100 mL <sup>-1</sup> )*						
AP	ausente	ausente	ausente	Ausente	ausente	n/a

EFB	$7,42 \times 10^8$	ausente	$1,37 \times 10^6$	$2,36 \times 10^6$	$3,36 \times 10^5$	n/a
EFT	5200	ausente	21	328	97	n/a

AP – água potável; EFB – efluente bruto; EFT - Efluente tratado final ou coletado no filtro seis; Desv.P – desvio padrão. Médias que não partilham a mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha são significativamente diferentes, a 1% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott. \*Análise estatística não aplicável (n/a).

### 3.2. Produção e qualidade sanitária de couve manteiga

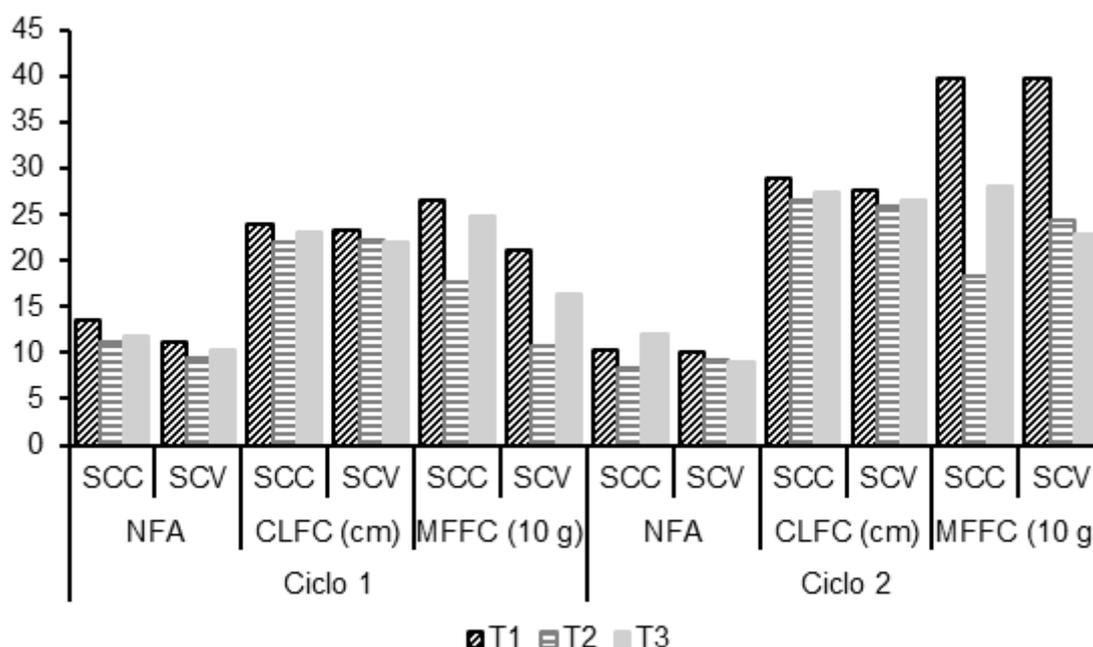
Cultivos verticais apresentam como principais características o fato das plantas serem penduradas ou fixadas em estruturas verticais, por exemplo, na parede das casas, com o objetivo de otimizar o espaço de plantação, sendo uma alternativa ideal para o cultivo de hortaliças em áreas urbanas e peri-urbanas caracterizadas pela disponibilidade limitada de espaço para produção agrícola, disponibilidade limitada de água para irrigação e demanda excessiva por temperos, ervas, hortaliças, etc.

A ideia de combinar este sistema de cultivo vertical em barris plásticos ao reuso de EFT, surge por entender-se que pela sua estrutura, o barril isola as plantas e os produtores de um possível contato com a água de irrigação (neste caso EFT) possivelmente contaminada.

Os resultados da análise estatística indicaram existirem diferenças significativas entre os tratamentos estudados com relação ao NFA por planta, sendo que os maiores valores foram observados nos tratamentos que receberam EFT, tanto no SCV assim como no SCC. Comportamento semelhante também foi observado nos resultados referentes ao CLFC e MFFC por planta nas parcelas que receberam 100% EFT (Figura 5). Estes resultados mostram que a irrigação com EFT teve um efeito positivo no desenvolvimento e na produção das plantas [14, 40–42].

Tunc e Sahin [42] irrigando repolho roxo com EFT, mistura de EFT e AP, e AP, observaram que o número de folhas abertas, peso de folhas abertas, diâmetro da cabeça, peso da cabeça e rendimento da massa fresca total foi menor nas plantas que receberam AP. Estes autores indicaram que a obtenção de rendimentos altos pela aplicação de EFT pode ser explicada pela reciclagem dos nutrientes presentes nos efluentes.

Os resultados da análise microbiológica de folhas comerciais de couve indicaram que não foi registada contaminação por coliformes termotolerantes para maioria das amostras coletadas tanto no SCV assim como SCC, de acordo com a Resolução RDC n.12 de 02/01/2001 [43] que estabelece padrões microbiológicos sanitários para alimentos e critérios para interpretação dos resultados das análises microbiológicas de alimentos destinados ao consumo humano. Segundo a ANVISA [43], a tolerância máxima de contaminação por coliformes termotolerantes (representado por *E. Coli*) para amostras de hortaliças consumidas cozidas é de 500 NMP g<sup>-1</sup>, portanto, após observar-se em duas amostras (uma para cada sistema de cultivo), valores máximos de 0,04 NMP g<sup>-1</sup> (resultante de "1/25") e 0,684 NMP g<sup>-1</sup> (resultante de "17,1/25") no SCV e SCC respectivamente, pode se dizer que a qualidade sanitária de folhas comerciais de couve atendeu aos padrões estabelecidos.



**Figura 5.** Valores médios do número de folhas adultas (NFA), comprimento de limbo (CLFC) e massa fresca de folhas comerciais (MFFC). T1 – irrigação com 100% EFT, T2 – irrigação com 100% AP e T3 – irrigação com a combinação 50% EFT + 50% AP.

### 3.3. Eficiência de uso da água de irrigação

O SCV proporcionou maior produtividade e eficiência de uso da água de irrigação (Tabela 2), com uma redução de uso de água de irrigação superior a 20% (com máxima de 72%) em relação ao SCC. Estes resultados podem ser explicados pelo fato do barril reduzir o contato direto entre o solo (no interior do barril) e a radiação solar (principal fator que influencia na redução da umidade do solo por evaporação), com isso, o tambor permitiu maior conservação e aproveitamento da água de irrigação pelas plantas.

**Tabela 2.** Resultados da produtividade de couve-manteiga e eficiência de uso de água no Sistema de Cultivo Vertical (SCV) e Sistema de Cultivo Convencional (SCC).

	Ciclo 1		Ciclo 2	
	SCV	SCC	SCV	SCC
Produtividade (g MFT m <sup>-2</sup> )				
T1	5396,7	826,4	9310,4	1219,3
T2	3392	599	6805	851
T3	4407	766,2	6759,7	1063
EUA (g MFT L <sup>-1</sup> )				
T1	15	10,7	29,5	18
T2	9,5	7,8	21,5	12,5
T3	12,3	9,9	21,4	15,7

T1 – irrigação com 100% EFT, T2 – irrigação com 100% AP e T3 – irrigação com a combinação 50% EFT + 50% AP, MFT – massa fresca total.

O sistema de cultivo vertical em tambores plásticos também foi utilizado para o cultivo de alface (*Lactuca sativa*), cebolinha (*Allium schoenoprasum*), rúcula (*Eruca sativa Mill*), salsa (*Petroselinum crispum (Mill.) Nym.*), almeirão (*Cichorium intybus*) e chicória (*Cichorium endivia L.*) em pesquisa realizada por [17]. As culturas apresentaram resultados promissores o que levaram a realização de outras pesquisas visando gerar mais dados sobre o sistema. (Figura 6).



**Figura 6.** Diferentes hortaliças cultivadas no sistema vertical em tambores. Fonte: Ventura (2017).

Para as culturas exibidas na figura acima, também foi realizado o cálculo de eficiência do uso da água (EUA) e comparado com o cultivo convencional em canteiros. Na tabela 2 é possível observar que o sistema vertical apresenta uma EUA elevada quando comparado com os canteiros, isso se dá ao fato de que a área utilizada para produzir é menor, o que eleva a produtividade, e consequentemente a EUA.

**Tabela 2.** Eficiência do uso da água (EUA) para as diferentes culturas produzidas no sistema vertical e em canteiros.

Cultura	EUA (kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	
	Vertical	Canteiro
Alface	55,0 a	10,0 b
Almeirão	62,1 a	14,8 b
Cebolinha	27,2 a	7,2 b
Chicória	80,7 a	13,9 b

Rúcula	12,5 a	10,6 a
Salsa	57,0 a	16,5 b

Fonte: Ventura (2017) \*Valores seguidos por letras iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 4. Conclusão

O sistema de tratamento de efluentes apresentou um desempenho satisfatório e proporcionou EFT de qualidade aceitável para reuso na irrigação de hortaliças. No entanto, fica evidente a necessidade de combinar estratégias de tratamento e aplicação e/ou irrigação para melhor aproveitar os benefícios proporcionados pelo reuso de efluente de esgoto na irrigação agrícola. O cultivo vertical em barris plásticos permitiu economizar água de irrigação. A combinação deste sistema de cultivo (SCV) com o reuso de efluentes de esgoto mostrou ter enorme potencial para a redução de contaminação das plantas. A elevada produtividade observada no SCV mostra que sistema cultivo pode ser uma ótima alternativa para a produção de hortaliças nos centros urbanos que por coincidência são caracterizados por gerar enormes quantidades de efluentes e apresentam elevada competição por recursos hídricos entre setores chaves da sociedade.

#### 6. Referências

- [1] Koech R., Langat P. Improving irrigation water use efficiency: A review of advances, challenges and opportunities in the Australian context. *Water* 2018; 10(12):1771. <https://doi.org/10.3390/w10121771>.
- [2] Paz V.P. da S., Teodoro R.E.F., Mendonça F.C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2000; 4:465–473. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000300025>.
- [3] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture: Managing systems at risk*. Londres: Earthscan; 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i1688e/i1688e00.htm>> Acesso em: 07 Fev. 2021.
- [4] Angelakis A.N., Zaccaria D., Krasilnikoff J., Salgot M., Bazza M, Roccaro P., Jimenez B., Kumar A., Yinghua W., Baba A., Harrison J.A., Garduno-Jimenez A., Fereres E. *Irrigation of World Agricultural Lands: Evolution through the Millennia*. *Water* 2020; 12(5):1285. <https://doi.org/10.3390/w12051285>.
- [5] Liu J., Daniel N., Amarbayasgalan D., Fu J., Lei X., Liu H., Macer D., Qiao Q., Sun A., Tachiyama K., Zheng Y. *Water Ethics and Water Resource Management (ECCAP WG14 Report)*. Bangkok; 2009. Disponível em: <[http://colinmayfield.com/public/PDF\\_files/Principles,%20For,%20Water%20-%202010%20-%20WATER%202015%20RESOURCE%20MANAGEMENT%20%E2%80%93%20IW%20RM.pdf](http://colinmayfield.com/public/PDF_files/Principles,%20For,%20Water%20-%202010%20-%20WATER%202015%20RESOURCE%20MANAGEMENT%20%E2%80%93%20IW%20RM.pdf)> Acesso em: 07 Fev. 2021.
- [6] Siebert S., Henrich V., Frenken K., Burke J. *Update of the Digital Global Map of Irrigation Areas to Version 5*. Institute of Crop Science and Resource Conservation Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Germany; 2013. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/I9261EN/i9261en.pdf>> Acesso em: 07 Fev. 2021.

- [7] Zheng H., Shao R., Xue Y., Ying H., Yin Y., Cui Z., Yang Q.H. Water productivity of irrigated maize production systems in Northern China: A meta-analysis. *Agric Water Manag* 2020; 234:106119. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106119>.
- [8] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *World Food and Agriculture Statistical Pocketbook 2019*. Roma: FAO; 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/ca6463en/ca6463en.pdf>> Acesso em: 07 Fev. 2021.
- [9] Liu J., Dorjderem A., Fu J., Lei X., Liu H., Macer D., Qiao Q., Keisuke A.S., Lilin T., Zheng Y.Y. *Water Ethics and Water Resource Management*. Bangkok: UNESCO Asia and Pacific Regional Bureau for Education; 2011. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000192256>> Acesso em: 07 Fev. 2021.
- [10] Wang Z., Li J., Li Y. Using reclaimed water for agricultural and landscape irrigation in China: a review. *Irrigation and Drainage* 2017; 66:672–686. <https://doi.org/10.1002/ird.2129>.
- [11] Singh C.J., Kumar S. Wastewater ferti-irrigation: an eco-technology for sustainable agriculture. *Sustainable Water Resources Management* 2020; 6(3):1–11. <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00389-5>.
- [12] Cherfouh R., Lucas Y., Derridj A., Merdy P. Long-term, low technicality sewage sludge amendment and irrigation with treated wastewater under Mediterranean climate: impact on agronomical soil quality. *Environmental Science and Pollution Research* 2018; 25(35):35571–35581. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3463-3>.
- [13] Libutti A., Gatta G., Gagliardi A., Vergine P., Pollice A., Beneduce L., Disciglio G., Tarantino E. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management* 2018; 196:1–14. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.015>
- [14] 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* 2017; 181:108–115. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.001>
- [15] Jeong H., Seong C., Jang T., Park S. Classification of Wastewater Reuse for Agriculture: A Case Study in South Korea. *Irrigation and Drainage* 2016; 65:76–85. <https://doi.org/10.1002/ird.2053>.
- [16] 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* 2016; 23(1):S83-S92. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.10.029>.
- [17] Ventura K.M. Eficiência do uso da água em um sistema vertical sob irrigação localizada. Dissertação de mestrado. São Paulo: Universidade Estadual Paulista (UNESP); 2017.
- [18] Batista R.O., da Silva K.B., da Silva Júnior M.J., dos Santos D.B., da Cunha R.R. Performance of drip emitters for different pressures and application of cashew nuts wastewater. *DYNA* 2018; 85:38–43. <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v85n204.64322>.
- [19] Costa D.D.O., Marques Vale H.S., Batista R.O., Moura da Silva P.C., Lemos Filho L.C.D.A., Dos Santos D.B. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores aplicando água residuária doméstica tratada. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente* 2019; 12(4):1251–1266. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1251-1266>.
- [20] da Silva K.B., Batista R.O., da Costa Leite Coelho D., Diniz Marques B.C., de

Oliveira Mesquita F., de Oliveira Cunha J.L. Vazão de gotejadores aplicando esgoto sanitário tratado e prevenção do entupimento com catalisador enzimático. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente* 2019; 12(2):679–699. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n2p679-699>.

[21] El-Wahed M.H.A., Ali E.A. Effect of irrigation systems, amounts of irrigation water and mulching on corn yield, water use efficiency and net profit. *Agricultural Water Management* 2013; 120:64–71. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.017>.

[22] Fan Y., Massey R., Park S.C. Multi-crop production decisions and economic irrigation water use efficiency: The effects of water costs, pressure irrigation adoption, and climatic determinants. *Water* 2018; 10(11), 1637. <https://doi.org/10.3390/w10111637>.

[23] Marouelli WA, Abdalla RP, Madeira NR, Oliveira AS de, Souza RF de (2010) Eficiência de uso da água e produção de repolho sobre diferentes quantidades de palhada em plantio direto. *Pesqui Agropecuária Bras* 45:369–375

[24] Pitoro V.S.J. Tratamento de efluentes de estação de tratamento de esgoto em filtros anaeróbios verticais para reúso na irrigação por gotejamento de couve-manteiga (*Brassica oleracea* L. var. acephala). Dissertação de mestrado. São Paulo: Universidade Estadual Paulista (UNESP); 2019.

[25] APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington: American Public Health Association. Stand Methods. 2012. <https://doi.org/ISBN 978-087553-013-0>

[26] Trani, P.E., Tivelli S.W., Blat S.F., Pantano A., Teixeira E., Araújo H., Feltran J., Passos F., Novo M. Couve de folha: do plantio à pós-colheita. *Igarss* 2014; 1–5.

[27] Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Roma: FAO 1998.

[28] Marouelli W. Irrigação no cultivo de Brássicas. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1073865>> Acesso em: 08 Fev. 2021.

[29] Ferreira D.F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria* 2019; 37(4):529. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

[30] Silva T.G.F., Primo J.T.A., Silva S.M.S., de Moura M.S.B., dos Santos D.C., Silva M. da C., Araújo J.E.M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no semiárido Brasileiro. *Bragantia* 2014; 73:184–191. <https://doi.org/10.1590/brag.2014.017>.

[31] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR13.969. Tanques sépticos- Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos- Projeto, construção e operação. Abnt 60; 1997. Disponível em: <[http://acguasana.com.br/legislacao/nbr\\_13969.pdf](http://acguasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf)> Acesso em: 08 Fev. 2021.

[32] Salgot M., Folch M., Unit S.S. Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 2018; 2:64–74. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.005>.

[33] Fonseca A.F. da, Herpin U., Paula A.M. de, Victória R.L., Melfi A.J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Sci Agric* 2007; 64:194–209. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103->

90162007000200014.

[34] AMBIENTE-CONAMA CNDOM. Resolução CONAMA nº357/2005, de 17 de março de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Of. da União. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 08 Fev. 2021.

[35] US Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse. Development. 2012. <https://doi.org/EPA16251R-921004>

[36] Ayers R.S., Westcot D.W. Water Quality for Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma: FAO; 1985. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/T0234E/T0234E00.htm>> Acesso em: 08 Fev. 2021.

[37] WHO. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. World Health Organ 2006; 1:114. Disponível em: <[https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/gsuweg4/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gsuweg4/en/)> Acesso em: 08 Fev. 2021.

[38] Ucker F.E., Almeida R.A., Kemerich P.D.C. Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver. Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science 2012; 7(3):87–98. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>.

[39] Almuktar S.A.A.N., Abed S.N., Scholz M. Wetlands for wastewater treatment and subsequent recycling of treated effluent: a review. Environmental Science and Pollution Research 2018; 25:23595–23623. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2629-3>.

[40] Cirelli G.L., Consoli S., Licciardello F., Aiello R., Giuffrida F., Leonardi C. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. Agricultural Water Management 2012; 104:163–170. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.011>.

[41] Demir A.D., Sahin U. Effects of different irrigation practices using treated wastewater on tomato yields, quality, water productivity, and soil and fruit mineral contents. Environmental Science and Pollution Research 2017; 24:24856–24879. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0139-3>.

[42] Tunc T., Sahin U. Red cabbage yield, heavy metal content, water use and soil chemical characteristics under wastewater irrigation. Environmental Science and Pollution Research 2016; 23:6264–6276. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5848-x>.

[43] BRASIL. ANVISA Resolução nº 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 10 jan. Diário Of. [da] República Fed. do Bras. 2001. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-rdc-no-12-de-2-de-janeiro-de-2001.pdf/view>> Acesso em: 08 Fev. 2021.

## **Autores**

Valdemiro Simão João Pitoro<sup>1,\*</sup>, Rodrigo Máximo Sánchez-Román<sup>2</sup>, Kevim Muniz Ventura<sup>3</sup>, Sérgio Alberto Jane<sup>4</sup>

1. Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Lúrio, Campus de Unango, EN 733, Km 42, Sanga, Niassa, Moçambique, E-mail: [vpitoro@gmail.com](mailto:vpitoro@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3871-3124>.
2. Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas/Campus de Botucatu: Botucatu, Brasil. [rodrigo.roman@unesp.br](mailto:rodrigo.roman@unesp.br), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5957-061X>.
3. Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Departamento de Engenharia Rural e Socioeconômica, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Campus Botucatu, Av. Universitária n 3780 – Botucatu, SP. E-mail: [k.kevim@gmail.com](mailto:k.kevim@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3201-5034>.
4. Departamento de Produção e Proteção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Lúrio, Campus de Unango, EN 733, Km 42, Sanga, Niassa, Moçambique. [serztjane@gmail.com](mailto:serztjane@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9666-8117>.

\* Autor para correspondência: [vpitoro@gmail.com](mailto:vpitoro@gmail.com)