

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

ANDRESSA DE ALMEIDA SOARES OLIVEIRA

TRATAMENTO E DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO UV DE EFLUENTE
DOMÉSTICO PARA USO AGRÍCOLA

ARARAS-SP

2018

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

ANDRESSA DE ALMEIDA SOARES OLIVEIRA

**TRATAMENTO E DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO UV DE EFLUENTE
DOMÉSTICO PARA USO AGRÍCOLA**

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

Orientador: Prof. Dr. Claudinei F. Souza

Co-orientador: Prof. Dr. Reinaldo G. Bastos

ARARAS-SP
2018

Oliveira, Andressa de Almeida Soares

Tratamento e desinfecção por radiação UV de efluente doméstico para uso agrícola / Andressa de Almeida Soares Oliveira. -- 2018.

65 f. : 30 cm.

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

Orientador: Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza

Banca examinadora: Prof. Dr. Reinaldo Gaspar Bastos, Prof. Dr. Vanessa Ribeiro Urbano, Douglas Roberto Bizari

Bibliografia

1. Reúso de efluentes. 2. Radiação UV. 3. Agricultura. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

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

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

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



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

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

Folha de Aprovação

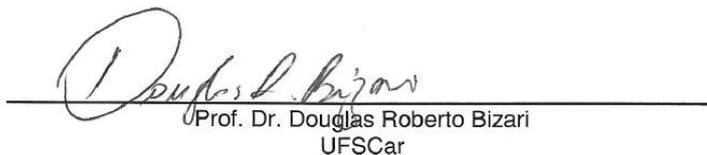
Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Andressa de Almeida Soares Oliveira, realizada em 26/03/2018:



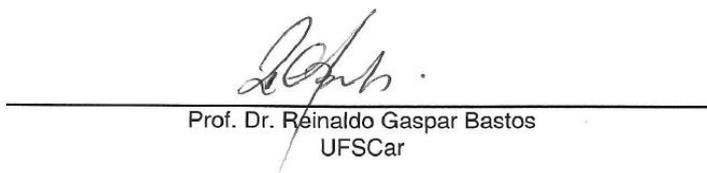
Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza
UFSCar



Profa. Dra. Vanessa Ribeiro Urbano
Objetivo



Prof. Dr. Douglas Roberto Bizari
UFSCar



Prof. Dr. Reinaldo Gaspar Bastos
UFSCar

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me conceber a vida e a concretização de mais esse sonho;

A jornada foi intensa, foram desafios, desesperos, alegrias e perguntas que precisavam de respostas, em alguns momentos pensei que não chegaria ao fim dessa caminhada... Muitos me apoiaram, e gostaria de agradecê-los:

À minha filha Andriely, que compreendeu e me incentivou a continuar nestes mais de dois anos, mesmo com as ausências ou horas na frente do computador;

Ao meu pai (*in memoriam*), que apesar de poucas palavras e gestos de carinho, sempre se preocupou com a minha trajetória e torceu pelo meu sucesso. Sei que onde estiver, estará orgulhoso por mais esta conquista;

À minha mãe Vera Lúcia, que sempre muito prestativa cuidou da minha pequena Andriely nos momentos que estive ausente, sei que somente ela faria isso tão bem;

Ao meu esposo Dario, que sempre apoiou as minhas decisões. Deu-me suporte nas horas difíceis e acreditou que chegaria até aqui;

À minha irmã Aline, que me entusiasmou a retomar os estudos, graças a ela, pude conhecer meu orientador;

Ao Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza, que me acolheu como orientanda, me deu oportunidade e confiança, me mostrou que eu era capaz de desvencilhar os obstáculos, me ensinou a ser forte;

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Reinaldo Gaspar Bastos que sempre prontamente me ajudou a sanar as dúvidas durante toda a pesquisa, de uma maneira leve e brincalhona, mas muito sábia e responsável;

Ao Centro de Ciências Agrárias (CCA), em especial ao Programa de Pós-graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA);

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de auxílio estudantil;

A todos os funcionários do CCA, em especial aos Técnicos Administrativos, de campo e de laboratórios que me auxiliaram com as coletas e análises em laboratório;

Aos novos amigos do Grupo de Pesquisa em Engenharia de Água, Solo e Ambiente (EASA), que demonstraram companheirismo, alegria e responsabilidade nesta jornada;

Aos companheiros da Turma de Mestrado 2016, que fizeram de nossos deveres, momentos agradáveis e menos difíceis;

E enfim, agradecer a todos que me ajudaram, pois isso é parte da minha conquista profissional e pessoal.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

Diante da crise hídrica, agravada pelas alterações climáticas, crescimento populacional e o aumento da demanda por alimentos, o reúso de efluentes têm se apresentado como alternativa para irrigar áreas agrícolas. No entanto, como é comum a presença de patógenos nas águas residuárias, uma etapa de desinfecção torna-se fundamental para adequar o efluente ao reúso, com destaque para a aplicação de radiação ultravioleta (UV). Sendo assim, a pesquisa buscou avaliar a viabilidade agrícola e sanitária do efluente doméstico tratado em Estação de Tratamento de Esgoto Piloto (ETE) composta por Tanque Séptico, *Wetlands* e Sistema de Radiação Ultravioleta (UV), através do monitoramento físico-químico e microbiológico. A ETE do estudo se encontra instalada no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da UFSCar, no município de Araras/SP, a qual foi projetada, para receber diariamente 2000 L de esgoto. A pesquisa compreendeu o monitoramento quinzenal e mensal dos seguintes parâmetros: pH, turbidez, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT), magnésio (Mg), carbono orgânico total (COT), coliformes totais (CT), *Escherichia coli* e Razão de Adsorção de Sódio (RAS). Após a coleta de dados foram avaliados a eficiência de remoção de cada índice, com base nas médias de entrada e saída de cada unidade de tratamento. Os resultados demonstraram eficiência de remoção para K (68,2 %), NT (54,1 %) e PT (36,1 %), já para os teores de Na (26,7 %) e Ca (22,9 %) o efluente apresentou aporte desses sais, no entanto, a RAS não apresentou riscos quanto à sodificação do solo pela água de irrigação. Os parâmetros microbiológicos apresentaram redução de 4 a 5 ciclos log para coliformes totais e *E. coli*. Os resultados indicaram que o efluente tratado da ETE Piloto apresenta viabilidade agrícola e, quanto aos aspectos microbiológicos, encontra-se em conformidade com a legislação pertinente, não apresentando riscos à saúde dos agricultores e consumidores finais.

Palavras-chave: Esgoto. Reúso. Desinfecção. Radiação Ultravioleta.

ABSTRACT

In the face of the water crisis, aggravated by climate change, population growth and increased demand for food, effluents reuse have been presented as an alternative to irrigate agricultural areas. However, it is common the presence of pathogens in wastewater, and disinfection step becomes fundamental to adequate the effluent to the reuse, with emphasis on the application of ultraviolet (UV) radiation. Therefore, the research sought to evaluate the agricultural and sanitary viability of the domestic effluent treated in the pilot sewage treatment station composed by septic tank, wetlands and Ultraviolet radiation system (UV), through physical-chemical and microbiological monitoring. The Pilot Sewage Treatment Station is installed in the Center of Agricultural Sciences, UFSCar, Araras city, SP, and receives 2000 L of sewage daily. The research included the biweekly and monthly monitoring of the following parameters: pH, turbidity, conductivity (EC), dissolved oxygen (DO), sodium (Na), Potassium (K), calcium (Ca), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), magnesium (Mg), total organic carbon (TOC), total coliforms (TC), *Escherichia coli* and Sodium Adsorption Ratio (SAR). After data collection, the removal efficiency of each index was evaluated, based on the input and output of each treatment unit. The results showed removal efficiency for K (68.2 %), TN (54.1 %) and TP (36.1 %), for Na (26.7 %) and Ca (22.9 %), the effluent presented these salts, however, RAS did not present any risks regarding soil sodification by irrigation water. Microbiological parameters showed a reduction of 4 to 5 log cycles for total coliforms and *E. coli*. The results indicated that the effluent treated pilot station presents agricultural viability and, in terms of microbiological aspects, is in compliance with the relevant legislation, presenting no health risks to farmers and final consumers.

Keywords: Sewage. Reuse. Disinfection. Ultraviolet Radiation.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema das unidades de tratamento de esgoto da ETE Piloto.	34
Figura 2 - Unidades de tratamento da ETE identificadas.	34
Figura 3 - Declínio do pH, após as <i>Wetlands</i>	39
Figura 4 - Redução de Turbidez notável após as <i>Wetlands</i>	40
Figura 5 - Aspecto da Turbidez das amostras nas diferentes etapas de tratamento do efluente	41
Figura 6 - Aumento de CE após Tanque Séptico e diminuição após as <i>Wetlands</i>	42
Figura 7 - Oxigênio Dissolvido após cada unidade de tratamento.	42
Figura 8 - Aporte de Na nas unidades de tratamento da ETE.	43
Figura 9 - Eficiência de redução do K após as <i>Wetlands</i>	44
Figura 10 - Aporte de Ca após as <i>Wetlands</i>	45
Figura 11 - Eficiência de remoção do NT após as <i>Wetlands</i>	46
Figura 12 - Remoção do PT após as <i>Wetlands</i> e aporte do nutriente após o UV	47
Figura 13 - Coloração devido à presença de microalgas, após precipitação.	48
Figura 14 - Remoção de Mg após Tanque Séptico e aumento após as <i>Wetlands</i>	49
Figura 15 - Eficiência de remoção de COT após tratamento no Tanque Séptico.	50
Figura 16 - Remoção de Coliformes Totais e <i>E. coli</i> por unidades de tratamento.	51
Figura 17 - Monitoramento mensal da Razão de Adsorção do Sódio	53

ÍNDICE DE TABELA

Tabela 1 - Diretrizes para avaliação da água de irrigação	25
Tabela 2 - Classificação quanto à tolerância das culturas à salinidade da água de irrigação ...	25
Tabela 3 - Tolerância relativa à salinidade de algumas culturas	26
Tabela 4 - Valores médios do efluente bruto (Entrada) e do efluente tratado (Saída) dos parâmetros de monitoramento e eficiência de remoção	38
Tabela 5 - Valores de eficiência de remoção da unidade de tratamento UV.....	52
Tabela 6 - Eficiência de remoção por unidades de tratamento.....	54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 TRATAMENTO DE EFLUENTES	14
3.1.1 Tanque Séptico	14
3.1.2 <i>Wetlands</i>	15
3.1.3 Radiação Ultravioleta (UV)	16
3.2 AGENTES MICROBIANOS	17
3.2.1 Coliformes termotolerantes	18
3.3 USOS DA RADIAÇÃO UV NO TRATAMENTO DE EFLUENTES	18
3.4 REÚSO DE EFLUENTES	20
3.4.1 Riscos de salinização e sodificação do solo	23
3.4.2 Nutrientes essenciais às plantas	26
3.4.3 Sistemas de irrigação com efluente tratado	28
3.4.4 Legislação sobre o reúso de efluentes na agricultura	29
4. MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 SISTEMA PILOTO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO.....	32
4.2 MONITORAMENTO DA ETE	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6. CONCLUSÕES	55
7. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	56
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1. INTRODUÇÃO

Crescimento populacional, instabilidade climática e aumento da demanda por alimentos, culminaram na escassez de água com qualidade adequada, conforme reportado por Ahmadi e Merkley (2017) em um estudo sobre o “*Potencial de Reutilização de Águas Residuais para a Agricultura Irrigada*”.

Diversas produções científicas relacionadas com a crise hídrica identificaram que a agricultura além de ser responsável pela produção de alimentos, também é precursora de desperdícios na irrigação, contaminações, assoreamentos e perda de biodiversidade (FISCHER et al., 2016), havendo necessidade emergencial de se disseminar práticas sustentáveis a fim de interromper as degradações.

Como medida alternativa, tem-se verificado a aplicabilidade do reúso da água, e principalmente de efluentes tratados para serem dispostos na agricultura. Há relatos de que a produção agrícola aumenta consideravelmente após terem sido irrigadas com efluentes domésticos (FRANÇA et al., 2014).

De acordo com Hespanhol (2008), uma das estratégias para reverter a situação de escassez hídrica na agricultura é investir no reúso de efluentes, podendo assim, intensificar a produção agrícola até mesmo em períodos de entressafra.

Reciclar os nutrientes é uma estratégia sustentável, pois auxilia na redução da poluição de ambientes aquáticos e diminui a dependência de fertilizantes minerais na agricultura (PANTANO et al., 2016).

A produção de água residuária urbana é tão acentuada que Ahmadi e Merkley (2017) estudaram um modelo matemático com o intuito de avaliarem o potencial de reutilização dessas águas, e notaram que haveria um aumento de 16 % na geração de efluente entre os anos de 2010 a 2050. Através deste modelo, estimaram que em 2030 essa produção seria de 14,3 milhões de m³ ao ano, sendo suficiente para suprir a demanda de produção de alimentos na agricultura irrigada para cerca de 11 % da população dos próximos anos da cidade de Logan, Estado de Utah, nos Estados Unidos, que possui população de 48.000 habitantes, e um crescimento anual de 2 %. Além do que, com essa prática, o recurso hídrico seria poupado, refletindo na conservação e disponibilização para mais 4,2 mil pessoas em 2030.

Tendo em vista o percentual elevado de patógenos presentes no efluente e a necessidade de zelar pela integridade da saúde humana, a desinfecção se torna extremamente necessária (ZHOU et al., 2015).

Uma das opções utilizadas para desinfecção dos esgotos é a radiação ultravioleta (UV), que possui tempo de contato com o efluente e o consumo de energia elétrica considerados baixos. No entanto, uma desvantagem seria a necessidade de uma combinação de tratamentos antes da entrada ao UV, pois até mesmo as bactérias menos resistentes, podem se proteger nos flocos ou em sólidos em suspensão existentes no efluente diminuindo a eficiência de remoção (JIN et al., 2013).

Em 2012 Souza et al. (2015a) implantaram a Estação de Tratamento de Esgoto-ETE Piloto no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos-UFSCar (Araras), a fim de enquadrar o efluente para lançamento em seu respectivo corpo hídrico. Após análises, constataram que o efluente final possuía potencial agrícola, porém sua carga patogênica estava acima dos valores permitidos na legislação.

Sendo assim, a pesquisa atual visa a desintegração de unidades de tratamento, com o intuito de aumentar a viabilidade agrícola e incorporar o sistema de desinfecção por radiação ultravioleta, a fim de reduzir o grupo de coliformes do efluente final.

2. OBJETIVOS

Avaliar a viabilidade agrícola e sanitária do efluente doméstico tratado em Estação Piloto composta por Tanque Séptico, *Wetlands* e desinfecção por radiação ultravioleta (UV), por meio de monitoramento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tratamento de efluentes

O tratamento de esgoto pode ser sistematizado de acordo com a eficiência que se deseja, von Sperling (2005) nomeia as etapas de Preliminar, Primário, Secundário e Terciário (casos eventuais). As operações que ocorrem podem ser de ordem química, física e biológica. Normalmente todas as estações de tratamento, sejam elas em nível piloto ou não, iniciam-se com um gradeamento grosseiro, seguido de gradeamento fino, caixa de areia ou gordura. Pois, nesse primeiro estágio os materiais com maiores dimensões são barrados preservando o sistema.

3.1.1 Tanque Séptico

Considerado um tratamento primário, seu processo atua na remoção dos sólidos sedimentáveis, flotantes e parte da matéria orgânica.

O nome fossa/tanque deriva do francês e inglês, respectivamente, mas foi na segunda metade do século XIX que Jean Louis Mouras, na cidade francesa de Vesoul construiu uma fossa com o intuito de separar os sólidos, dos líquidos. Nessa experiência, que se estendeu por dois anos, notou-se que após a abertura desse tanque, havia apenas um lodo escuro, que quando seco apresentava-se inodoro e com características de terra vegetal. O experimento foi denominado, na época, de dispositivo misterioso e popularmente chamado de “Eliminador Automático de Excremento”, segundo Cardão (1972, citado por ERCOLE, 2003).

No interior do Tanque Séptico, a matéria orgânica é consumida pelas bactérias anaeróbias, liberando gás metano, dito como fermentação e gaseificação (ERCOLE, 2003).

O Tanque Séptico possui uma eficiência de aproximadamente 70 % em remoção de matéria orgânica, segundo von Sperling (2005). Em questão de Coliformes, a Fossa Séptica associada a um Filtro Anaeróbio podem remover de 60 a 90 % de patógenos.

A fim de aumentar a eficiência, Anil e Neera (2016) analisaram um Tanque Séptico modificado, com caixas compartimentadas, em formato de câmaras de acrílico onde o efluente é digerido em meio anaeróbio, em seguida direcionado para um reator anaeróbio preenchido com zeólitos modificado com cobre, e por último, a desinfecção. Esse método

conseguiu aumentar a eficiência de remoção de Coliformes, DBO, Sólidos totais, amônia, nitrogênio e fosfato em um período de 72 horas.

Adaptações simples em Tanques Sépticos objetivam o aumento da eficiência de remoção, assim como demonstra a pesquisa desenvolvida por Lin et al. (2017), onde instalaram eletrodos de aço inoxidável, de baixo custo e consumo de energia elétrica, e variaram as temperaturas e as tensões elétricas. A partir deste estudo constataram a remoção de valores acentuados de Fósforo Total e Sulfato das amostras de esgoto.

3.1.2 *Wetlands*

O termo *Wetlands* possui várias denominações: “banhados construídos”, “sistemas solo – planta”, “zonas de raízes”, “leitões vegetados”, “biotratamento de efluentes”, “jardins filtrantes”, mas universalmente é conhecido como “Constructed Wetlands ou “SAC” (Sistemas Alagados Construídos).

Recomenda-se que o meio poroso seja de areia, cascalho ou agregado leve para suportar as macrófitas e ter uma condutividade hidráulica suficiente para transportar água (WHO, 2006).

Gomes (2014) elenca os componentes fundamentais das *Wetlands*: macrófitas aquáticas, substrato e os biofilmes de bactérias. Este último é responsável pela remoção de bactérias e patógenos.

Essa técnica tem sido amplamente discutida no Brasil, principalmente por tratar efluentes advindos de caminhões de limpeza de Tanques Sépticos, banheiros químicos e até mesmo resíduos de graxas. Andrade, von Sperling e Manjate (2017) propuseram em seu experimento com SACs a recirculação de efluente, em sistema de fluxo vertical, com cascalho e grama Tifton-85 (*Cynodon dactylon* Pers) e encontraram problemas ao tentar remover Coliformes Totais e *E. coli*, já que o fluxo do SAC impede a penetração de raios ultravioletas, dificultando a desinfecção. No entanto, a pesquisa demonstrou eficiência do sistema com relação a remoção de DBO, DQO e nitrogênio.

Ao se construir as *Wetlands*, alguns cuidados são necessários, dependendo do objetivo e resultados a serem alcançados, por exemplo: meio de suporte a ser utilizado, tipo de macrófita e qual o fluxo que o sistema terá de entrada e saída do efluente.

Meios de suporte podem ser: brita de diferentes dimensões, areia com granulometria variada, cascalho natural e cascalho lavado.

Na literatura podem ser encontradas as seguintes espécies de macrófitas cultivadas nas *Wetlands*: *Zantedeschia aethiopicum* (SOUZA et al., 2015a); *Hymenachne grumosa* (ZERWES et al., 2015); *Cynodon* spp, *Typha latifolia* (FIA et al., 2015); *Cyperus strigosus* (SECCHI; KONRAD; TONETTO, 2016); *Strelitzia reginae* (MARTÍNEZ et al., 2015).

As *Wetlands* são construídas a partir do fluxo de percolação do efluente pelo meio de suporte e das raízes das macrófitas cultivadas. Há experimentos que contemplam as duas formas de sistemas, e são denominadas de híbridas: fluxo subsuperficial horizontal e fluxo subsuperficial vertical.

3.1.3 Radiação Ultravioleta (UV)

Para garantir que o efluente possua viabilidade agrícola é de fundamental importância eliminar os indicadores de contaminação fecal. Os métodos de desinfecção químicos e físicos são considerados não-térmicos. Quando de ordem física podem ser mecânicos e não-mecânicos, neste último caso é englobado o ultravioleta (YUSAF; AL-JUBOORI, 2014).

Oliveira (2003) aponta ser mais vantajosa a utilização de uma técnica física (radiação UV) do que a química (cloro). Os primeiros métodos de desinfecção eram baseados na cloração, mas apresentavam formações de subprodutos tóxicos e nocivos à saúde, e não garantiam eficácia na eliminação de patógenos mais resistentes. A radiação ultravioleta é um método mais efetivo na eliminação de bactérias, vírus e protozoários em um curto prazo de tempo e em unidades compactas (TINÔCO, 2011).

As doses de radiação variam com a resistência de cada organismo. Doses mais baixas podem eliminar tranquilamente vírus e bactérias, mas não protozoários e ovos de helmintos, segundo Tinôco (2011).

O funcionamento do UV se baseia na radiação eletromagnética, que possui comprimento de onda menor que a luz violeta. Descoberta em 1801 por J.W. Ritter é capaz de alterar aspectos físicos dos patógenos.

As lâmpadas fluorescentes (frias), responsáveis pela emissão de radiação UV possuem em seu interior, um tubo com gás (tipo argônio) e uma quantidade pequena de mercúrio, o tubo possui revestimento de pó de fósforo. Os elétrons passam por esse tubo,

quando a lâmpada é acionada e colidem com os átomos de mercúrio emitindo a luz UV. Esta, por sua vez, é absorvida pelo fósforo, que devolve a luz visível (SALVETTI, 2008).

A radiação ultravioleta é emitida em três bandas: UV-A (320 nm – 400 nm) próxima da luz visível; UV-B (290 nm – 320 nm) utilizada na pele para produção de vitamina D e a UV-C, que corresponde cerca de 260 nanômetros (nm), variando entre 160 nm a 290 nm com princípio germicida (SODRAMAR, 2016).

Na radiação UV os micro-organismos são inativados, devido a um dano ao ácido nucléico, que é responsável pela reprodução e que contém em seu núcleo o ácido desoxirribonucléico – DNA, responsável pela transferência e síntese protéica e o ácido ribonucléico – RNA, o seu “mensageiro”, impedindo assim a replicação dos patógenos. Porém, esses danos ao ácido nucléico não garantem segurança total do efluente a ser submetido a esse processo, que podem reter funções metabólicas e repararem os danos, ocorrendo a Fotorreativação. Esse mecanismo ocorre quando a enzima, após ser inativada pelo UV, fica exposta a uma determinada intensidade de luz, que pode variar entre 310 nm a 490 nm. Essa reparação somente ocorre quando há uma junção de fatores, como tipo de microrganismo, o grau de inativação, o tempo da fotorreativação e as condições nutricionais favoráveis ao patógeno (EPA, 2003).

3.2 Agentes microbianos

O grupo de micro-organismos conhecido como “Coliformes totais” (CT) é indicador de condições sanitárias (higiênicas) e é composto por bactérias Gram-negativas aeróbias ou anaeróbias facultativas não formadoras de esporos, com atividade da β – galactosidase, capazes de fermentar a lactose a 37 °C com produção de ácido acético, gás e aldeído em 24 - 48 horas. São passíveis de crescimento na presença de sais biliares ou outros compostos surfactantes (CETESB, 2013).

O grupo dos CT é vasto e as espécies podem ser consideradas ou não como fecais, pois tanto podem sobreviver no sistema gastrointestinal, como em ambientes naturais. Porém, para a qualidade da água, a presença de CT pode ser um indicativo de grandes riscos à saúde. São detectáveis em procedimentos simples e de baixo custo. Os gêneros mais conhecidos deste grupo são *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* e *Klebsiella* (PAYMENT; WAITE; DUFOR, 2001).

3.2.1 Coliformes termotolerantes

Os Coliformes Termotolerantes representam um subgrupo de CT que fermentam a lactose a 44,5 °C em 24 horas, também na presença de sais biliares e são indicadores de contaminação fecal, devido a sua correlação com as fezes de animais de sangue quente, é um indicador de lançamentos de esgotos. A bactéria mais conhecida deste grupo é a *Escherichia coli*, a qual fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a 44,5 °C a 24 horas, produz indol a partir de triptofano, apresenta oxidase negativa, não hidrolisa a uréia e apresenta atividade de β galactosidase e β glucuronidase. A transmissão da bactéria se dá através do homem, de contato com os animais, alimentos e água contaminada (WHO, 2011).

Presentes em grandes proporções na flora intestinal humana e animal, *E. coli* ao atingir outras partes do corpo podem trazer sérias complicações à saúde, sendo desde a uma simples diarreia à grave hemorragia, insuficiência renal, cólicas abdominais, dores de cabeça, náuseas, vômitos e febre. Nos países em desenvolvimento, a *E. coli* pode ser responsável pela desnutrição, perda de peso e retardamento no crescimento (WHO, 2011).

A contagem padrão de bactérias é essencial no que tange a eficiência dos tratamentos, e vários métodos foram padronizados nacionalmente e internacionalmente a fim de facilitar a identificação destes agentes infecciosos.

Para identificação de Coliformes Totais e *Escherichia coli* em água potável ou efluente bruto/tratado, utiliza-se o método do Colilert[®], considerado prático e reconhecido pela *United States Environmental Protection Agency* (EPA), proporciona a contagem de bactérias através do NMP, conhecido como Número mais Provável de células de bactérias presentes em 100 mL.

Há outras técnicas para essa identificação, que utilizam metodologias convencionais, como tubos múltiplos e membranas filtrantes, consideradas trabalhosas e com grandes possibilidades de erros.

3.3 Usos da radiação UV no tratamento de efluentes

Atualmente, a desinfecção com a radiação UV-C (ação germicida) tem sido aplicada em diversas áreas: laboratórios, fabricação de cosméticos, beneficiamento de alimentos e águas/efluentes para reúso.

Vale ressaltar que o efluente a ser submetido à ação do UV deve ser pré-tratado preliminarmente à sua entrada no sistema de desinfecção, pois as bactérias tendem a se proteger da radiação nos flocos, impedindo assim, a sua inativação e a eficiência do UV (JIN et al., 2013). Por isso que esse processo é tido como terciário, necessitando efetivamente dos demais que são tratamentos: preliminares, primários e secundários.

Outra vertente a ser estudada, além da preocupação com os patógenos, seria o consumo de energia elétrica devido à implantação das lâmpadas UV nas Estações de Tratamento de Esgoto, no entanto, placas fotovoltaicas podem suprir este obstáculo, captando a própria luz solar.

Algumas lâmpadas UV, por ficarem em constante contato com o efluente, exigem manutenções ou até a troca por novas, o que causaria a geração de resíduos a ser destinado corretamente pelas Estações.

Embora o tratamento com UV apresente uma excelente eficiência, há casos onde ocorre a combinação de desinfetantes que, quando somados, inativam mais do que se aplicados separadamente sobre o efluente, havendo um sinergismo.

Medeiros e Daniel (2015) avaliaram o poder de inativação do cloro, da radiação UV e o efeito sinérgico do cloro seguido de UV, sobre os grupos de coliformes totais e *E.coli*. Com esse sistema, o cloro age na membrana plasmática e no citoplasma, tornando mais permeável para o UV atingir, na sequência, o material genético. Os autores concluíram que o efeito sinérgico do cloro com UV é eficiente para patógenos resistentes a esses desinfetantes separadamente, como o caso da *Giardia spp* e *Clostridium perfringens*.

Segundo Araújo et al. (2016) os Processos Oxidativos Avançados (POAs) podem auxiliar no tratamento de efluentes, degradando poluentes pela presença do radical hidroxila e este por sua vez, pode ocorrer pela aplicação da radiação UV (eliminando patógenos).

OS POAs transformam a estrutura química de substâncias orgânicas resistentes aos tratamentos convencionais, tornando-os mais biodegradáveis. É uma associação entre UV e agentes oxidantes fortes, e são de vários fundamentos e aplicações como químicos, fotoquímicos, eletroquímicos, sonoquímicos, sonoeletroquímico e processos baseados em ozônio. Os POAs são capazes de tratar águas residuárias ou efluentes industriais, remover compostos aromáticos, farmacêuticos, pesticidas, metais pesados, ácidos carboxílicos e inclusive os patógenos, como meio desinfetante.

Da mesma forma procede com os ácidos peracéticos (PAA), são oxidantes fortes que em presença da radiação UV, não dependem do pH para a reação, possuem tempo de contato curto e possuem alta eficiência na inativação de patógenos, tanto em águas residuárias, quanto em sintéticas. Apresenta um método mais econômico, pois as doses dos desinfetantes são mais baixas do que se usados separadamente (SOUZA et al., 2015b).

Rizvi et al. (2013) testaram os efeitos de sistemas combinados de desinfecção em efluentes de uma Estação Municipal de Tratamento de Esgoto com Ozônio, UV e Radiação Solar/Peróxido de Hidrogênio e Ácido Acético. A combinação entre os desinfetantes propicia o sinergismo, sendo eficaz no tratamento.

O teste com Peróxido de Hidrogênio e Luz Solar alcançou uma alta eficiência de remoção de patógenos (coliformes totais, *E. coli* e coliformes termotolerantes), com um total de 8 horas de energia, tornando uma possibilidade para povoados afastados da área urbana e conseqüente economia de energia elétrica para o tratamento de águas para a agricultura, tornando o processo menos oneroso (RIZVI et al., 2013).

O tratamento ideal para o efluente depende de seu uso posterior, seja para atender a legislação ao ser lançado em um corpo hídrico ou aplicado em áreas agrícolas, a desinfecção por UV pode ser utilizada nesses dois casos, mesmo havendo limites diferentes para cada situação.

Battistelli et al. (2016) testaram intensidades diferenciadas de radiação UV com amostras de efluente tratado por reator UASB (reator anaeróbico de fluxo ascendente de lodo) e adicionaram um coagulante vegetal, a fim de facilitar a microfiltração por membrana e a desinfecção por UV. A inativação dos patógenos analisados foi satisfatória, sendo maior que o próprio limite de detecção do método utilizado.

Métodos e técnicas de desinfecção por UV continuam a ser discutidas, buscando melhores eficiências de remoção/diminuição da carga patogênica dos efluentes mesmo após o tratamento físico e químico, pois o grupo dos coliformes (coliformes totais, termotolerantes e *E. coli*) podem vir a contaminar um extenso número de indivíduos.

3.4 Reúso de efluentes

O tratamento de efluentes para o reúso na agricultura difere daquele para ser lançado em um corpo receptor, devido ao aporte de nutrientes que se faz necessário às plantas.

De acordo com a literatura, há diversos tipos de reúso: urbanos; agrícolas e florestais; ambientais; industriais; aquicultura e recarga artificial de aquíferos.

Em todos os setores econômicos estão sendo avaliadas as possibilidades para o reúso. A atividade de lavagem de carros e caminhões pode chegar de 200 a 900 L de água para cada automóvel (carros de passeio a caminhões) dependendo da tecnologia utilizada. Devido a quantidade elevada, Subtil et al. (2016) avaliaram o tratamento deste efluente com base em um Contato Biológico Rotativo, e possuindo um enxague ao final da lavagem com água limpa, seria possível reutilizar até 70 % para novas lavagens, o que refletiria numa economia ao lava-rápido de mais de R\$ 2590,00 mensais.

A busca pelo método mais sustentável proporcionou aos pesquisadores (FERNANDES et al., 2015) um experimento com tanino vegetal em um lava-jato de automóveis, para que assim houvesse o reúso da água no próprio sistema do comércio e do lodo, para ser disposto na agricultura. Com isso, constataram a viabilidade da água retornar ao processo e a aplicação do lodo, juntamente com substrato comercial na agricultura.

Outro setor intensivo na utilização de água são as lavanderias, segundo Souza et al. (2016b), estando atento a novas tecnologias, insumos e legislações ambientais há a possibilidade de reúso de 40 a 80 % nessas empresas de lavagens, sendo em áreas hospitalares ou industriais, proporcionando, além dos benefícios ao meio ambiente, uma economia de R\$ 641,60 a R\$ 1.278,00/dia a essas atividades.

Ao comparar valores econômicos de água potável e água de reúso, mesmo em Estados diferentes, a água de reúso é a alternativa mais vantajosa, assim como demonstrou a pesquisa de Araújo, Santos e Souza (2017).

Muitas vezes o efluente se torna rejeito, sendo necessário o destino correto, que por sua vez gera ônus. A proposta de reutilização deste esgoto como agregado para a indústria da construção civil propõe a incorporação de 15 % das cinzas da queima do lodo do efluente na argamassa, tanto no estado fresco, como no endurecido, sem o comprometimento da qualidade (SIMOKA; REIS; BONI, 2016).

Neste mesmo âmbito, Areias et al. (2017) estudaram a agregação de resíduos de Estação de Tratamento de Esgoto como parte da matéria prima utilizada na produção de cerâmica vermelha, conhecida como argila. A pesquisa avaliou as propriedades físicas e mecânicas através das análises de retração linear, absorção de água e resistência a compressão. Os autores concluíram que devido à incorporação do resíduo, houve aumento da

porosidade e rugosidade ao material final, sendo assim, sugere-se a utilização de 2,5 % desse rejeito à massa de cerâmica, a fim de não comprometer a qualidade do material.

Os dejetos da suinocultura no Brasil são um grande problema para o meio ambiente, alvo de extensas contaminações de corpos hídricos, os produtores recorrem a dois tipos de tratamento que auxiliam na biodegradação da matéria orgânica, que são as esterqueiras e os biodigestores. A primeira técnica consiste no armazenamento dos resíduos, e o tratamento anaeróbio por aproximadamente seis meses, após esse período, os resíduos são dispostos em solos, como biofertilizante na agricultura. Os biodigestores fermentam em sistema anaeróbio e produzem biogás e biofertilizantes, reduzindo gastos com energia elétrica (BOSCO et al., 2016).

O reúso de efluentes na agricultura têm se tornado um importante instrumento de gestão racional dos recursos hídricos para áreas agrícolas, devido à escassez de água pelo crescimento populacional, pelo desenvolvimento das atividades econômicas ou até mesmo pela redução da oferta de água (BARROS et al., 2015). Efluentes provenientes da suinocultura com altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes estão sendo empregados na agricultura irrigada como forma de economia dos recursos hídricos e fertilizantes, pois os custos com adubação podem chegar até 50 % do total da produção agrícola (KAMIMURA et al., 2015).

Desde 2008 o Brasil é um dos maiores exportadores de carne bovina, e o consumo elevado de água, juntamente à geração de resíduos do abate são um agravante para o meio ambiente, assim os testes avaliaram a aplicação de ácidos peracéticos (APA) a fim de haver a desinfecção do efluente, a partir de um produto que não apresentasse danos à saúde humana e nem às culturas que recebessem essa água de irrigação. Pesquisadores concluíram que além do APA desinfetar em torno de vinte minutos, e com uma dose de 20 mg L⁻¹ ocorre aumento da oxigenação do efluente e a conseqüentemente redução da DBO (CAVALLINI; SILVA; GONZAGA, 2017).

Esta modalidade, embora usada mais freqüentemente a partir do século XXI, há registros que em países da Europa irrigavam culturas e pastos com dejetos. Isto se perpetuou até por volta de 1904, quando as preocupações com a saúde pública e as transmissões de doenças se tornaram fatores preocupantes (SANTOS, 2010).

Acredita-se que o tratamento de esgoto no Brasil tenha se iniciado por volta da década de 30, contudo, o reúso desse efluente na agricultura teve sua implantação no século

XX. Conforme relatou Silva (2003), em 1985 a OMS (Organização Mundial da Saúde) juntamente com o Banco Mundial, organizaram uma reunião técnica para discutir a questão sanitária e a aplicação desse efluente na agricultura, pois havia uma porção considerável de terras sendo irrigadas com esses resíduos.

Rolin et al. (2016) ressaltaram que a prática do reúso de efluentes na agricultura têm se intensificado devido a pouca disponibilidade de água e o custo elevado de fertilizantes que são empregados neste setor.

No entanto, esta prática ainda possui alguns obstáculos, principalmente na questão legislativa, com a ausência das leis, o reúso deixa de ser difundido, e passa a ser uma opção menos atrativa aos agricultores (ROLIN et al., 2016).

Outro aspecto é a qualidade sanitária deste efluente devido à presença dos organismos patogênicos, que podem causar enfermidades gastrointestinais, crônicas ou agudas, assim como cólera e tifoide (MARTÍNEZ et al., 2015).

Embora esse problema possa diminuir a quantidade de adeptos, pesquisas utilizando efluente doméstico tratado demonstraram estar de acordo com as legislações vigentes em relação aos parâmetros microbiológicos (FEITOSA et al., 2009), mas ainda as características físico-químicas e sensoriais dos frutos irrigados demonstraram alterações significativas, porém, não houve perda de produtividade na cultura dos frutos de melancia.

A tomada de consciência pela disponibilidade reduzida da água está difundida entre a população, principalmente, após os eventos críticos assolarem boa parte do Brasil, a prática do reúso está sendo entendida, valorizada e colocada em prática. Para o setor agrícola, é um importante recurso no âmbito político e de gestão racional da água, no entanto, requer cuidados com relação à cultura a receber o efluente tratado, métodos de irrigação e controle da exposição humana (SANTOS; MATSURA; SANTOS, 2015).

3.4.1 Riscos de salinização e sodificação do solo

O reúso de efluentes na fertirrigação requer ainda muitos estudos. Silva Júnior et al. (2016) alertam que a técnica pode interferir drasticamente no solo, causando a salinização e a acidificação. Os autores concluem que há uma necessidade de monitoramento constante para minimizar perdas de produção, gastos desnecessários com fertilizante e a consequente contaminação ambiental.

O uso deve ser extremamente controlado, para que assim possa se atentar para os nutrientes que serão absorvidos pelas plantas, para que não haja desequilíbrios nutricionais e lixiviação de resíduos (SILVA JÚNIOR et al., 2016).

Há uma quantidade imensurável pelo mundo afora de solos degradados pela salinização, uma das causas é a restrição por recursos hídricos, a outra é o alto teor de sódio combinado com baixos índices de cálcio, reduzindo assim a taxa de infiltração, refletindo na baixa disponibilidade de água às culturas, tornando a agricultura impraticável nessas áreas (SÁNCHEZ; GUERRA; SCHERGER, 2016).

Quiroz (2009) afirma que os sais contidos no efluente podem se acumular na zona radicular, comprometendo a adsorção de água pelas plantas, devido à pressão osmótica. Cada organismo vegetativo possui uma sensibilidade aos níveis de sais, umas mais tolerantes que as outras, provocando estresse hídrico por osmose, essas são conhecidas como plantas halófitas, pois sobrevivem em ambientes salinos.

Há casos em que é necessário a fitorremediação, utilizando-se algumas espécies vegetais específicas que auxiliam nessa recuperação. Porém, ainda há casos que exigem reparos químicos ou até mesmo a lavagem dos solos, mas a última é inviável para grandes áreas.

Para se medir os problemas de Salinidade no solo, a condutividade elétrica é avaliada (deciSiemens por metro – dS m), e para a certificação quanto à Infiltração das águas de irrigação, avalia-se conjuntamente a condutividade elétrica e a RAS (Tabela 1).

As culturas podem ser classificadas quanto a tolerância (Tabela 2) à salinidade, representada pela condutividade elétrica, ou seja, pelo teor de sais presentes. Ao se usar uma água residuária é de extrema importância averiguar este parâmetro.

Tabela 1 - Diretrizes para avaliação da água de irrigação.

Problema Potencial	Grau de Restrição para Uso		
	Nenhuma	Ligeira e moderada	Severa
Salinidade (dS m ⁻¹) afeta a disponibilidade de água para a cultura	<0,7	0,7 – 3,0	>3,0
Infiltração avaliada usando-se CE e a RAS, conjuntamente			
RAS (meq L ⁻¹) 0 – 3 CE (dS m ⁻¹) =	>0,7	0,7 – 0,2	<0,2
3 – 6	>1,2	1,2 – 0,3	<0,3
6 – 12	>1,9	1,9 – 0,5	<0,5
12 – 20	>2,9	2,9 – 1,3	<1,3
20 – 40	>5,0	5,0 – 2,9	<2,9

Fonte: adaptado de Ayers & Westcot (1999)

Tabela 2 - Classificação quanto à tolerância das culturas à salinidade da água de irrigação.

Grupos de tolerância relativa	Salinidade dS m ⁻¹
Sensíveis	< 1,3
Moderamente Sensíveis	1,3 – 3,0
Moderadamente tolerantes	3,0 – 6,0
Tolerantes	6,0 – 10,0
Não adequado para a maioria das culturas	> 10,0

Fonte: adaptado de Ayers & Westcot (1999)

Algumas culturas consideradas sensíveis aos sais podem ter sua produtividade reduzida. Abaixo, na Tabela 3, há algumas culturas de acordo com a classificação mencionada acima.

Tabela 3 - Tolerância relativa à salinidade de algumas culturas.

Tolerantes	Moderadamente Tolerantes	Moderadamente Sensíveis	Sensíveis
algodoeiro, beterraba açucareira, aspargo, tamareira.	capim amarelo, capim sudão, cornichão da folha estreita, cornichão da folha larga, nabo forrageiro, abobrinha italiana, beterraba açucareira, abacaxi, figueira, mamoeiro, oliveira, romãzeira.	amendoim, arroz, cana de açúcar, girassol, milho, aveia forrageira, capim mimoso, centeio forrageiro, milho forrageiro, trevo de alexandria, abóbora, alface, batata doce, batata inglesa, beringela, brócolis, couve, couve de bruxelas, couve flor, espinafre, melancia, melão, pepino, pimentão, pepino, rabanete, repolho tomateiro, videira.	feijão, gergelim, cebola, cenoura, quiabeiro, abacateiro, ameixeira, ameixeira amarela, amoreira, azeitona preta, cerejeira, damasqueiro, bramboesa, laranjeira, limoeiro, macieira, mangueira, maracujazeiro, morangueira, pessegueiro, pereira, tangerineira.

Fonte: adaptado de Ayers & Westcot (1999)

Sodificação na água da irrigação é avaliada pelos teores de sódio, em relação ao cálcio e magnésio, podendo ser representada pelo cálculo da RAS (Razão de Adsorção do Sódio). O excesso de sódio no efluente pode comprometer o crescimento e desenvolvimento das plantas, afetando diretamente a estrutura do solo, pois esse elemento pode se tornar um agente dispersor da argila, criando obstáculos para o sistema radicular (CARLOS et al., 2015).

3.4.2 Nutrientes essenciais às plantas

White e Brown (2010) elencaram 14 elementos essenciais às plantas que estão divididos entre macronutrientes e micronutrientes. Entre os macros estão nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Entre os micros estão o cloro (Cl), boro (B), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), níquel (Ni) e molibdênio (Mo). Há uma necessidade das plantas em absorver os macronutrientes em maiores quantidades.

Os autores também ressaltam a importância dos nutrientes e que a falta de um desses elementos reduz o crescimento e a produtividade das culturas, o que não seria interessante para os agricultores, que sofrem com tantos problemas no campo.

Para cada espécie vegetativa há um balanço nutricional a ser elaborado com base na quantidade de nutrientes e quais serão necessários para que a cultura se estabeleça. Três macronutrientes que são de extrema importância e encontrados no efluente serão observados criteriosamente: Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K).

-N: auxilia no desenvolvimento vegetativo e crescimento foliar e está relacionado com os processos enzimáticos. Quantidades excessivas podem retardar a maturação e provocar rendimentos de baixa colheita. A fixação do nitrogênio depende da associação simbiótica de micro-organismos específicos. Faz parte de aminoácidos, ácidos nucleicos, nucleotídeos e da clorofila. A matéria seca da planta geralmente possui de 2 a 4 % de N, é deslocado no interior da planta através de nitritos e aminoácidos pelo sistema vascular (VIECELLI, 2017).

A deficiência do nutriente reflete na mudança de cores das folhas, deixando-as verde clara a amarela causando desfolha e clorose.

As águas residuárias possuem valores altos de N, alcançando níveis de até 50 mg L⁻¹.

Geralmente as culturas toleram até 30 mg L⁻¹ de N, triguais de pequeno porte suportam altas taxas de N. No entanto, culturas extremamente sensíveis podem ser afetadas com 5 mg L⁻¹, exemplos disso são as culturas de beterraba açucareira, videiras, citros e abacateiro.

Altas concentrações de nitrogênio (pode variar em cada cultura, a depender da sua sensibilidade) podem ser aconselhadas nas primeiras fases da planta, mas podem se tornar maléficas nos períodos de floração e frutificação (Ayers & Westcot, 1999).

-P: as plantas absorvem o fósforo mesmo em pequenas concentrações pela solução do solo que possui alta mobilidade na planta através do xilema e floema. Está presente nos nucleotídeos, ácidos nucleicos e fosfolípidios que estão presentes na síntese do RNA e DNA. Suas principais funções são: armazenamento e transferência de energia e na integridade da membrana celular (VIECELLI, 2017).

Grant et al. (2001) descreveram algumas maneiras de identificar a deficiência de fósforo nas plantas: diminuição na altura da planta, folhas com tamanhos menores, decréscimo do número de sementes produzidas.

-K: vital para o crescimento das plantas, juntamente com P e N, e é através deles que se determina a produção da colheita, é facilmente acumulado em grandes

quantidades pelas raízes das plantas e direcionado até a sua parte aérea, é o cátion mais abundante (GIERTH; MASER, 2007).

O potássio atua na abertura e fechamento dos estômatos, e detém alta mobilidade através de toda a planta, isso é de grande importância, pois facilita o crescimento meristemático, fotossíntese e estado da água. O K aumenta a área foliar e a clorofila, retarda a senescência foliar, assim há um acréscimo da fotossíntese do dossel e crescimento da cultura (VIECELLI, 2017).

3.4.3 Sistema de irrigação com efluente tratado

Os sistemas de irrigação são: aspersão, microaspersão e gotejamento.

Com o gotejamento não há geração de vapores de água, promove redução de ervas daninhas e maior controle da lâmina de percolação (DANTAS et al., 2014), maior eficiência da água, menor consumo de energia elétrica, controle fitossanitário e facilidade com fertirrigação, tornando assim, o sistema mais eficaz para a irrigação com águas residuárias. No entanto, sua principal desvantagem seria o entupimento desses emissores (CUNHA et al., 2017).

Os biofilmes apresentam similaridade a um gel, proporcionando elasticidade e dificultando a sua remoção mesmo com alterações de vazões e forças aplicadas a eles, dificultando sua eliminação até mesmo por produtos químicos (DANTAS et al., 2014).

Mendes, Bastos e Souza (2016) avaliaram em seu experimento com rabanete sendo irrigado com água de reúso tratada pelo sistema de gotejamento superficial, onde o contato seria direto com o solo que recebeu o efluente. Este tipo de sistema apresenta riscos quanto à contaminação dos vegetais, agricultores e consumidores, dessa forma, a cultura em questão não apresentou padrões sanitários ao consumo *in natura*. Porém, não registrou entupimentos dos emissores durante a permanência deste experimento.

Santos et al.(2017) testaram o desempenho da irrigação localizada, considerado mais eficiente na aplicação do efluente e com baixo risco de contaminação das culturas e funcionários. A pesquisa estudou o kit de irrigação conhecido como “*Dripkit*”, implantada para condições de Agricultura Familiar em sistema de gotejamento. Através das análises, comprovaram que após 15 meses de uso ocorreu a obstrução dos emissores devido à formação de biofilme de micro-organismos presentes na água de reúso proveniente do tratamento por Tanque Séptico e SODIS (desinfecção solar).

Freitas et al. (2015) avaliaram o desempenho hidráulico de gotejadores autocompensantes do modelo “*Katif*” de 3,75 L h⁻¹, com a utilização do esgoto doméstico e notaram que a qualidade e tratamento do efluente tem influência direta no tempo necessário para efetuar a limpeza dos emissores com hipoclorito de sódio, que segundo os autores, seria em média, após 60 horas de funcionamento do sistema.

Dantas et al. (2014) avaliaram a aplicação de diferentes qualidades de esgoto doméstico tratado, oriundos de diferentes tratamentos na irrigação de cultura de girassóis por 101 dias, com sistema de gotejamento. As águas foram submetidas ao tratamento com reator UASB (A₁), decanto digestor com filtro anaeróbio (A₂), filtro anaeróbio (A₃) e água potável-testemunha (A₄). Através do monitoramento das vazões concluíram que o sistema requer medições rotineiras, afim de não causar desuniformidades na cultura a partir de 15 dias após a semeadura. Os autores também notaram aumento de produtividade dos girassóis com a irrigação A₂.

A presença de biofilme nos orifícios dos gotejadores pode reduzir a vazão pela metade, comprometendo a produtividade da cultura. Cunha et al. (2017) analisaram o desempenho desse sistema com e sem a presença de autolimpantes ao final da linha e constataram a necessidade da instalação desses itens quando o efluente ou água de reúso possuir concentração de sólidos totais entre 17,7 a 44,8 mg L⁻¹. Esses dispositivos reduziriam os riscos de entupimentos e podem ser encontrados em comércios especializados, e são de baixo custo de implantação para os agricultores.

Para alcançar a eficiência requerida, é fundamental analisar o efluente e a partir disso avaliar o diâmetro da ranhura de cada filtro, sendo entre 40 a 350 Mesh (granulometria) (URBANO, 2013). E ainda assim, há a necessidade de monitoramento constante a fim de não causar perda de vazão e a cultura sofrer com a diminuição da irrigação uniforme.

3.4.4 Legislação sobre o reúso de efluentes na agricultura

O Decreto Estadual 8.468 de 1976 foi pioneiro em estabelecer critérios de lançamentos de efluentes. Por conseguinte, a Resolução CONAMA 357 de 2005 tem o propósito de estabelecer as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Conjuntamente, em 2005, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, através da Resolução nº 54, reconheceu a necessidade do reúso das águas, como prática de conscientização ambiental, racionalização e conservação dos recursos, mediante a escassez

hídrica. Em seu artigo 3º define os usos da água de reúso. Em seu inciso II, há a especificação para fins agrícolas e florestais.

A NBR 13.969 de 1997 recomenda a técnica da irrigação para algumas culturas, como milho, trigo, café e outras frutíferas com água de reúso.

Esta classificação se dá a partir do grau e tratamento do efluente, ou seja, de acordo com a sua qualidade é destinado a um respectivo uso. Enquadrada como classe 4 (NBR 13.696/97), o efluente tratado pode ser destinado aos pomares, cereais, forragens, pastagens para gado e outros cultivos através do escoamento superficial ou irrigação pontual. E estabelece alguns critérios como coliformes termotolerantes (< 5.000 NMP 100 mL) e oxigênio dissolvido ($>2,0$ mg L⁻¹). A norma ainda prevê a necessidade de monitoramento constante para que contaminações ao meio ambiente e transmissões de doenças ao ser humano não ocorram.

Em 1999 a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, através da Norma Técnica P4.230, elaborou um documento intitulado “*Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação: manual técnico*”, onde estabelece critérios e diretrizes para formulação de projetos utilizando efluentes sanitários em áreas agrícolas, estando inclusive em conformidade com as legislações e ainda traz em seu corpo de texto práticas e bibliografias a ser consultada para implantação e desenvolvimento do projeto.

Em 2006, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, através da Resolução 375, também definiu procedimentos, muito similar à Norma Técnica da CETESB de 1999 para o uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgotos.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006) os tipos de Irrigação podem ser organizados em:

-Restrita: culturas que não devem ser ingeridas cruas, ou sem pré-preparo, com o máximo permitido de 10^5 de *Escherichia coli* em 100 mL no efluente tratado e;

-Irrestrita: que podem ser consumidas sem pré-preparo com um total de 10^3 *Escherichia coli* em 100 mL de efluente tratado.

No Brasil, as leis sobre reúso de efluentes ou águas residuárias na área agrícola ainda estão em fase de desenvolvimento. Devido a esta problemática, que se tem levado a consultar aspectos legais de outros países, o que não seria ideal, pois cada local possui suas

especificidades, assim como clima, temperatura, condições sanitárias, produções agrícolas e tantos outros quesitos importantes na determinação do reúso de efluentes na agricultura.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Sistema Piloto de Tratamento de Esgoto Doméstico

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Piloto se encontra instalada e em funcionamento desde 2012 no CCA/UFSCar nas seguintes coordenadas: latitude 22° 18' 53,23" Sul, e longitude 47° 23' 00,91" Oeste; a 701 m de altitude. Com clima tipo Cwa – subtropical e precipitação média anual de 1300 mm (SOUZA et al., 2015a).

A ETE quando projetada, recebia volumes diários de 2000 L de efluente proveniente do refeitório universitário e banheiros do Prédio Central.

Segundo Souza et al. (2015a) a Estação possuía as seguintes unidades de tratamento: Caixa de Gordura, Tanque Séptico, Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente, Tanque de Microalgas e *Wetlands*.

Após análises físico-químicas e bacteriológicas, os autores concluíram que o efluente final possuía potencial agrícola para ser aplicado como água de irrigação, configurado como reúso de efluente tratado.

Porém, os valores apresentados pelo efluente final de coliformes totais e *E. coli* não estavam enquadrados pela legislação pertinente.

Sendo assim, a atual proposta para a Estação Piloto visa o aumento de nutrientes e a redução da carga patogênica. Para isso, as unidades mantidas foram (Figuras 1 e 2):

- ✓ Caixa de Gordura (tratamento preliminar): com capacidade de 24 L e construída em material PVC, sua função é separar materiais grosseiros que, caso adentrem ao sistema, poderiam causar entupimentos;

- ✓ Tanque Séptico (tratamento primário): Construído de acordo com a NBR 7.229/93 (ABNT, 1993) de volume 5,0 m³ (1,723 m de diâmetro e 2,57 m de altura), com tempo de detenção hidráulica de 22 horas;

- ✓ *Wetlands*: tanques de 2,0 m³, divididos em dois (1,64 m de diâmetro x 0,44 m de altura para cada tanque), também conhecido como “Sistema Alagado Construído (SAC)”, retém em suas britas os nutrientes que serão retirados pelas plantas, sendo que sobre esse sistema se cultivou uma espécie de macrófita, conhecida popularmente como Papiro (*Cyperus*);

✓ Sistema Ultravioleta (tratamento terciário): visando a desinfecção física, a lâmpada UV confeccionada em inox, da marca SODRAMAR¹, adequada para a vazão de 18000 L/hora. A luz é emitida em banda UV - C, que corresponde cerca de 260 nm, com vida útil de aproximadamente 7000 horas, totalizando aproximadamente 291 dias. A lâmpada fica protegida pelo tubo de quartzo, a fim de barrar o contato direto com o efluente (SODRAMAR, 2016).

Por se tratar de uma frequência de onda germicida, essa faixa corresponde de 160 nm a 290 nm, algumas literaturas apresentam experimentos com 254 nm (BILOTTA; DANIEL, 2012) e 253,7 nm (HUANG et al., 2013). O tempo de contato pode variar, no entanto, os autores acima utilizaram tempo de contato de 60 segundos a 2 minutos. A lâmpada utilizada nesse experimento (ETE Piloto) possui um tempo indeterminado para desinfecção, pois a Estação está interligada em um fluxo contínuo, não sendo possível que o efluente fique estagnado no interior do UV. Mas sabe-se que o efluente fica em contato com a radiação em questão de segundos.

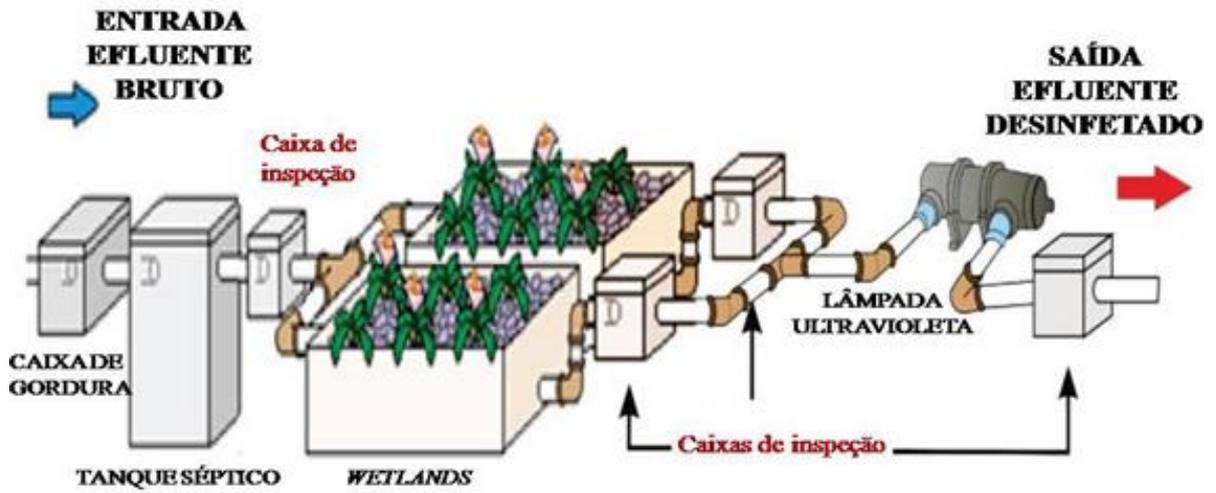
As lâmpadas utilizadas em experimentos possuem potências diferenciadas, e podem ser utilizadas em conjunto, ou seja, com mais de uma unidade para alcançar a eficiência requerida.

As potências de lâmpadas posicionadas em série possuem de 15 W a 75 W, a instalada neste experimento, por ser apenas uma, possui 95 W (SODRAMAR, 2016).

Todas as unidades possuem vedações apropriadas para que não haja contaminações do lençol freático, na Figura 2 apresenta-se o esquema de montagem da ETE Piloto.

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

Figura 1 - Esquema das unidades de tratamento de esgoto da ETE Piloto.



Fonte: Garay e Souza (2015).

Figura 2 - Unidades de tratamento da ETE identificadas.



Fonte: Arquivo pessoal.

4.2 Monitoramento da ETE

As amostras do esgoto bruto e tratado foram coletadas entre os meses de outubro de 2016 a setembro de 2017, no horário das 09h30 às 11h30, sendo acondicionados em recipientes esterilizados e encaminhados imediatamente ao laboratório de Física do Solo e Qualidade de Água, do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental (DRNPA/CCA/UFSCar).

O monitoramento do efluente foi realizado conforme metodologia indicada pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), em triplicata, correspondendo aos seguintes parâmetros:

Análises quinzenais (equipamentos de bancada)

- ✓ oxigênio dissolvido (OD);
- ✓ pH;
- ✓ turbidez e
- ✓ condutividade elétrica (CE).

Análises mensais

✓ Fósforo Total (PT): hidrólise da amostra com solução digestora de Persulfato de Potássio e Tampão Burato a 120⁰C no termobloco digital digestor por 2 horas (BEM; DOMBROSKI, 2016), seguido de reação colorimétrica com molibdato de amônio a 2 mmol L⁻¹ em ácido sulfúrico conforme kit comercial LABORLAB² para quantificação de fósforo inorgânico, com leitura a 340 nm em espectrofotômetro HACH² DR 5000;

✓ Nitrogênio Total (NT) e Carbono Orgânico Total (COT): quantificados em analisador TOC-LCPN SHIMADZU², através de oxidação catalítica térmica, após filtração das amostras à vácuo e Papel Filtrante Qualy² com diâmetro de 12,5 cm, gramatura 80g m² e maioria dos poros de 14 µm da fabricante J.Prolab²;

✓ Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg): o efluente foi filtrado (Papel Filtrante Qualy²) e posteriormente analisado em espectrofotômetro de absorção/emissão atômica PerkinElmer², modelo AAnalyst 400. Para uma melhor determinação dos parâmetros foi adicionado Lantânio a fim de não formar compostos instáveis termicamente;

² Referência à marca registrada não constitui endosso por parte dos autores.

✓ Potássio (K) e Sódio (Na): após filtragem, foram medidos através do Fotômetro de Chama da marca Digimed³, modelo DM-62, onde as amostras líquidas são convertidas em gases, decompondo os átomos e as moléculas e excitando eletricamente as moléculas restantes;

✓ Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*): O método enzimático do Colilert® consiste na tecnologia do substrato definido. Para identificação de Coliformes Totais as bactérias desse grupo utilizam a β-galactosidase, metabolizam o indicador de nutriente, alterando a aparência da água ou efluente diluído, da tonalidade incolor para amarelo escuro que são conferidos a olho nu. Para *E. coli*, é utilizado a β-glucuronidase para metabolizar e criar fluorescência que só podem ser conferidas no comprimento de onda de 254 nm com câmaras ultravioletas (IDEXX, 2016).

Imediatamente ao efluente ser coletado, iniciava-se a preparação das diluições. Para isso, as amostras eram diluídas em água Mili-q autoclavada (120 °C) totalizando um volume final de 100 mL.

As amostras tiveram seu volume previamente testado, de acordo com as unidades de tratamento: 1 µL (efluente bruto), 10 µL (saída Tanque Séptico), 1 mL (após *Wetlands*) e 10 mL (saída UV). As diluições foram de extrema importância, pois a técnica contabiliza valores de até 2419 bactérias em 100 mL, caso ocorressem altas ou baixas frequências de coliformes, seria impossível a contagem dos poços na cartela.

Após isso, era adicionado o substrato cromogênico, sendo este dissolvido e colocado em cartelas constituídas de 49 e 48 poços grandes e pequenos, respectivamente.

Eram seladas termicamente e incubadas a uma temperatura de 35 °C por 24 horas. Para o resultado em NMP, os poços eram contados (pequenos e grandes) e consultados na tabela do próprio kit Colilert, descrita também no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

As análises foram realizadas nos Laboratórios de Física do Solo e Qualidade de Água; Microbiologia Aplicada (LABMAC); Materiais Poliméricos/Biossorbentes e Fertilidade do Solo do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

³ Referência à marca registrada não constitui endosso por parte dos autores.

A Eficiência para cada parâmetro, inclusive para a desinfecção por UV, foi calculada a partir do percentual da diferença entre as médias de entrada e saída de cada unidade de tratamento. Como pode ser observada na Equação 1 (VON SPERLING, 2005):

$$E \equiv \frac{C_e - C_s}{C_e} \times 100 \quad [1]$$

em que:

E= Eficiência de Remoção (%);

C_e= concentração na entrada;

C_s= concentração na saída.

A Razão de Adsorção de Sódio (RAS) é utilizada a fim de avaliar o risco de sodificação em águas de irrigação. É definida como a raiz quadrada da proporção do sódio (Na) para cálcio (Ca) mais o magnésio (Mg). Para tanto, definiu-se a Equação 2 (LESCH; SUAREZ, 2009)

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{Ca + Mg}} \quad [2]$$

em que:

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

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

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

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

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A eficiência da Estação Piloto foi calculada a partir dos valores médios dos parâmetros da entrada e saída de cada unidade (Tabela 4), durante 12 meses de monitoramento, sendo 12 coletas mensais e 23 quinzenais. Considerou-se a entrada, o esgoto bruto, antes da caixa de gordura e saída o efluente tratado e desinfetado, após a lâmpada UV.

Tabela 4 - Valores médios do efluente bruto (Entrada) e do efluente tratado (Saída) dos parâmetros de monitoramento e eficiência de remoção.

Parâmetros	Entrada	**V %	Saída	**V %	Eficiência (%)
pH	6,8	6,3	6,4	4,8	---
Turbidez (NTU)	87,3	118,8	2,7	64,3	96,9*
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	639,5	61,9	444	38,4	30,6*
OD (mg L^{-1})	3,3	65,1	6,5	17,6	98,5
Na (mg L^{-1})	8,2	53,7	10,3	134,2	26,7
K (mg L^{-1})	49,4	137,7	15,7	134,4	68,2*
Ca (mg L^{-1})	13,5	29,4	16,6	51	22,9
NT (mg L^{-1})	23,4	99,9	10,7	109,6	54,1*
PT (mg L^{-1})	5,6	61,9	3,6	203,5	36,1*
Mg (mg L^{-1})	10,3	65,5	8,8	48,6	14,6*
COT (mg L^{-1})	60	75,5	23,6	55,6	60,6*
CT (NMP 100mL⁻¹)	4,7x10 ⁷	Não se aplica	8,8x10 ³	Não se aplica	99,98*
<i>E. coli</i> (NMP 100mL⁻¹)	2,6x10 ⁷	Não se aplica	6,1 x10 ²	Não se aplica	>99,99*

CE = condutividade elétrica; OD= oxigênio dissolvido; Na = sódio; Ca = cálcio; NT = nitrogênio total; PT = fósforo total; K = potássio; COT = carbono orgânico total; Mg = magnésio; CT = Coliformes Totais.

*Eficiência de remoção do parâmetro, ou seja, quanto foi reduzido durante as unidades de tratamento.

**V = Coeficiente de variação

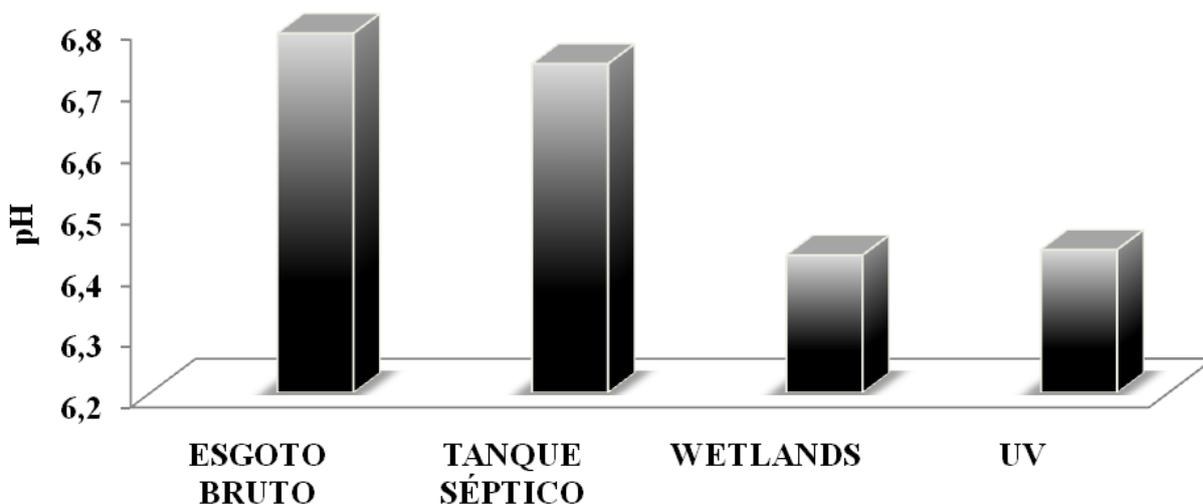
O efluente doméstico da Universidade possui particularidades uma vez que sua carga e composição é dependente da frequência de alunos e funcionários no *Campus*, considerando que entre os meses de julho/agosto e dezembro/janeiro ocorrem períodos de férias. Esta Variabilidade (V) representa a distribuição dos dados.

A V de determinados parâmetros na entrada da ETE apresentaram valores mais elevados, no entanto, alguns parâmetros como Na, Ca e PT sofreram processo inverso, possuindo V alta na saída da ETE, a causa mais provável seria o aporte desses sais/nutriente no efluente ao passar pelas unidades de tratamento.

Mesmo nos casos em que a V de saída do efluente final se apresentou baixa, há um indicativo de estabilidade do sistema de tratamento, apresentando faixas estreitas e com menor variação, se comparado com o efluente bruto (entrada).

O reúso na agricultura exige que os efluentes apresentem um pH que não influencie negativamente no desenvolvimento das culturas agrícolas. Nesse sentido, o efluente bruto apresentou médias de 6,8 na entrada e 6,4 na saída (Figura 3), sendo que a variação mais notável foi após o efluente sair das *Wetlands*. Colares e Sandri (2013) também observaram em suas pesquisas com leitos cultivados, o decréscimo do pH, concluindo que as bactérias produzem ácidos orgânicos em decorrência da degradação anaeróbia da matéria orgânica, ocorrendo assim uma acidificação discreta do efluente. Martínez et al. (2015) descreve que o pH para reúso na agricultura deve estar entre 5 a 6,5, para facilitar a absorção de nutrientes pelas plantas.

Figura 3 - Declínio do pH, após as *Wetlands*.



De acordo com a recomendação internacional o pH para reúso na agricultura deve estar entre 6,5 a 8 (WHO, 2006). De acordo com von Sperling (2005), os esgotos sanitários apresentam valores de pH entre 6,7 a 8, sendo o mais típico de ser encontrado em torno de 7.

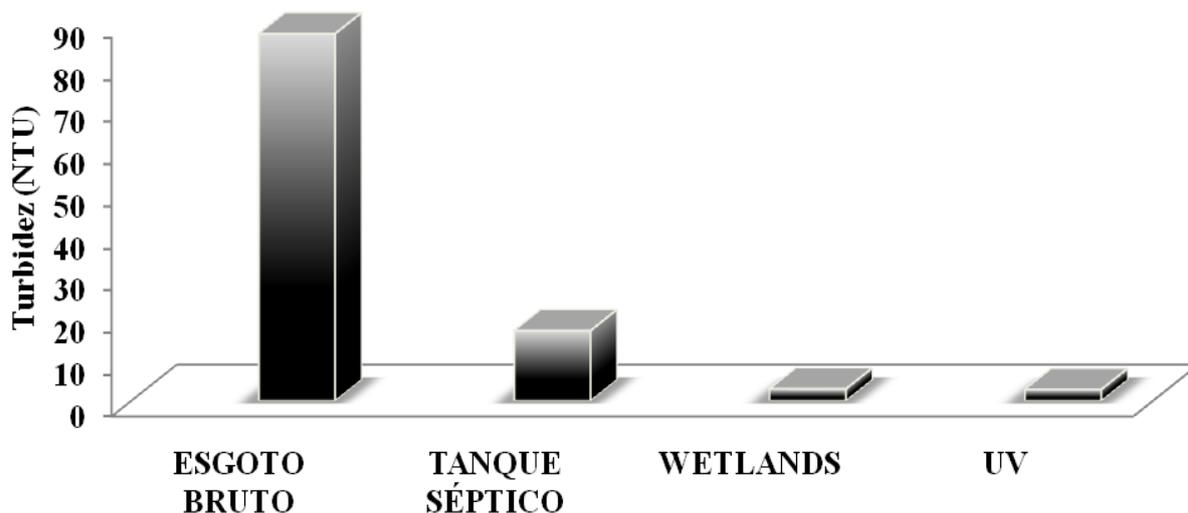
Em seu experimento com água de reúso, Urbano et al. (2015) analisaram as propriedades físicas e químicas de um solo irrigado com água de reúso e o cultivo de alface. O efluente tratado era proveniente de um sistema contendo Caixa de Areia, Reator Anaeróbio e ao final, Zonas Húmidas (SACs). O experimento teve o grupo controle, irrigado com água destilada. Aplicaram-se efluente tratado com pH na faixa de 6,9 ao solo e o mesmo não causou alterações e nem mesmo notou-se diferenças no solo e nem em comparação com o teste controle.

Dessa forma, o efluente da ETE Piloto demonstrou estar de acordo com as literaturas acima citadas e não apresenta qualquer restrição de reúso na agricultura.

A Estação apresentou uma redução de 96,9 % da turbidez, partindo de 87,3 NTU em média na entrada para 2,7 NTU na saída (Figura 4). Souza et al. (2015a) encontraram resultados em torno de 95 % de remoção de turbidez na Estação de Tratamento de Esgoto configurada com Caixa de Gordura, Tanque Séptico, Tanque de Microalgas, Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente e *Wetlands*.

Apesar da discreta diferença encontrada pelo autor acima, o Tanque de Microalgas era o responsável pelo aumento da turbidez ao efluente.

Figura 4 - Redução de Turbidez notável após as *Wetlands*.



A variação deste parâmetro pode ser visualizada na Figura 5.

Figura 5 – Aspecto da Turbidez das amostras nas diferentes etapas de tratamento do efluente.



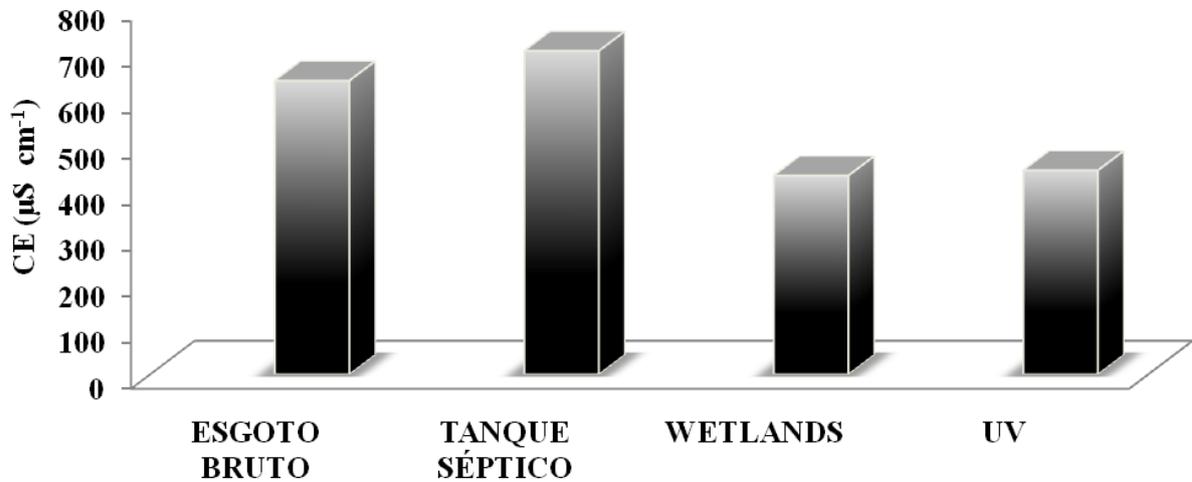
EB: esgoto bruto; TS: após Tanque Séptico; W: após *Wetlands*; UV: após UV

Fonte: Arquivo pessoal.

Na saída do Tanque Séptico a turbidez apresentou remoção de 80,9 %, após *Wetlands* alcançou 83 %. Colares e Sandri (2013) encontraram valores inferiores com relação ao Tanque Séptico de 37,8 %, para os sistemas cultivados alagados as médias encontradas se aproximaram das observadas na ETE, com taxas de 66,9 a 82,5 %, o que demonstra uma excelente remoção de sólidos em suspensão do Tanque Séptico e *Wetlands* da ETE Piloto.

A condutividade elétrica (CE) teve um aumento de 10 % na saída do Tanque Séptico (Figura 6) por tratar-se da unidade com maior concentração de sais, sendo que os valores variaram de 639,5 a 704,2 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Souza et al. (2015a), encontraram um aumento da CE de 36,3 % do início ao fim da ETE, e afirmaram que o principal motivo seria a elevação de sódio (143,7 %), cálcio (23 %) e potássio (10 %) nas unidades que possuem britas. Ao contrário do autor acima, a ETE Piloto teve uma eficiência de redução da CE de 30,6 %, onde o teor de cálcio se manteve (22,9 %), o de sódio se apresentou apenas com 26,7 % e o potássio reduziu em 68,2 %. A própria redução do sódio, pode ser explicada pela desassociação de unidades de tratamento, ou seja, devido à diminuição de britas, da detenção hidráulica do esgoto na estação e dos valores menores de matéria orgânica.

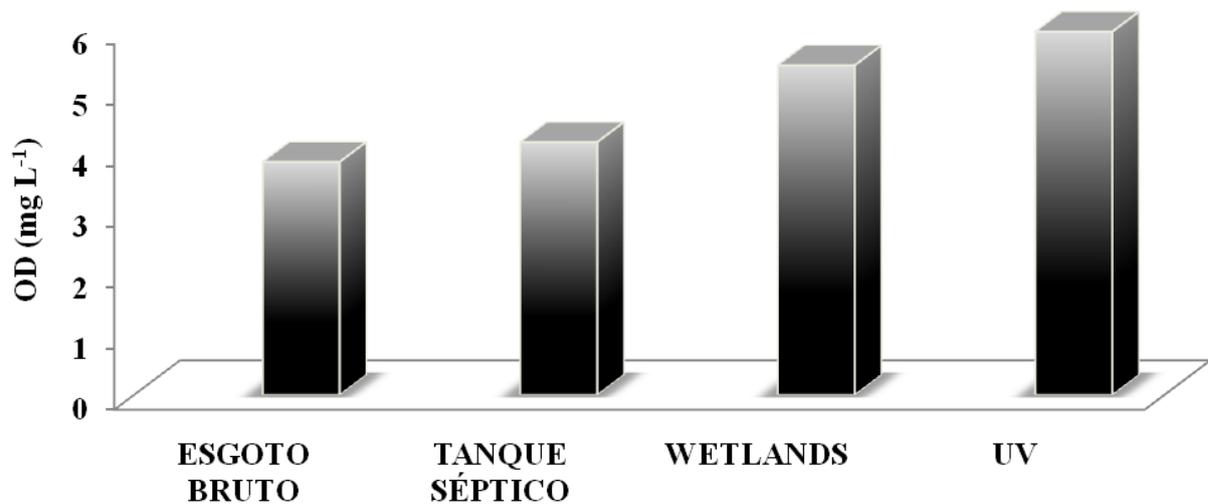
Figura 6 – Aumento de CE após Tanque Séptico e diminuição após as *Wetlands*.



Segundo Rolim et al. (2016), o efluente que apresenta CE próxima de $1200 \mu\text{S cm}^{-1}$ e $\text{RAS } 4 (\text{mmolc L}^{-1})^{1/2}$ é classificado com risco moderado, podendo provocar salinização do solo e reduzir a taxa de infiltração. Sendo assim, pode-se afirmar que perante a CE o efluente em questão não apresenta esse risco.

O teor de oxigênio dissolvido (OD) teve uma média de entrada de $3,3 \text{ mg L}^{-1}$ e na saída de $6,5 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 7) totalizando uma elevação na oxigenação do efluente de 98,5 %. Souza et al. (2015a) ao avaliarem o OD na ETE Piloto com outra configuração (Caixa de Gordura, Tanque Séptico, Filtro Anaeróbio, Tanque de Microalgas e *Wetlands*) encontraram apenas 31 %.

Figura 7 - Oxigênio Dissolvido após cada unidade de tratamento.



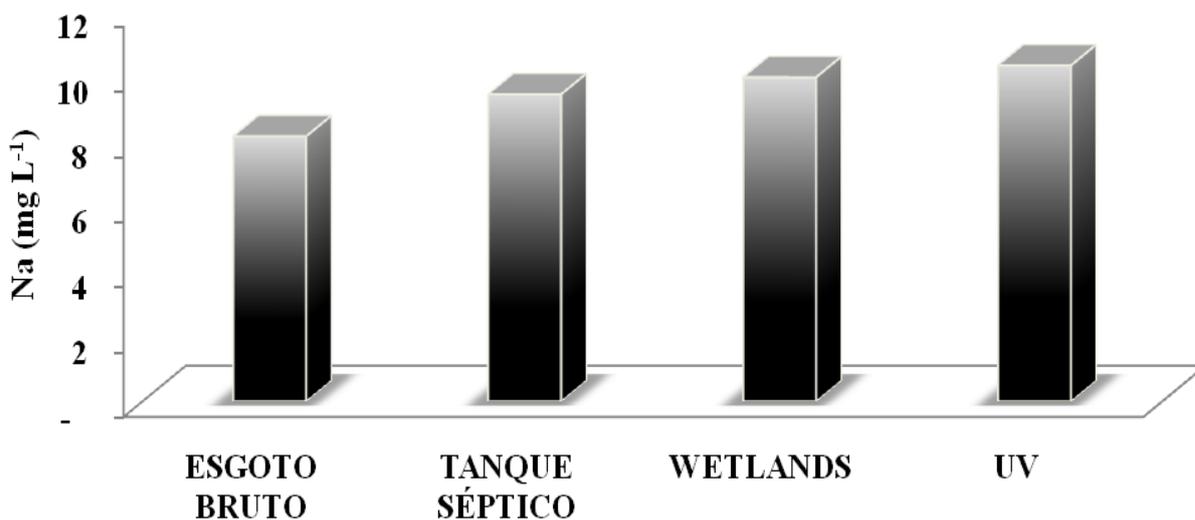
As macrófitas presentes nas *Wetlands* captam o oxigênio presente no ar e transferem para a zona radicular, propiciando um aumento de micronichos aeróbios no meio suporte dos SACs e favorecendo a formação de biomassa aeróbia das macrófitas presentes (BARRETO; VASCONCELLOS; VON SPERLING, 2015).

Sendo assim, o maior aumento de OD foi registrado na saída do sistema alagado, com 42,7 %. Outro fator importante é o declive do terreno da ETE, que proporciona movimento ao efluente, já que a ETE possui um declive de 5 cm em cada unidade de tratamento em relação à subsequente, permitindo o fluxo através da gravidade..

Considerando a recomendação da NBR 13.969/97, o teor de OD deve ser superior a 2 mg L⁻¹ para que o efluente possa ser aplicado na agricultura. Sendo assim, de acordo com os resultados, o efluente da ETE encontra-se adequado em termos de oxigênio para essa aplicação.

O sódio (Na) apresentou médias de entrada de 8,2 mg L⁻¹ e médias de saída de 10,3 mg L⁻¹, apontando um acréscimo de 26,7 %, esses resultados podem ser conferidos na Figura 8. O maior aumento foi observado na saída do Tanque Séptico com taxas de 15,8 %. Após as *Wetlands* o incremento foi menor, apenas de 5,5 %.

Figura 8 – Aporte de Na nas unidades de tratamento da ETE.



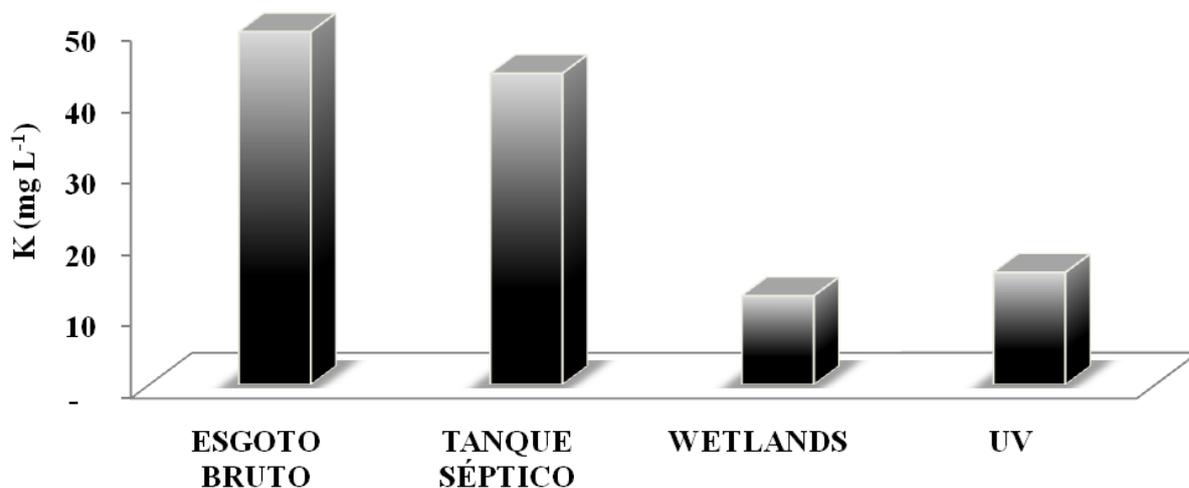
Souza et al. (2016a) analisaram a remoção de nutrientes em SACs de águas residuárias de suinocultura utilizando-se as gramíneas *Cynodon spp.*, híbrido Tifton-85, *Paspalum vaginatum* e *Brachiaria mutica* e também demonstraram aumento na concentração de Na de 7 a 19 % após o tratamento com *Wetlands*.

Urbano et al. (2015) simularam a irrigação de 5 ciclos de cultivo da alface em solo e avaliaram as propriedades físicas e químicas após a irrigação. Estes autores reportaram que, mesmo o teor de Na estando acima do permitido para uso como água de irrigação (valor de $53,7 \text{ mg L}^{-1}$), não houve acúmulo do nutriente à medida que o efluente percolou pelo solo, não apresentando riscos de dispersão da argila.

Os efeitos do reúso de efluentes nas culturas agrícolas e no solo pelo excesso de sódio podem ser quantificados pela RAS. Nesse sentido, Ayers & Westcot (1999) estabeleceram os seguintes critérios para RAS no caso de irrigação por superfície: Nenhum risco ($<3 \text{ mmol L}^{-1}$); risco ligeiro/moderado (de 3 a 9 mmol L^{-1}) e severo ($>9 \text{ mmol L}^{-1}$). Sendo assim, caso o efluente da ETE Piloto fosse usado na irrigação por sistema de superfície ele não representaria risco, pois o efluente final apresentou concentrações médias de $10,3 \text{ mg L}^{-1}$ de sódio e RAS de $0,5 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$.

A eficiência geral de remoção do potássio (K) da ETE Piloto, desde a entrada, com $49,4 \text{ mg L}^{-1}$ até a saída com $15,7 \text{ mg L}^{-1}$, foi de 68,2 %. A unidade onde houve maior redução foi nas *Wetlands*, com 71,4 % (Figura 9).

Figura 9 – Eficiência de redução do K após as *Wetlands*.



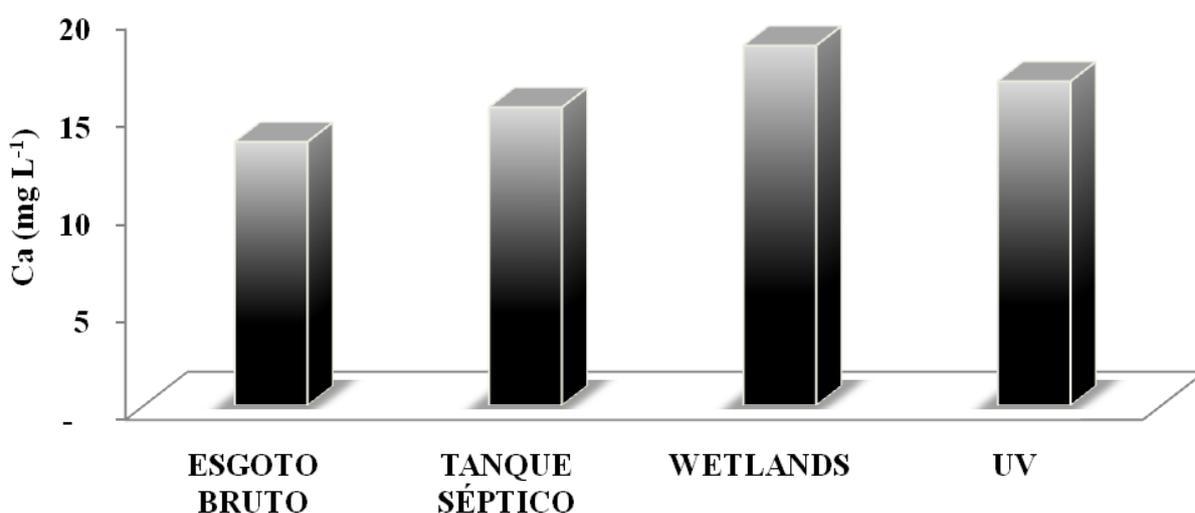
Souza et al. (2016a) encontraram resultados diferentes quando aplicaram águas residuárias de suinocultura em SACs. Não obtiveram remoção de K, mas sim um incremento de 49 % ao efluente final. O autor menciona que as gramíneas usadas no experimento necessitaram de pequenas quantidades deste nutriente, associado com a perda de água por evapotranspiração causaram o acúmulo no efluente.

Ayers & Westcot (1999) estabeleceram um limite de até 2 mg L⁻¹ para águas destinadas à irrigação, sendo assim, o valor do efluente final da ETE apresenta restrições quanto ao K.

Altas concentrações de K na água de irrigação podem apresentar problemas de perda de água das plantas, pois ele é o responsável pela abertura e fechamento dos estômatos, reduzindo assim a transpiração, prejudicando o crescimento e na absorção de outros nutrientes essenciais à planta, como no caso do cálcio, magnésio, boro, zinco, manganês e amônio (VIECELLI, 2017; FIA et al., 2015).

O cálcio (Ca) teve aumento de 22,9 % desde a entrada (13,5 mg L⁻¹) até a saída (16,6 mg L⁻¹) mesmo passando pelas unidades de tratamento, sendo que a sua maior contribuição para essa elevação foi após o efluente adentrar ao sistema das *Wetlands* (Figura 10). Este aporte de Ca também foi analisado por Souza et al. (2015a), sendo que a maior contribuição também foi nas *Wetlands*. Uma das causas mais prováveis seria o acúmulo de efluente em estágios que possuem brita, causando a elevação deste cátion.

Figura 10 – Aporte de Ca após as *Wetlands*.



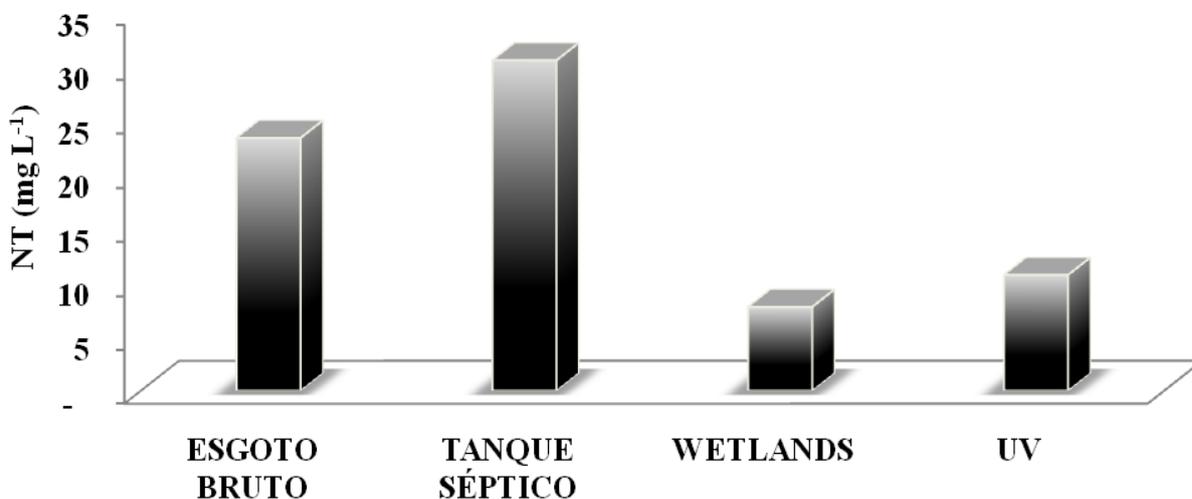
Fia et al. (2017) observaram em seu estudo com SACs e espécies vegetais taboa e capim tifton – 85 que a taxa de Ca poderia ter tido uma remoção maior, pois é considerado elemento essencial ao desenvolvimento da planta.

Contudo, o parâmetro, assim como avaliado pelos autores acima, não possui altas taxas de eficiência de remoção nas *Wetlands*.

Ayers & Westcot (1999) através de pesquisas encontraram valores adequados para a água de irrigação, no caso do Ca seria um limite de até 10 mmol L^{-1} , de acordo com o efluente final, que seria $0,41 \text{ mmol L}^{-1}$, a taxa em questão não apresentaria riscos na irrigação.

Os resultados da ETE Piloto apresentaram uma média de entrada para nitrogênio total (NT) de $22,4 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 11). O efluente obteve uma redução de 74 % nas *Wetlands*, considerando apenas a eficiência individual de cada unidade de tratamento. Esta alta eficiência de redução nas *Wetlands* pode estar associada aos processos de nitrificação-desnitrificação, comumente presentes nestas unidades (SOUZA et al., 2016a).

Figura 11 – Eficiência de remoção do NT após as *Wetlands*.



No efluente final, o teor de NT foi de $10,7 \text{ mg L}^{-1}$, correspondendo a uma eficiência total de remoção de 54,1 %.

Resultado similar foi encontrado por Matos; Brasil e Lo Monaco (2013) com eficiência de remoção de 26 a 57 % de NT, em seu experimento com remoção de poluentes do efluente em sistemas alagados construídos de escoamento horizontal e subsuperficial, com cultivo de taboa e efluente proveniente de um tratamento primário de Tanque Séptico.

Fia et al. (2017) testaram taxas de carregamento de nitrogênio de águas residuárias de suinocultura, e constataram que valores acima de $3 \text{ a } 40 \text{ Kg ha}^{-1}\text{d}^{-1}$, prejudicam os processos de nitrificação e desnitrificação, diminuindo a eficiência de remoção para 37 a 40 %.

No entanto, Ayers & Westcot (1999) estabeleceram limites de nitrato-nitrogênio de até 10 mg L^{-1} . Segundo esses autores, as culturas sensíveis poderão ser afetadas

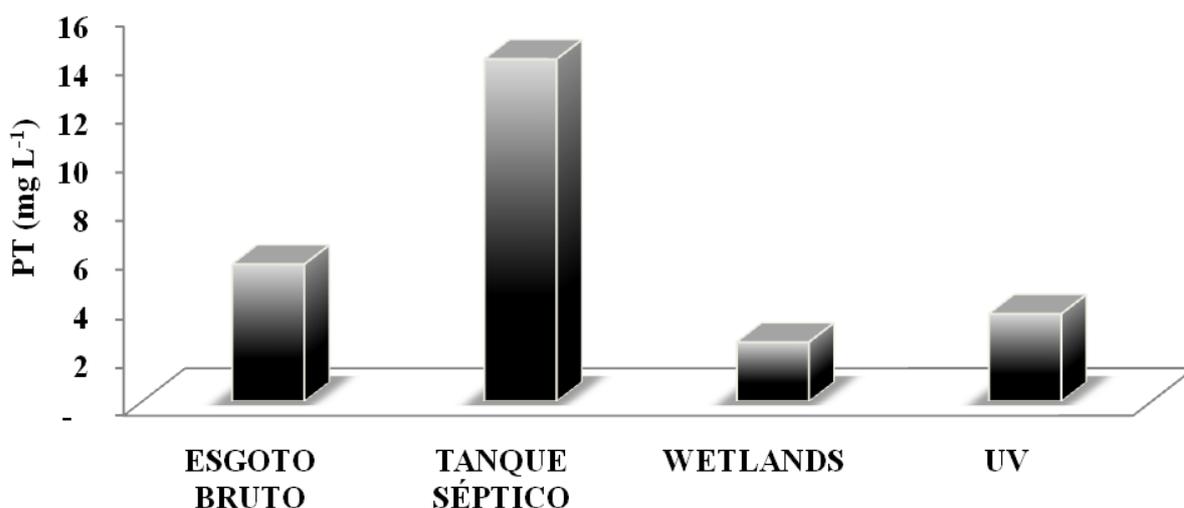
por concentrações maiores que 5 mg L^{-1} , sendo que a maioria das culturas só sofrem com excessos do NT acima de 30 mg L^{-1} . Este excesso pode prolongar período vegetativo e ocorrer diminuição da quantidade e qualidade das culturas.

Sendo assim, o valor de NT ($10,7 \text{ mg L}^{-1}$) não apresenta riscos quanto à sua aplicação nas culturas consideradas mais tolerantes, mas para outras consideradas sensíveis requer atenção.

A concentração encontrada nos efluentes de fósforo total (PT) pode variar entre 5 a 25 mg L^{-1} (VON SPERLING, 2005). O efluente da ETE apresentou uma média de entrada de $5,6 \text{ mg L}^{-1}$, considerada inferior ao limite de concentração esperada nos esgotos sanitários.

A maior taxa de redução de PT na ETE Piloto foi registrada nas unidades *Wetlands* com uma eficiência de remoção de 82,7 % (Figura 12). Mendonça et al. (2012) avaliaram o comportamento de nitrogênio e fósforo em sistemas alagados construídos com águas residuárias de laticínios cultivados com taboa/lírio do brejo e grupo controle (leito não cultivado), e encontraram taxas de 18,6 a 34,3 % de redução de PT.

Figura 12 – Remoção do PT após as *Wetlands* e aporte do nutriente após o UV.



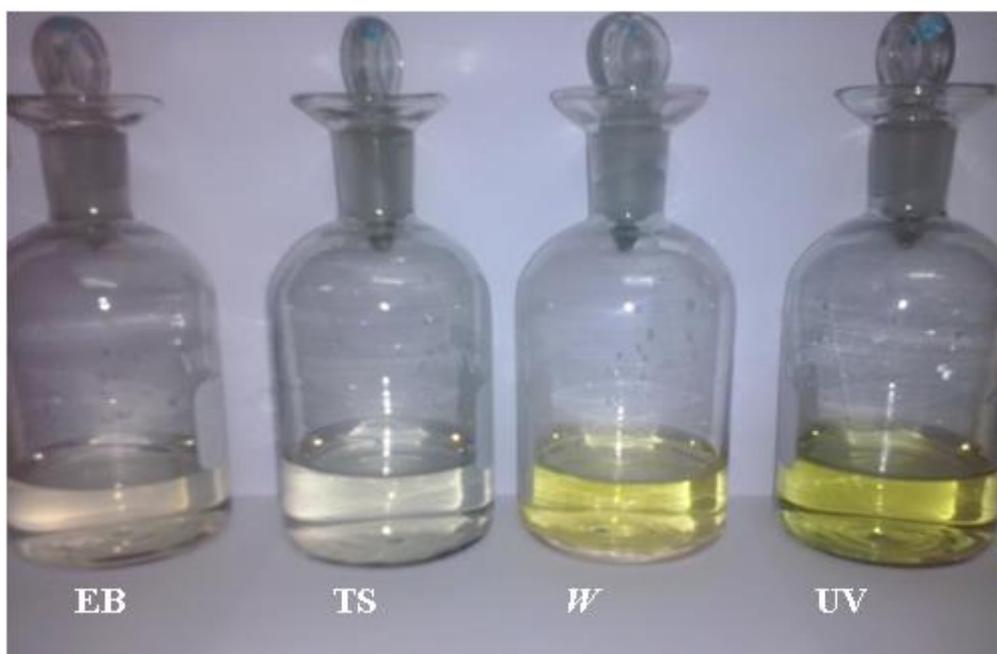
A ETE Piloto apresentou eficiência total de remoção de 36,1 % de PT. De acordo com Souza et al. (2015a) a Estação composta por Tanque Séptico, Filtro de Fluxo Ascendente, Tanque de Microalgas, e *Wetlands* removia cerca de 81,2 % desse nutriente do efluente doméstico. Nota-se que a alteração das unidades de tratamento promoveu menor remoção de PT, o que torna o efluente final ainda mais atrativo para o reúso agrícola.

No entanto, após a incidência da radiação UV sobre o efluente, houve um

aporte de PT elevando os valores de 2,4 mg L⁻¹ a 3,6 mg L⁻¹, representando 50 %. Esta elevação nos teores de PT pode estar associada com organismos acumuladores de fosfato presentes em efluentes sob condições de anaerobiose e aerobiose. Algumas dessas bactérias são do gênero *Candidatus Accumulibacter phosphatis* e *Tetrasphaera* (*Actinobacteria*). As microalgas também possuem o mesmo princípio, transformando o fósforo durante o metabolismo respiratório e fotossintético. Esta conversão está diretamente associada com a síntese celular, com os nucleotídeos e ácidos nucleicos (MARONEZE et al., 2014). Ao sofrer a ação da radiação ultravioleta, estes micro-organismos, podem ter apresentado uma desagregação do material genético, onde o fósforo estaria absorvido intracelular. Assim, ao sofrer a lise celular pelo UV, o nutriente se mostrou disponível e detectável nas análises químicas do efluente final.

A Figura 13 demonstra o aumento da coloração esverdeada após o sistema UV.

Figura 13 - Coloração devido à presença de microalgas, após precipitação.



EB: esgoto bruto; TS: após Tanque Séptico; W: após *Wetlands*; UV: após UV

Fonte: Arquivo pessoal.

Nota-se que essa coloração é ocasionada pela presença de microalgas existentes na *Wetlands* após a ocorrência de precipitação pluviométrica, onde os tanques de macrófitas ficaram saturados e com lâmina de água estagnada.

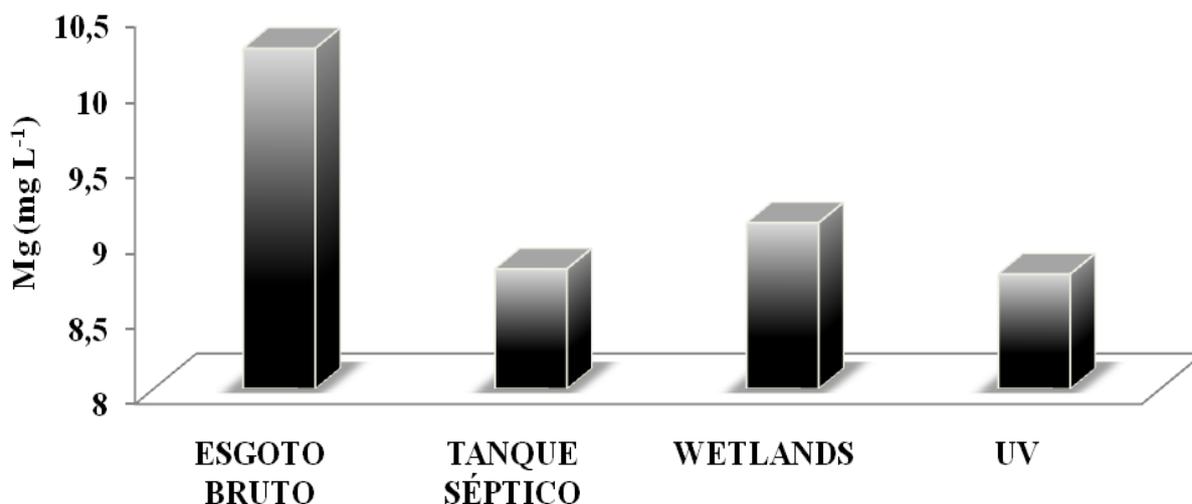
Vale ressaltar que a presença destes micro-organismos nesta unidade de tratamento é comum, visto que são eles que auxiliam na biodegradação da matéria orgânica ainda presente. Souza et al. (2015a) ao instalar um Tanque de Microalgas, notaram que o efluente de tonalidade marrom claro, era alterado para verde escuro, ao entrar em contato com as microalgas presentes na unidade de tratamento.

Ayers & Westcot (1999) especificaram limites de alguns nutrientes adequados para a água de irrigação, no caso do fósforo, seria de 0 – 2 mg L⁻¹.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, os teores de fósforo entre 6 a 20 mg L⁻¹ promove aumento da produtividade da cultura, valores que ultrapassem, reduz a disponibilidade de cobre, ferro e zinco em solos alcalinos (WHO, 2006).

A concentração de magnésio (Mg) teve uma média de entrada de 10,3 mg L⁻¹ e média de saída de 8,8 mg L⁻¹, com eficiência de remoção total na ETE de 14,6 % (Figura 14).

Figura 14 – Remoção de Mg após Tanque Séptico e aumento após as *Wetlands*.



Segundo Ayers & Westcot (1999), pode-se inferir que as águas de irrigação com excesso de magnésio (Ca/Mg <1) podem produzir sintomas de deficiência nas plantas, caso não haja no solo suficiente cálcio para contrabalancear seus efeitos.

Os autores acima relatam que ainda não há dados experimentais para recomendar essa relação como avaliação da água de irrigação, mas que essa desproporcionalidade pode provocar problemas de nutrição. Porém, é aconselhável análise específica do solo a fim de verificar se há valores suficientes de Ca solúvel disponível para planta ou então empregar técnicas de corretivos ou fertilizantes.

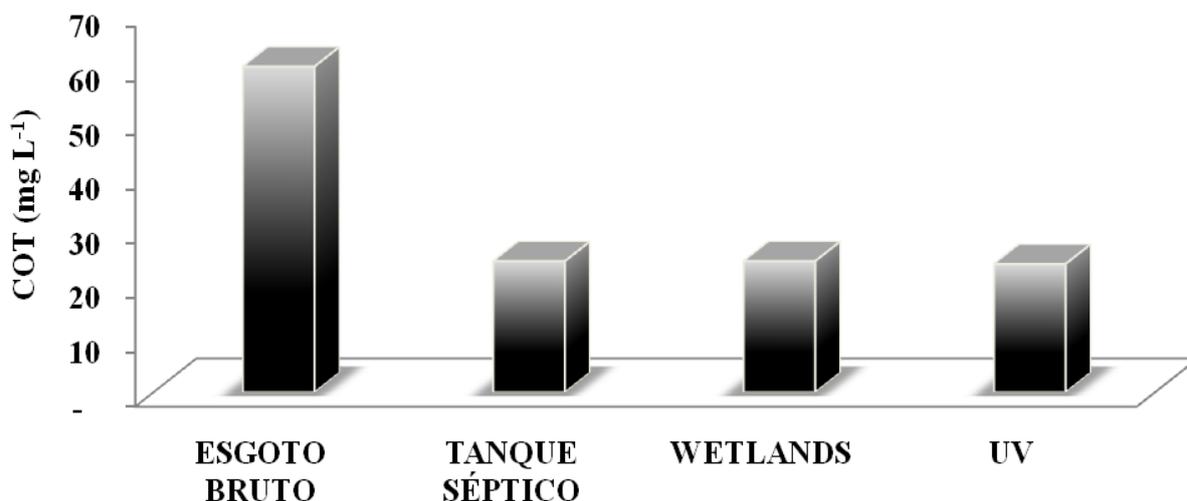
Exemplo disso pode ter ocorrido no experimento de Urbano et al. (2017) onde detectaram deficiência de Ca e Mg nos cultivos de alface com água residuária de esgoto. Segundo os autores esse problema poderia ter sido facilmente sanado caso tivessem realizado no solo, a calagem antes do plantio.

A recomendação para aplicação de água na irrigação é de que não se ultrapasse a margem de 100 mg L⁻¹ de magnésio (AYERS & WESTCOT, 1999).

Sendo assim, pelo valor estipulado acima, o efluente final da ETE Piloto não apresentaria risco à cultura, no entanto, é necessário atenção quanto a relação entre Ca/Mg, da água de irrigação e solo.

A eficiência total de remoção de COT da entrada (60 mg L⁻¹) até a saída (23,6 mg L⁻¹) foi de 60,6 % (Figura 15).

Figura 15 – Eficiência de remoção de COT após tratamento no Tanque Séptico.



Somente na saída do Tanque Séptico a remoção foi de 59,8 %, devido à biodegradação da matéria orgânica. Após esse processo, o efluente praticamente manteve-se com a mesma média, até a saída da ETE Piloto.

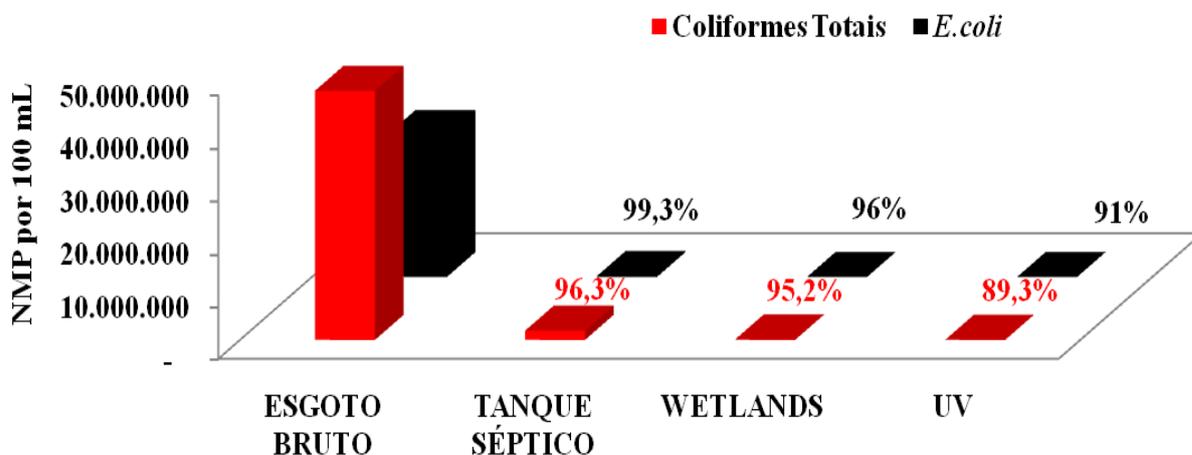
Maeda, Silva e Bellote (2011) avaliaram em vasos (15 cm de diâmetro x 35 cm de altura) a aplicação de doses (0, 10, 20, 40 e 80 Mg ha⁻¹) de lodo celulósico no solo e na cultura de *Pinus taeda* por 117 dias e constataram que os teores de COT e matéria orgânica do solo não foram alteradas pela aplicação do lodo. Interessante notar que a última aplicação, foi em torno de 80.000 kg de lodo, sendo um valor considerado alto em um intervalo de tempo e espaço razoavelmente pequenos.

Souza et al. (2015a) avaliaram o percentual de remoção de CT e *E. coli* sem emprego de uma unidade de desinfecção, possuindo apenas Tanque Séptico, Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente, Tanque de Microalgas e *Wetlands* e encontraram valores de 99,2 % para CT e 96,4 % para *E.coli*.

No entanto, com a ação da radiação UV, a eficiência total de remoção para CT foi de 99,98 % (efluente bruto: $4,7 \times 10^7$ NMP 100 mL⁻¹; efluente desinfetado: $8,8 \times 10^3$ NMP 100 mL⁻¹) e para *E. coli*. de >99,99 % (efluente bruto: $2,6 \times 10^7$ NMP 100 mL⁻¹; efluente desinfetado: $6,1 \times 10^2$ NMP 100 mL⁻¹). Isso demonstra o alto poder de desinfecção ultravioleta, reduzindo a carga de CT em mais de 4 ciclos logaritmos no efluente final de CT e 5 ciclos log para *E. coli*.

Avaliando cada unidade individual de tratamento da ETE Piloto, o percentual de remoção na *Wetlands* foi de 95,2 % de CT e de 96 % para *E. coli* (Figura 16). Em números reais da análise foram $8,2 \times 10^4$ NMP 100 mL⁻¹ de CT e $6,8 \times 10^3$ NMP 100 mL⁻¹ de *E. coli*.

Figura 16 - Remoção de Coliformes Totais e *E. coli* por unidades de tratamento.



Ayaz et al. (2015) investigaram o potencial de reutilização de águas residuárias de um pequeno povoado, havendo um pré-tratamento anaeróbio seguido de *Wetlands* do tipo horizontal e vertical, e ocorrendo a recirculação do efluente. O efluente bruto possuía cerca de 10^7 coliformes/100 mL. As análises microbiológicas desta pesquisa indicaram uma eficiência de remoção de 10^4 coliformes/100 mL para CT e 10^3 coliformes/100 mL para *E. coli*.

Demonstrando resultado similar ao encontrado na ETE Piloto, mais especificamente na unidade de tratamento *Wetlands*.

A Norma Brasileira Regulamentadora 13.969/97, permite para aplicação de água de reúso com valores máximos de 5×10^3 NMP 100 mL⁻¹ de *E. coli*. A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006) recomenda que os valores para *E. coli* não ultrapassem 10^3 NMP em 100 mL⁻¹, para irrigação irrestrita, ou seja, culturas que podem ser ingeridas cruas. Sendo assim, o efluente final da ETE Piloto se encontra em conformidade com as leis vigentes apresentadas.

Quanto à eficiência de remoção apenas da unidade de tratamento UV, as taxas de remoção de CT foram de 89,3 % e de *E. coli* de 91 %, reduzindo 1 ciclo logaritmo (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores de eficiência de remoção da unidade de tratamento UV.

	Saída das <i>Wetlands</i>	Saída do UV
CT	$8,2 \times 10^4$ NMP 100 mL ⁻¹	$8,8 \times 10^3$ NMP 100 mL ⁻¹
<i>E. coli</i>	$6,8 \times 10^3$ NMP 100 mL ⁻¹	$6,1 \times 10^2$ NMP 100 mL ⁻¹

Bilotta e Daniel (2012) investigaram a eficiência de lâmpadas germicidas na desinfecção de efluentes provenientes de Reator UASB, as lâmpadas possuíam potência de 15 W (6 lâmpadas) produzindo radiação de 123,0 e 247,0 mW.s.cm⁻², e tempos de contato de 60 e 120 segundos. Para a eficiência de remoção de *E. coli* alcançaram valores entre 1,60 a 5,20 log.

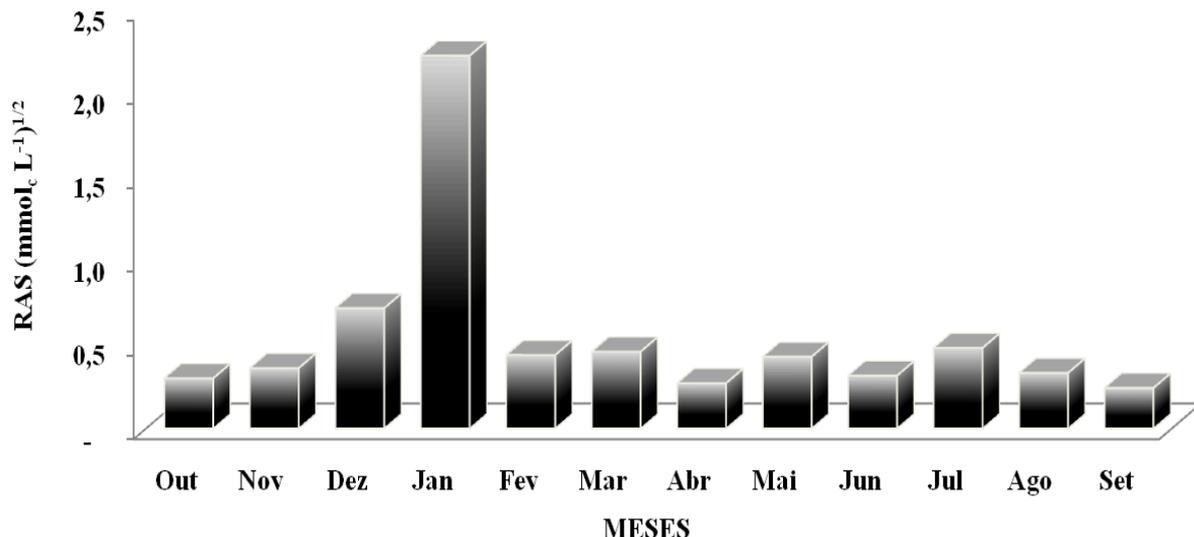
Battistelli et al. (2016) associaram a microfiltração com o processo de desinfecção por UV aplicados sobre efluente domésticos pré-tratados em UASB, as doses aplicadas de UV foram de 43,8 a 194,9 mWs.cm⁻², o reator UV possuía conjunto de 6 lâmpadas (15W), assim, as análises microbiológicas identificaram a eficiência de remoção de CT de 5,62 a 6,85 log e para *E. coli* taxas de 5,3 a 6,2 log de redução.

Vale ressaltar que a alta eficiência de remoção, principalmente apresentada por Battistelli et al. (2016), houve a associação da microfiltração para se chegar aos resultados demonstrados pelos autores.

No entanto, tempo de contato, qualidade do efluente, quantidade inicial de coliformes e intensidade da radiação UV podem apresentar melhores taxas de eficiência ao efluente desinfetado.

Sobre a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) do efluente final apresentou-se média de $0,5 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$, onde o mínimo observado foi de $0,2 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$ e o máximo de $2,0 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$, essa discrepância pode ser visualizada na Figura 17.

Figura 17 - Monitoramento mensal da Razão de Adsorção do Sódio.



Como pode ser observado, no mês de janeiro houve um pico da RAS, devido ao aumento desproporcional do Na, alcançando valores de $54,2 \text{ mg L}^{-1}$. Juntamente a isso, Ca ($33,4 \text{ mg L}^{-1}$) e Mg ($13,5 \text{ mg L}^{-1}$) também registraram valores máximos neste mês. Sendo assim, a causa mais provável para esse pico seja devido ao período de recesso da Universidade, ocorrendo uma maior concentração dos sais nas unidades de tratamento.

Urbano et al. (2015) em seu experimento com lâminas de água de reúso tratada simularam a irrigação sobre o solo e o cultivo de 5 ciclos de alface, e a RAS de $3,9 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$ do efluente. E notaram que não houve diferença significativa após avaliarem a RAS do solo nos ciclos de alface, exceto após o ciclo 2, onde houve uma redução da RAS. Os autores justificaram que essa redução é devido ao declínio do Na.

Ayers e Westcot (1999) estipularam diretrizes para avaliar águas de irrigação, e a RAS deve estar entre $0 - 15 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$ e o Na até 40 mmol L .

Sendo assim, a média da RAS do efluente final, $0,5 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$ da ETE Piloto não apresenta riscos quanto à sodificação do solo ou desequilíbrios que o Na pode a vir causar nas culturas.

As três unidades de tratamento da ETE Piloto, Tanque Séptico, *Wetlands* e UV demonstraram comportamentos distintos, onde os parâmetros sofreram aporte ou eficiência de remoção (Tabela 6).

Tabela 6 - Eficiência de remoção por unidades de tratamento.

	Eficiência de Remoção %		
	Tanque Séptico	<i>Wetlands</i>	UV
Turbidez	80,9	83	4,3
CE	NR	38,5	NR
OD	NR	NR	NR
Na	NR	NR	NR
K	11,8	71,4	NR
Ca	NR	NR	9,9
NT	NR	74,6	NR
PT	NR	82,7	NR
Mg	14,3	NR	3,7
COT	59,8	NR	2,19
CT	96,3	95,2	89,3
E. coli	99,3	96,1	91

NR: Não Removeu

O Tanque Séptico, considerado uma unidade de tratamento primário, foi responsável pelas maiores remoções de COT, Mg, CT e *E. coli*.

Os dois primeiros parâmetros estão associados à degradação e estabilização da matéria orgânica pelas bactérias anaeróbias presentes nesta fase de tratamento, e a liberação de gás metano. Para os indicadores bacteriológicos a média de eficiência de remoção pode variar entre 60 a 90 % (von Sperling, 2005).

Nas *Wetlands*, devido à filtração e ao polimento do efluente, houve maior remoção de turbidez e diminuição da CE, devido ao consumo de sais pelas macrófitas (SANTOS et al., 2016).

Os nutrientes NT (74,6 %), PT (82,7 %) e K (71,4 %), principais ao desenvolvimento das culturas agrícolas, demonstraram eficiência de remoção acima dos percentuais consultados na literatura (FIA et al., 2017).

6. CONCLUSÕES

Nas condições experimentais adotadas nesta pesquisa, foi possível concluir que o efluente final da ETE Piloto possui viabilidade agrícola, porém, alguns nutrientes como K, NT e PT podem apresentar restrições às culturas sensíveis à salinidade, por estarem acima dos limites consultados na literatura.

A RAS do efluente final, analisada sobre as diretrizes de água de irrigação, não apresentou riscos quanto à sodificação do solo.

E após a desinfecção, os parâmetros microbiológicos CT e *E. coli* do efluente final estão enquadrado nos limites estabelecidos pela legislação vigente. Todavia, pode-se inferir que o tempo de contato, potência da radiação, qualidade do efluente e teor de bactérias presentes no efluente bruto, podem aumentar a eficiência da desinfecção.

7. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A fim de padronizar e elaborar critérios que possam auxiliar os agricultores a implantarem de maneira prática o reúso dessa água residuária, assim como prosseguir os estudos do grupo de pesquisa, sugere-se como pesquisas futuras:

1. Aplicação do efluente tratado da ETE em culturas sensíveis e/ou tolerantes, a fim de detectar os benefícios/prejuízos ao solo e planta;
2. Estudo do impacto da ausência da unidade *Wetlands* na disponibilidade de sais e nutrientes com vistas ao reúso agrícola e desinfecção.
3. Avaliar a desinfecção para maiores potências de radiação (conjunto de lâmpadas) e diferentes tempos de contato com o efluente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMADI, L; MERKLEY, G.P. Wastewater reuse potential for irrigated agriculture. **Irrigation Science**, Berlim, v.35, n.4, p.275-285, mar. 2017.

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

ANDRADE, C. F.; VON SPERLING, M; MANJATE, E.S. Treatment of septic tank sludge in a vertical flow constructed wetland system. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.37, n.4, p.811-819, jul./ago. 2017.

ANIL, R; NEERA, A. L. Modified Septic Tank Treatment System. **Procedia Technology**. Elsevier B.V., v.24, p.240-247, 2016.

ARAÚJO, K. S.; ANTONELLI, R.; GAYDECZKA, B.; GRANATO, A.C.; MALPASS, G. R.P. Advanced oxidation processes: a review regarding the fundamentals and applications in wastewater treatment and industrial wastewater. **Ambiente e Água**, Taubaté, v.11, n.2, p.387-401, 2016.

ARAÚJO, B.M.; SANTOS, A.S.P.; SOUZA, F.P. Comparativo econômico entre o custo estimado do reúso do efluente de ETE para fins industriais não potáveis e o valor da água potável para a região sudeste do Brasil. **Perspectivas Online**, Campos dos Goytacazes, v.17, n. 7, p.51-61, 2017.

AREIAS, I.O.R; VIEIRA, C.M.F.; MANHAES, R.S.T.; INTORNE, A.C. Incorporação de lodo da estação de tratamento de esgoto (ETE) em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, São Paulo, v.63, n.367, p.343-349, set. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR-13.969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR-7.229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos: procedimento. Rio de Janeiro, 1993.

AYAZ, S.Ç.; AKTAS, Ö.; AKÇA, L; FINDIK, N. Effluent quality and reuse potential of domestic wastewater treated in a pilot-scale hybrid constructed wetland system. **Journal Of Environmental Management**. Elsevier B. V., v.156, p.115-120, jun. 2015.

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

BARRETO, A.B.; VASCONCELLOS, G.R.; VON SPERLING, M. Respirimetria com amostras indeformadas: uma metodologia inovadora para investigação de parâmetros cinéticos em leitos de *Wetlands* construídos horizontais subsuperficiais em escala real. **Revista Engenharia e Construção Civil**, Curitiba, v.2, n.2, p.66-76, jul./dez. 2015.

BARROS, H.M.M.; VERIATO, M.K.L.; SOUZA, L.P.; CHICÓ, L.R.; BAROSI, K.X.L. Reúso de água na agricultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v.10, n.2, p.11-6, dez. 2015.

BATTISTELLI, A.A.; VIDAL, C.M.S; SOUZA, J.B.; CAVALLINI, G.S. Tratamento Avançado de Efluente de Reator UASB por Membrana de Microfiltração Associado à Desinfecção por Radiação Ultravioleta. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v.37, n.1, p.45-54, mar. 2016.

BEM, C.C.; DOMBROSKI, L.F. **Manual de Procedimentos Analíticos Aplicado ao Monitoramento de Parâmetros Associados à Qualidade da Água em Corpos Aquáticos**. Curitiba: Universidade do Paraná, 2016. 118 p.

BILOTTA, P.; DANIEL, L.A. Utilização de lâmpadas germicidas na desinfecção de esgoto sanitário. **Ambiente e Água**, Taubaté, v.7, n.1, p.120-129, 2012.

BOSCO, T. C. D.; COSMANN, N. J.; SBIZZARO, M.; TAIATELE JUNIOR, I.; SILVA, J. dos S. Caracterização de águas residuárias de suinocultura provenientes de dois sistemas de tratamento. **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, v. 8, n. 3, p. 111-120, Set. 2016.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 de março de 2005.

BRASIL. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em Estações de Tratamento de Esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 30 de agosto de 2006.

BRASIL. Resolução Nº. 54, de 28 de Novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 09 de março de 2006.

CARLOS, F.S.; MARAFON, A.J.; ANDREAZZA, R.; ANGHINONI, I.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. Alterações eletroquímicas e dinâmica de nutrientes na solução do solo em arroz irrigado com lixiviado industrial tratado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.2, p.466-474, mar./abr., 2015.

CAVALLINI, G.S.; SILVA, W.P.; GONZAGA, M.F. Desinfecção de efluente final de abatedouro de bovinos com ácido peracético para fins de reúso. **Revista Desafios**, Tocantins, v.4, n.4, p.41-50, out. 2017.

COLARES, C.J.G.; SANDRI, D. Efficiency of sewage treatment with septic tanks followed by constructed Wetlands with different support materials. **Ambiente e Água**, Taubaté, v.8, n. 1, p.172-185, 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação: **manual técnico P4. 230**, 1999. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/normas-tecnicas-cetesb/normas-tecnicas-vigentes/>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Coliformes Termotolerantes - Determinação pela técnica de membrana filtrante: Método de ensaio. **Norma Técnica L5. 221**, 2012. Disponível no Diário Oficial de São Paulo, São Paulo, 2013

CUNHA, F.F; SILVA, T.R; MUCHALAK, S.M; MAGALHÃES, F.F; SILVA, S.Q. Gotejadores e dispositivos final de linha operando com águas contendo material orgânico. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 25, n. 2, p.173-181, maio 2017.

DANTAS, D.C.; SILVA, E.F.F; MELO, M.S.; DANTAS, M.S.M; ALBUQUERQUE, G.F.; SILVA, M.M. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando efluente doméstico. **Irriga**, Botucatu, edição especial, p.179-189, 2014.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Ultraviolet disinfection guidance manual**. Washington: USEPA, 2003. 478 p. Disponível em: <pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=1120>. Acesso em: 22 ago. 2016.

ERCOLE, L.A.S. **Sistema modular de Gestão das Águas Residuárias Domiciliares: uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos líquidos**. 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

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

FERNANDES, M.; SKORONSKI, E.; TREVISAN, V.; ALVES, M.V.; ELY, C.; JOÃO, J.J. Aplicação de tanino como coagulante no reúso da água de lavagem de automóveis e a utilização do lodo na agricultura. **Rede - Revista Eletrônica do Prodema Fortaleza**, Fortaleza, v.9, n.1, p.51-61, jun. 2015.

FIA, F.R.L.; MATOS, A.T; FIA, R.; BORGES, A.C.; ABREU, E.C. Influência da carga de nutrientes e da espécie cultivada na remoção de K, Na, Cu e Zn da água residuária da suinocultura tratada em sistemas alagados construídos. **Ambiente e Água**, Taubaté, v.10, n.3, p.542-553, 3 jul./set. 2015.

FIA, F.R.L.; MATOS, A.T.; FIA, R.; BORGES, A.C.; CECON, P.R. Efeito da vegetação em sistemas alagados construídos para tratar águas residuárias da suinocultura. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.2, p.303-311, mar./abr. 2017.

FISCHER, M.L.; CUNHA, T.R.; ROSANELI, C.F.; MOLINARI, R.B.; SGANZERLA, A. Crise hídrica em publicações científicas: olhares da bioética ambiental. **Ambiente e Água**, Taubaté, v.11, n.3, p.586-600, 23 jul./set. 2016.

FRANÇA, J.B.A.; MORAES, T.V.; VAZ, D.C.; FERREIRA, A.A.; SOARES, F.A.L. Tratamento de Efluente Doméstico com Macrófitas Aquáticas para Reúso na Fertilização. **Irriga**, Botucatu, edição especial, p.85-93, 2014.

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

GARAY, D.; SOUZA, C.F. Esterilizador UV no tratamento de esgoto para reúso agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 44., São Pedro, 2015. **Anais...** São Pedro: CONBEA, 2015. p. 1-4. Disponível em:<<http://publicacoes.conbea.org.br/anais/busca/?pagina=1&ano=&categoria=&opcoes=so uza>>. Acesso em: 13 jul. 2017.

GIERTH, M.; MASER, P. Potassium transporters in plants – Involvement in K⁺ acquisition, redistribution and homeostasis. **Febs Letters**, Europa, v.581, p.2348-2356, 22 mar. 2007.

GOMES, M.P.M. **Instalação e Monitoramento de Estação Piloto de Tratamento de Esgoto Sanitário Visando o Reúso Agrícola**. 2014. 59 f. (Mestrado) – Curso de Agricultura e Meio Ambiente, Universidade Federal de São Carlos - Centro de Ciências Agrárias, Araras, 2014.

GRANT, C.A.; FLATEN, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C.; JOHNSTON, A.M. **The Importance of Early Season Phosphorus Nutrition**. 2001. Disponível em: <http://www.umanitoba.ca/faculties/afs/MAC_proceedings/2001/pdf/grant.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2016.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, São Paulo, v.22, n.63, p.131-158, 2008.

HUANG, J.J.; HU, H.Y.; WU, Y.H.; WEI, B.; LU, Y. Effect of chlorination and ultraviolet disinfection on tetA-mediated tetracycline resistance of *Escherichia coli*. **Chemosphere**. Elsevier B.V., v.90, n.8, p.2247-2253, fev. 2013.

IDEXX, **Colilert®**. Disponível em: <<https://www.idexx.com/water/products/colilert.html>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

JIN, X.; LI, Z.; XIE, L.; ZHAO, Y.; WANG, T. Synergistic effect of ultrasonic pre-treatment combined with UV irradiation for secondary effluent disinfection. **Ultrasonics Sonochemistry**. Elsevier B.V., v.20, n.6, p.1384-1389, nov. 2013.

KAMIMURA, C.T.; OLIVEIRA, R.; QUINTANILHA, S.C.; LIMA, E.S.; FERREIRA, R.M.; NERY, V.L.H. Possibilidades de reúso de efluentes gerados na suinocultura visando à economia de água e fertilizantes químicos. In: SIMPÓSIO DE SAÚDE AMBIENTAL, IV, 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Atas de Saúde Ambiental-ASA, 2015. v.3, p. 74-79.

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

LIN, H.; LIU, W.; ZHANG, X.; WILLIAMS, N.; HU, B. Microbial electrochemical septic tanks (MESTs): An alternative configuration with improved performance and minimal modifications on conventional septic systems. **Biochemical Engineering Journal**. Elsevier B.V., v.120, p.146-156, abr. 2017.

MAEDA, S.; SILVA, H.D.; BELLOTE, A.F.J. Alteração em características químicas de um Neossolo Litólico húmico cultivado com *Pinus taeda*, promovidas pela aplicação de lodo celulósico. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n.65, p.27-35, jan./mar. 2011.

MARONEZE, M.M.; ZEPKA, L.Q.; VIEIRA, J.G.; QUEIROZ, M.I; JACOB-LOPES, E. A tecnologia de remoção de fósforo: gerenciamento do elemento em resíduos industriais. **Ambiente e Água**, Taubaté v.9, n.3, p.443-458, jul./set. 2014.

MARTÍNEZ, F.Z.; BRAVO, D.R.; ALVARÉZ, A.C.; LOMELI, M.G. Desinfección de aguas residuales en tres sistemas de humedales construidos híbridos. **Revista Interciência**, Caracas, v.40, n.6, p.409-415, jun. 2015.

MATOS, A.T.; BRASIL, M.S.; LOMONACO, P.A.V. Efeito da taxa de carregamento sobre a remoção de poluentes de esgoto em sistemas alagados construídos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.2, p.319-331, abr. 2013.

MEDEIROS, R.C.; DANIEL, L.A. Study of sequential disinfection for the inactivation of protozoa and indicator microorganisms in wastewater. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.37, n. 2, p.203-209, abr./jun. 2015.

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

MENDONÇA, H.V.; RIBEIRO, C.B.M.; BORGES, A.C.; BASTOS, R.R. Remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínios por sistemas alagados construídos operando em bateladas. **Ambiente e Água**, Taubaté, v.7, n.2, p.75-87, 2012.

OLIVEIRA, E.C.M. **Desinfecção de Efluentes Sanitários Tratados Através da Radiação Ultravioleta**. 2003. 97 f. (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

PANTANO, G.; GROSSELI, G.M.; MOZETO, A.A.; FADINI, P.S. Sustainability in phosphorus use: a question of water and food security. **Química Nova**, São Paulo, v.39, n.6, p.732-740, 2016.

PAYMENT, P.; WAITE, M.; DUFOUR, A. **Introducing parameters for the assessment of drinking water quality**, 2ª edição, 77 p, Estados Unidos. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/9241546301_chap2.pdf?ua=1>. Acesso em: 29 jun. 2017.

QUIROZ, H.C.T. **Potencial fitorremediador da Atriplex Nummularia em solos salinizados e sodificados pelo reúso de efluentes de esgotos tratados na agricultura**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RIZVI, H.; AHMAD, N.; YASAR, A.; BUKHARI, K.; KHAN, H. Disinfection of UASB-Treated Municipal Wastewater by H₂O₂, UV, Ozone, PAA, H₂O₂/Sunlight, and Advanced Oxidation Processes: Regrowth Potential of Pathogens. **Polish Journal Environmental Studies**, v.22, n.4, p.1153-1161, fev. 2013.

ROLIM, H.O.; CHAVES, J.R.; NUNES, A.B.R.; FILHO, H.A.S.; SANTOS, E.V.M. Qualidade dos Efluentes de Sistemas de Tratamento Biológico UASB e UCT para Reúso Agrícola. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v.9, n.2, p.393-414, abr./jun. 2016.

SALVETTI, A.R. **A história da Luz**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=DxWd2duJSEC&pg=PA98&dq=luz+ultravioleta&hl=ptBR&sa=X&ved=0ahUKEwi94N6wlJXUAhVKlpAKHVJJoCZgQ6AEILzAC#v=twopage&q=luz%20ultravioleta&f=true>>. Acesso em: 29 maio 2017.

SÁNCHEZ, R.M.; GUERRA, L.D.; SCHERGER, M. **Evaluacion de las areas bajo riego afectadas por salinidad y/o sodicidad en argentina**. INTA Ediciones, 2016. Disponível em: <[http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utf017arg/anexosyapendices/5.Documento Estimación Areas Salinas en Argentina.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utf017arg/anexosyapendices/5.Documento%20Estimaci%C3%B3n%20de%20%C3%A1reas%20Salinas%20en%20Argentina.pdf)>. Acesso em: 22 ago. 2016.

SANTOS, B.S.; COSTA, P.F.; EYNG, E.; CÂMARA, C.D. Avaliação da eficiência de um sistema de tratamento por *wetland* construído aplicado ao efluente de um frigorífico de suínos. **Semina**, Londrina, v.37, n.2, p.13-22, jul./dez. 2016.

SANTOS, J.G. **Análise Parasitológica em Esgotos Tratados utilizados na agricultura**. 2010. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo - Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2010.

SANTOS, R.D.S.; BISPO, R.C.; VENTURA, K.M.; SOUZA, M.H. C.; SALES, M.A.L. Avaliação de kit de irrigação por gotejamento utilizando água residuária. **Irriga & Inovagri**, Botucatu, edição especial, p.110-117, 2017.

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

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

SECCHI, F.J.; KONRAD, O.; TONETTO, J. Avaliação do balanço hídrico e da eficiência de um alagado construído como alternativa de tratamento para efluente doméstico. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, Santa Maria, v.38, n.1, p.453-461, abr. 2016.

SILVA JÚNIOR, M.J.; VIANA, P.C.; MEDEIROS, J.F.; LIMA, J.G.A.; TARGINO, A.J.O. Watermelon fertigation with electrical conductivity and ph monitoring in the soil solution. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n.4, p.622-630, jul./ago. 2016.

SILVA, R.S.P. **Reúso Agrícola do Efluente de um filtro anaeróbio utilizando um sistema de irrigação por sulcos**. 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SIMOKA, B.P.M.; REIS, C.Z.; BONI, H.T. Utilização de cinzas de lodo agroindustrial na elaboração da argamassa para construção civil. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v.3, n.5, p.158-173, 2016.

SODRAMAR. **Desinfecção UVC para piscinas**. Disponível em: <http://www.sodramar.com.br/ArquivosTransferidos/Mod-Produtos/Arq-Produtos/manual_uvc.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2016.

SOUZA, C. F.; BASTOS, R. G.; GOMES, M.P.M. ; PULSCHEN, A.A.. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reúso agrícola. **Revista Ambiente e Água**, v.10, p. 587-597, 2015a.

SOUZA, J.B.; VALDEZ, F.Q.; JERANOSKI, R.F.; VIDAL, C.M.S.; CAVALLINI, G.S. Water and Wastewater Disinfection with Peracetic Acid and UV Radiation and Using Advanced Oxidative Process PAA/UV. **International Journal Of Photoenergy**, Hindawi Publishing Corporation, v. 2015, p.1-7, 2015b.

SOUZA, M.A.R.; SANTOS, V.K.S.; COLARES, A.P.F.; MARTINS, R.N.; SILVA, V.V.; RIBEIRO, D.P. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura. **Revista Univap**, São José dos Campos, v.22, n.40, p.629-633, 2016a.

SOUZA, M.C.; VARGAS, A.; SAUERESSIG, G.; LUCHESE, J.; BAUER, J.M.; VIEGAS, C.V. Análise das práticas de reúso de água residual: estudo de casos em lavanderias industriais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v.20, n.1, p.497-514, jan./abr. 2016b.

SUBTIL, E.L.; MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I.; RODRIGUES, R. Potencial de reúso de água na lavagem de caminhões utilizando Contator Biológico Rotativo. **Ambiente e Água, Taubaté**, v.11, n.4, p.851-866, 25 out./dez. 2016.

TINÔCO, Juliana Delgado. **Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica.** 2011. 229 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

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.** Elsevier B.V., v.181, p.108-115, 2017.

URBANO, V.R.; MENDONÇA, T.G.; BASTOS, R.G.; SOUZA, C.F. Physical-chemical effects of irrigation with treated wastewater on Dusky Red Latosol soil. **Ambiente e Água,** Taubaté, v.10, n.4, p.737-747, out./dez. 2015.

URBANO, Vanessa Ribeiro. **Aplicação de Água de Reúso Tratada no cultivo de alface (Lactuca sativa L.).** 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2013.

VIECELLI, Clair Aparecida. **Guia de deficiências nutricionais em plantas.** Toledo: PUC, 2017. 112 p.

VON SPERLING, M.. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias.** 3ª edição. Minas Gerais: UFMG, 2005. 452 p. 1v.

WHITE, P. J.; BROWN, P. H.. Plant nutrition for sustainable development and global health. **Annals Of Botany,** v. 105, n. 7, p.1073-1080, abr. 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Excreta and greywater use in agriculture: Safe use of wastewater, excreta and greywater.** 2ª edição. Geneva: França, 2006. 196 p.

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

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO): **Guidelines for Drinking-water Quality.** 4ª edição. Suíça, 2011. 541 p.

YUSAF, T.; AL-JUBOORI, R.A. Alternative methods of microorganism disruption for agricultural applications. **Applied Energy.** Elsevier B.V., v.114, p.909-923, fev. 2014.

ZERWES, F.V.; KERN, D.I.; LUTTERBECK, C.A.; KIST, L.T.; MACHADO, E.L. Avaliação citogenética do tratamento com o processo UASB/ Bio Filtro Anaeróbio/Wetlands construídos de fluxo subsuperficial (Wcfss) de efluentes de propriedade rural. **Engenharia e Construção Civil,** Curitiba, v.2, n.2, p.56-65, jul./dez. 2015.

ZHOU, X.; GUO, H.; LI, Z.; ZHAO, J.; YUN, Y. Experimental study on the disinfection efficiencies of a continuous-flow ultrasound/ultraviolet baffled reactor. **Ultrasonics Sonochemistry.** Elsevier B.V., v.27, p.81-86, nov. 2015.