

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 15/01/2021.

TAMIRES LIMA DA SILVA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA PARA FINS DE REÚSO AGRÍCOLA EM
COMUNIDADES RURAIS E POPULAÇÕES TRADICIONAIS**

Botucatu

2019

TAMIRES LIMA DA SILVA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA PARA FINS DE REÚSO AGRÍCOLA EM
COMUNIDADES RURAIS E POPULAÇÕES TRADICIONAIS**

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

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Máximo Sánchez Román

Coorientador: Dr. João Gabriel Thomaz Queluz

Botucatu

2019

S586a

Silva, Tamires Lima da

Análise da eficiência de um sistema de baixo custo de tratamento de água residuária para fins de reuso agrícola em comunidades rurais e populações tradicionais / Tamires Lima da Silva. -- Botucatu, 2019

109 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Rodrigo Máximo Sánchez Román

Coorientador: João Gabriel Thomaz Queluz

1. Águas residuais. 2. Desinfecção de águas residuais. 3. Água Reuso. 4. Irrigação com águas residuais. 5. Tratamento de águas residuais. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UM SISTEMA DE BAIXO CUSTO DE TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA PARA FINS DE REÚSO AGRÍCOLA EM COMUNIDADES RURAIS E POPULAÇÕES TRADICIONAIS


AUTORA: TAMIRES LIMA DA SILVA


ORIENTADOR: RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN

COORIENTADOR: JOÃO GABRIEL THOMAZ QUELUZ

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


Pós-Doutorando JOÃO GABRIEL THOMAZ QUELUZ
Instituto de Geociências e Ciências Exatas / UNESP/Rio Claro


Profa. Dra. TALITA APARECIDA PLETSCHE
Campus Montana / Instituto Federal do Espírito Santo - IFES


Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS
Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

Botucatu, 15 de julho de 2019

Dedico à minha família, em especial ao meu cunhado Felipe por me acompanhar na entrega da documentação do processo seletivo. À minha professora Talita, que teve papel fundamental para que eu conseguisse acreditar no meu potencial para a vida acadêmica. Ao meu grande amor Eric, pelo apoio, força e motivação. Eu não alcançaria esta conquista sem a ajuda de vocês.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de mestrado processo nº 2017/14729-3, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos de mestrado concedida de maio a outubro de 2017.

À Deus por iluminar meus passos e colocar pessoas de bom coração no meu caminho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Máximo Sánchez Román, pelos ensinamentos, paciência, orientação e por acreditar no meu trabalho.

Ao meu coorientador Prof. Dr. João Gabriel Thomaz Queluz, pela orientação, ensinamentos e auxílio nas análises estatísticas e laboratoriais.

À Prof. Dra. Talita Aparecida Pletsch, pela amizade, apoio e principalmente pelo incentivo na busca por novas oportunidades. Saiba que você é meu modelo de inspiração como pessoa e profissional.

Aos meus queridos vizinha Francisca (dona Neta) e vizinho Milton, por terem me mostrado desde cedo a importância do trabalho honesto, da humildade de espírito e do amor ao próximo. Agradeço também, por vocês ficarem felizes junto comigo a cada conquista acadêmica alcançada, mesmo não entendendo o que é um artigo científico ou uma pesquisa de mestrado ou doutorado.

À minha amada família, minha mãe Maria José, meu padrasto Eduardo, meus irmãos Ketiane e Imack, pelo apoio, paciência e compreensão durante este período. Agradeço especialmente, meu cunhado Felipe, por fazer um sacrifício sobre-humano de dirigir por mais de 20 horas sem descanso para que eu conseguisse entregar minha documentação para o processo de seleção. O sacrifício feito por você para que eu conseguisse esta oportunidade acadêmica é minha inspiração para continuar forte nos momentos difíceis que enfrentei ao longo do caminho.

Ao meu amado Eric, pelo companheirismo, suporte e paciência. Obrigada por me acompanhar nas coletas, pelo auxílio no laboratório e por me apoiar em cada etapa. Eu não teria conseguido alcançar esta conquista sem você.

Meus sinceros agradecimentos aos meus colegas de pós-graduação, Bruno, Laércio, Valdemiro, Evanize, Mara, Osvaldir, Amanda, Kevim, Ana Cláudia, Wendy, Rocio, Rafael, Flávia, Alba, Renata, Franciana e João, pelas palavras de incentivo,

colaboração na realização de trabalhos acadêmicos e pelo companheirismo durante este período.

Aos meus companheiros de república, Leandro, Stephane, Larissa e Tayná por compartilhar um lar comigo e me proporcionar momentos de distração.

Aos funcionários e colaboradores do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas- FCA, em especial ao Gilberto, Israel, Fabiana e Rafaela pela amizade, apoio, carinho e suporte.

Aos professores Dr. João Carlos Cury Saad e Roberto Lyra Villas Bôas pela receptividade e auxílio no esclarecimento de dúvidas.

Ao professor Dr. Enzo Dal Pai, pela disponibilização dos dados meteorológicos e auxílio na análise da radiação solar global horária.

À professora Dra. Luciene Maura Mascarini Serra, pelo auxílio nas análises de ovos de Helmintos.

Ao professor Dr. Pedro de Magalhães Padilha e ao estudante de pós-doutorado Dr. José Cavalcante Souza Vieira pelo auxílio nas análises de turbidez.

À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo-SABESP pelo fornecimento da água residuária.

Aos funcionários das Fazendas de ensino, pesquisa e extensão- FEPE da FCA pelo transporte da água residuária até a área experimental, em especial ao supervisor Flávio por todo suporte dado ao longo do desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para que este objetivo fosse alcançado.

RESUMO

Comunidades rurais e populações tradicionais possuem um déficit de atendimento de serviços de saneamento básico, principalmente coleta e tratamento de esgoto. Em pequenos núcleos rurais e assentamentos de povos tradicionais é comum a prática da agricultura, principalmente para a produção de hortaliças. O tratamento da água residuária proveniente de esgoto doméstico para reúso agrícola pode promover melhorias ambientais, sociais e econômicas. Tecnologias de tratamento de água residuária doméstica (ARD) descentralizadas, de fácil instalação, operacionalidade e baixo custo são as opções mais viáveis para instalação em núcleos rurais e assentamentos de povos tradicionais. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a eficiência de um sistema de baixo custo de tratamento de água residuária doméstica composto por leito biológico filtrante (LBF) e reator de desinfecção solar (SODIS) para fins de reúso agrícola em comunidades rurais e populações tradicionais. O sistema de tratamento experimental foi instalado na Faculdade de Ciências Agrônômicas-FCA, Unesp, Botucatu-SP. Foram utilizados três leitos biológicos filtrantes (LBF's) instalados em paralelo. Cada LBF apresentava volume útil de $0,16 \text{ m}^3$ e consistia de quatro caixas d'água retangulares de fibra de vidro, ligadas em série, preenchidas com meio suporte brita #0 a uma altura de 30 cm. Durante o período de pesquisa a vazão média do efluente secundário proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Botucatu-ETE Lageado liberada nos LBF's foi de $0,15 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. O tempo de detenção hidráulica da ARD em cada LBF foi de aproximadamente 1,06 dia. A eficiência dos LBF's foi avaliada pela análise dos parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos totais (SDT), turbidez, pH, nitrogênio total (N), fósforo (P), potássio (K), condutividade elétrica (CE), coliformes totais, *Escherichia coli* (*E. coli*) e ovos de helmintos. A ARD tratada nos LBF'S era direcionada para três reatores SODIS (*Solar Disinfection*) de coloração preta, que apresentavam base de concreto e formato de tronco cônico invertido, nos quais as lâminas de ARD de 10, 15 e 20 cm foram testadas para verificar qual delas seria mais eficiente na inativação de coliformes fecais (*E. coli*). As três lâminas ficaram expostas à radiação solar por um período de 10 horas (das 08:00 às 18:00 horas) sendo os parâmetros: radiação solar global, temperatura, pH, DQO e *E. coli* monitorados. Para avaliar a

influência das variações da radiação solar ao longo das estações do ano na eficiência do processo de desinfecção, foram realizadas coletas em dois períodos: de maio a julho de 2018 (período outono-inverno), e de dezembro de 2018 a março de 2019 (período primavera-verão). Os LBF's apresentaram eficiência média de remoção de 50,9%, 86,2%, 95,8%, 41,6%, 97,8% para DBO, DQO, SST, ST e turbidez, respectivamente. A ARD tratada pelos LBF's e direcionada aos reatores SODIS, após quatro horas de exposição à radiação solar, nos dois períodos testados, apresentou qualidade em acordo com a diretriz estabelecida pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para irrigação irrestrita (coliformes fecais ≤ 1.000 NMP 100 mL⁻¹). Na comparação das lâminas de ARD com 10, 15 e 20 cm de profundidade através da análise de variância- ANOVA, com a variável resposta a razão (N/No), em que (No) população de *E. coli* inicial e (N) população de *E. coli* remanescente após exposição solar, não foi identificada diferença significativa entre as lâminas testadas. Foram gerados modelos matemáticos que representam a fração da população remanescente de coliformes fecais (N/No) em relação à dose de radiação solar global acumulada nos reatores SODIS. Com os resultados das concentrações de N, P e K na ARD, seu potencial nutricional para produção de hortaliças foi estimado em 536,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio; 157,68 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de fósforo e 504,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de potássio. A combinação dos métodos de tratamento: LBF e SODIS é uma solução sustentável, de baixo custo e manutenção que pode promover o uso seguro de ARD na irrigação de parcelas agrícolas em comunidades rurais e populações tradicionais.

Palavras-chave: Irrigação. Desinfecção solar. Leito biológico filtrante. Reúso de água residuária doméstica.

ABSTRACT

Rural communities and traditional populations present a lack of basic sanitation services, as collection and treatment of sewage. In small rural areas and settlements of traditional people is common the practice of agriculture, mostly for vegetable production. Domestic wastewater treatment (DWW) for agricultural reuse can promote environmental, social and economic improvements. Decentralized technologies for DWW of easy installation, operationality and low-cost are the most viable options for installation in rural areas and settlements of traditional people. The objective of this research was to evaluate the efficiency of a low-cost system of domestic wastewater treatment consisting of biological filter bed (BFB) and solar disinfection reactor (SODIS) for the purpose of agricultural reuse in rural communities and traditional populations. The pilot study was conducted at College of Agronomic Sciences- FCA, UNESP, Botucatu-SP, Brazil. Three biological filter bed (BFB's) installed in parallel were used. Each BFB presented an effective volume of 0.16 m³ and consisted of four rectangular fiberglass water boxes, connected in series, filled with gravel (size range 4.8 mm-9.5 mm) to a height of 30 cm. During the research period, the secondary effluent from Botucatu City Wastewater Treatment Plant (WWTP-Lageado) used as affluent for the BFB's, presents an average flow of 0.15 m³ d⁻¹. The hydraulic detention time of the DWW in each BFB was approximately 1.06 days. The efficiency of the BFB's was evaluated by the analysis of the following parameters: biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total suspended solids (TSS), total solids (TS), total dissolved solids (TDS), turbidity, pH, total nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), electrical conductivity (EC), total coliforms, *Escherichia coli* (*E. coli*) and helminth eggs. The DWW treated by the BFB's was directed to three black coloured solar disinfection reactors (SODIS), that presented a concrete base and shape of an inverted truncated cone, where three fixed depths of DWW (10, 15 and 20 cm) were tested in order to verify which of them would be more efficient in inactivating fecal coliforms (*E. coli*). These three DWW depths were exposed to solar radiation for a period of 10 hours (from 08:00 a.m. to 6:00 p.m.) and the parameters of global solar radiation, temperature, pH, COD and *E. coli* were monitored. With the goal of evaluating the influence of the solar radiation variations along the year on the efficiency of the disinfection process, DWW samples were collected in two periods: from May to

July 2018 (Autumn-winter period), and from December 2018 to March 2019 (Spring-summer period). The BFB's presented average removal efficiency of 50.9%, 86.2%, 95.8%, 41.6%, 97.8% for BOD, COD, TSS, TS and turbidity, respectively. The DWW treated by the BFB's and directed to the SODIS reactors after four hours of exposure to direct sunlight, in the two periods tested, presented quality in accordance with the World Health Organization (WHO) guideline for unrestricted irrigation (Fecal coliforms ≤ 1.000 MPN 100 mL⁻¹). Comparing the fixed DWW depths of 10, 15 and 20 cm by the analysis of variance-ANOVA, with the response variable the ratio (N/No), in which (No) represents the initial population of *E. coli* and (N) represents the remnant population of *E. coli* after exposure to solar radiation. The ANOVA results showed that there were no differences statistically significant between the DWW depth tested. Mathematical models representing the remaining fraction of fecal coliforms in the DWW (N/No), in relation to the global solar radiation dose accumulated on the SODIS reactors were developed. The concentrations of N, P and K in the DWW showed that it has a nutritional potential for vegetable production of 536.1 kg ha⁻¹ year⁻¹ of nitrogen; 157.68 kg ha⁻¹ year⁻¹ of phosphorus and 504.5 kg ha⁻¹ year⁻¹ of potassium. The combination of the treatment methods: BFB and SODIS is a sustainable low-cost and maintenance solution that can promote the safe use of domestic wastewater for irrigation of farmlands in rural communities and traditional populations.

Keywords: Irrigation. Solar disinfection. Biological filter bed. Reuse of domestic wastewater

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
Figura 1- A) Concentração dos recursos hídricos por Região B) Densidade demográfica por Região em hab. km ⁻²	24
Figura 2- Rendimento em condições irrigadas e não irrigadas das culturas arroz, feijão e trigo (2015)	27
Figura 3- Soluções de tratamento de esgoto doméstico utilizadas nos domicílios rurais do Brasil, por regiões (2010)	30
Figura 4- Representação gráfica do processo de formação do biofilme.....	44
Figura 5- Representação gráfica do espectro eletromagnético.....	47
Figura 6- Processo de inativação de microrganismos por radiação solar UV....	49
Figura 7- Variação diária média da radiação solar por mês durante o ano de 2016 para Botucatu-SP.....	52
Figura 8- Representação da relação entre nível de turbidez e a profundidade da água no processo de atenuação da radiação UV-A.....	53
Figura 9- Fotografia aérea da localização do sistema de tratamento	54
Figura 10- <i>Layout</i> do sistema experimental de tratamento de água residuária doméstica	55
Figura 11- Características do Leito Biológico Filtrante.....	56
Figura 12- Corte transversal do Leito Biológico Filtrante.....	56
Figura 13- Design do reator de desinfecção solar	57
Figura 14- Lâminas de ARD testadas nos reatores de desinfecção solar-SODIS	57
Figura 15- Medição da temperatura no SODIS.....	59
Figura 16- Análise de ovos de helmintos na água residuária doméstica	63
Figura 17- Eficiência e taxa de remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) dos leitos biológicos filtrantes em relação à taxa de aplicação superficial.....	72
Figura 18- Eficiência e taxa de remoção de demanda química de oxigênio (DQO) dos leitos biológicos filtrantes em relação à taxa de aplicação superficial	73
Figura 19- Aspecto do efluente secundário proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Botucatu-ETE Lageado (A e B) e aspecto da ARD tratada pelos LBF's (C).....	74

Figura 20- Eficiência de remoção de sólidos suspensos totais, sólidos totais e turbidez pelos LBF's durante as etapas do experimento.....	75
Figura 21- Remoção em log de coliformes totais e <i>E. coli</i> durante as etapas do experimento.....	76
Figura 22- Variações de pH ao longo do tempo de exposição solar no período outono-inverno para as lâminas de ARD de 10,15 e 20 cm tratadas no SODIS	79
Figura 23- Variações de pH ao longo do tempo de exposição solar no período primavera-verão para as lâminas de ARD de 10,15 e 20 cm tratadas no SODIS	79
Figura 24- Concentração média de DQO ao longo do tempo de exposição solar no período outono-inverno para as lâminas de ARD de 10,15 e 20 cm tratadas no SODIS.....	80
Figura 25- Concentração média de DQO ao longo do tempo de exposição solar no período primavera-verão para as lâminas de ARD de 10,15 e 20 cm tratadas no SODIS.....	80
Figura 26- Variação da temperatura ao longo do tempo de exposição solar para ARD no reator com lâmina de 10 cm para os períodos primavera-verão e outono-inverno.....	82
Figura 27- Variação da temperatura ao longo do tempo de exposição solar para ARD no reator com lâmina de 15 cm para os períodos primavera-verão e outono-inverno.....	82
Figura 28- Variação da temperatura ao longo do tempo de exposição solar para ARD no reator com lâmina de 20 cm para os períodos primavera-verão e outono-inverno.....	83
Figura 29- Radiação solar global média acumulada ao longo do tempo de exposição solar da ARD nos períodos primavera-verão e outono-inverno.....	84
Figura 30- Gráfico de dispersão da radiação solar global acumulada em função do período de exposição solar da ARD nas etapas primavera-verão e outono-inverno.....	85
Figura 31- Curva de inativação da <i>E. coli</i> (em log ₁₀) na lâmina de água residuária doméstica com 10 cm de profundidade nos períodos outono-inverno e primavera-verão.....	89

Figura 32- Curva de inativação da <i>E. coli</i> (em log ₁₀) na lâmina de água residuária doméstica com 15 cm de profundidade nos períodos outono-inverno e primavera-verão.....	90
Figura 33- Curva de inativação da <i>E. coli</i> (em log ₁₀) na lâmina de água residuária doméstica com 20 cm de profundidade nos períodos outono-inverno e primavera-verão.....	90
Figura 34- Dados experimentais e estimados através do modelo de regressão não linear (equação 5) para todas as lâminas de água residuária doméstica tratada nos reatores SODIS.....	93
Figura 35- Dados experimentais e estimados através do modelo de regressão não linear (equação 6) para todas as lâminas de água residuária doméstica tratada nos reatores SODIS no período outono-inverno.....	94
Figura 36- Dados experimentais e estimados através do modelo de regressão não linear (equação 7) para todas as lâminas de água residuária doméstica tratada nos reatores SODIS no período primavera-verão	94
Quadro 1- Exemplos de riscos e vias de exposição associados ao uso de água residuária na agricultura	33
Quadro 2- Vantagens e desvantagens do uso de leitos biológicos filtrantes no tratamento de água residuária.....	45
Quadro 3- Efeito da atmosfera terrestre na absorção da energia eletromagnética.....	48
Quadro 4- Redução logarítmica de microrganismos patogênicos por desinfecção solar	50
Quadro 5- Datas das coletas de amostras de água residuária doméstica em cada etapa do experimento.....	58
Quadro 6- Parâmetros de qualidade da água residuária doméstica analisados e metodologias adotadas.....	60
Quadro 7- Características do piranômetro modelo CMP3.....	63

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1- Demanda de uso por atividade econômica (retirada, consumo e retorno) no Brasil em 2017.....	25
Tabela 2- Recomendações da qualidade microbiológica da água residuária para reúso na agricultura	38
Tabela 3- Diretrizes para interpretação da qualidade da água para irrigação	41
Tabela 4- Critérios para avaliação da qualidade da água de irrigação quanto ao risco de entupimento de emissores.....	42
Tabela 5- Radiação solar disponível em diferentes situações de cobertura de nuvens.....	52
Tabela 6- Características da água residuária doméstica na entrada (afluente) dos Leitos Biológicos Filtrantes.....	66
Tabela 7- Características da água residuária doméstica na saída (efluente) dos Leitos Biológicos Filtrantes.....	67
Tabela 8- Qualidade da água residuária doméstica tratada nos LBF's para reúso na irrigação.....	68
Tabela 9- Concentração de nutrientes de interesse agrônômico na água residuária doméstica tratada nos LBF's.....	70
Tabela 10- Concentração média de matéria orgânica na água residuária doméstica afluente e efluente dos LBF's.....	71
Tabela 11- Concentração média de sólidos suspensos totais, sólidos totais e turbidez na água residuária doméstica afluente e efluente dos LBF's.....	74
Tabela 12- Concentrações de coliformes totais e <i>E. coli</i> na água residuária doméstica afluente e efluente dos LBF's.....	75
Tabela 13- Concentração de DQO, SST e turbidez no período outono-inverno para as lâminas de ARD de 10,15 e 20 cm tratadas no SODIS.....	77
Tabela 14- Concentração de DQO, SST e turbidez no período primavera-verão para as lâminas de ARD de 10,15 e 20 cm tratadas no SODIS	78

Tabela 15- Variações médias da temperatura, dose de radiação solar global, concentração e redução logarítmica da população de coliformes fecais (<i>E. coli</i>) no período outono-inverno, para os SODIS com lâminas de ARD com 10, 15 e 20 cm de profundidade.....	86
Tabela 16- Variações médias da temperatura, dose de radiação solar global, concentração e redução logarítmica da população de coliformes fecais (<i>E. coli</i>) no período primavera-verão, para os SODIS com lâminas de ARD com 10, 15 e 20 cm de profundidade.....	87
Tabela 17- Reativação da bactéria <i>E. coli</i> após 48 e 72 horas do processo de desinfecção por radiação solar global nos reatores SODIS.....	91
Tabela 18- Simulação de cenários para verificação da dose de radiação solar global requerida na desinfecção solar da ARD para reuso na irrigação irrestrita	95

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.1 Disponibilidade hídrica e demanda de uso dos recursos hídricos no Brasil.....	24
2.2 Desenvolvimento agrícola no Brasil e a importância da irrigação.....	26
2.3 Saneamento rural no Brasil e o potencial reúso agrícola de água residuária doméstica por comunidades rurais e populações tradicionais...	28
2.4 Reúso de água residuária doméstica na irrigação	31
2.5 Diretrizes e critérios de qualidade da água residuária doméstica para reúso agrícola.....	35
2.5.1 Diretrizes da Organização Mundial da Saúde-OMS.....	37
2.5.2 Diretrizes da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura- FAO.....	39
2.5.3 Critérios para avaliação do risco de entupimento de emissores em sistemas de irrigação por gotejamento.....	42
2.6 Tratamento da água residuária doméstica para reúso agrícola por comunidades rurais e populações tradicionais.....	43
2.6.1 Leito Biológico Filtrante.....	44
2.6.2 Desinfecção Solar.....	46
2.6.2.1 <i>Processo de desinfecção solar.....</i>	<i>47</i>
2.6.2.2 <i>Fatores que podem afetar o processo de desinfecção solar.....</i>	<i>51</i>
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	54
3.1 Características do local de realização do experimento	54
3.2 Características do sistema de tratamento.....	54
3.3 Coleta e análise das amostras.....	57
3.4 Determinação da radiação solar global.....	63
3.5 Análise dos resultados.....	64
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4.1 Características da água residuária doméstica afluenta dos Leitos Biológicos Filtrantes	66
4.2 Características da água residuária doméstica efluente dos Leitos Biológicos Filtrantes.....	67

4.3 Viabilidade do reúso agrícola da água residuária doméstica tratada nos Leitos Biológicos Filtrantes.....	68
4.4 Potencial fertilizante da água residuária doméstica tratada nos Leitos Biológicos Filtrantes.....	69
4.5 Eficiência dos Leitos Biológicos Filtrantes na remoção de matéria orgânica.....	71
4.6 Eficiência dos Leitos Biológicos Filtrantes na remoção de sólidos.....	73
4.7 Eficiência dos Leitos Biológicos Filtrantes na remoção de patógenos.....	75
4.8 Processo de desinfecção solar nos reatores SODIS.....	76
4.8.1 Variação da temperatura nos reatores SODIS.....	81
4.8.2 Variação da radiação solar global em função das estações do ano.....	84
4.8.3 Redução logarítmica da concentração de coliformes fecais na ARD.....	85
4.8.4 Reativação bacteriana.....	91
4.9 Modelo matemático.....	91
4.9.1 Simulação de cenários.....	95
5 CONCLUSÕES.....	96
REFERÊNCIAS.....	99

1 INTRODUÇÃO

A distribuição espacial desigual dos recursos hídricos no Brasil aliada ao aumento na demanda de uso por diferentes atividades econômicas tem levado a buscas por fontes alternativas de água sendo a água residuária uma das opções com maior potencialidade de adoção.

No Brasil, entre as atividades econômicas de uso consuntivo dos recursos hídricos que utiliza um grande volume de água está a irrigação. Com a tendência de crescimento da população brasileira haverá maior demanda por alimentos que por consequência aumentará o consumo de água para irrigação, visto que a técnica de irrigar permite um aumento da produtividade da cultura cultivada e é imprescindível para a expansão de áreas agrícolas.

Para o dimensionamento de projetos de irrigação é extremamente importante analisar a qualidade da fonte de água disponível. Na análise de qualidade da água são observadas suas características biológicas, químicas e físicas. Em áreas irrigadas no Brasil, o principal problema enfrentado com relação a qualidade da água é a alta concentração de carga orgânica devido, principalmente, ao lançamento de esgoto doméstico não tratado.

Grande parte da população brasileira não possui acesso a serviços adequados de saneamento, da qual, a mais afetada são aquelas localizadas em comunidades rurais e áreas de assentamento de povos tradicionais (indígenas, quilombolas entre outros).

Entre os serviços de saneamento com maior déficit de cobertura no Brasil está a coleta e tratamento de esgoto doméstico. Esgoto doméstico pode ser definido como o efluente resultante da água utilizada diariamente na descarga de vasos sanitários, banho, lavagem de pisos, roupas, louças, e a água que escorre pelos ralos e pias. As soluções de tratamento de esgoto doméstico consideradas “adequadas” podem envolver soluções coletivas (coleta e direcionamento para Estações de Tratamento de Esgoto-ETE) ou individual (tanque séptico ou fossa séptica). Em contrapartida, soluções como fossas rudimentares (também chamadas de fossas negras), valas e despejo do esgoto bruto diretamente nos cursos d’água são consideradas como “não adequadas” por não envolver nenhum tipo de sistema de tratamento.

O termo “água residuária doméstica” (ARD) pode ser definido como a água proveniente do esgoto doméstico tratado ou não. Majoritariamente, a ARD é composta

por água, apenas uma pequena parcela equivale a microrganismos e substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas ou suspensas. A reutilização da ARD pode convertê-la em uma fonte de água para irrigação, disponível o ano todo e independente de variações climáticas, que pode contribuir para a manutenção ou aumento de áreas irrigadas em comunidades rurais e assentamentos de povos tradicionais. Também, a ARD pode fornecer nutrientes (principalmente nitrogênio, fósforo e potássio) e matéria orgânica para as culturas reduzindo assim, a necessidade de uso de fertilizantes inorgânicos.

Por outro lado, o reúso agrícola de ARD deve ser feito com cautela devido à presença de microrganismos patogênicos (protozoários, bactérias, vírus e helmintos). Estes microrganismos podem contaminar as águas subterrâneas, o solo, e as culturas cultivadas apresentando risco à saúde pública. Conjuntamente, devem ser observados os íons presentes na ARD e os potenciais impactos que estes podem ocasionar ao solo e as culturas. Para minimizar os efeitos negativos associados ao reúso de ARD devem ser observadas diretrizes que apresentam informações sobre os valores aceitáveis de parâmetros de qualidade da água residuária para irrigação. Os valores definidos como aceitáveis, ou não, são resultantes de diversos estudos desenvolvidos para a obtenção de índices seguros de uso.

A reutilização de forma segura da ARD em comunidades rurais e áreas de assentamento de povos tradicionais irá depender da eficiência do processo de tratamento adotado. Para estas localidades as melhores soluções tecnológicas serão aquelas que apresentam baixo custo de instalação e fácil operacionalidade. Dentre as tecnologias de baixo custo disponíveis para o tratamento de ARD pode-se destacar a filtração através de leitos biológicos filtrantes e a desinfecção solar.

O processo de filtração dos leitos biológicos filtrantes pode ser eficiente na diminuição da concentração da carga orgânica e inorgânica, na redução do nível de turbidez, na remoção de ovos de helmintos e partículas sólidas presentes na ARD, assim como, o processo de desinfecção solar pode ser eficiente na inativação de microrganismos patogênicos.

Dados da pesquisa realizada por Queluz (2016) sobre a análise da eficiência de alagados construídos para o tratamento de ARD, demonstram que o sistema controle, denominado como "Alagado construído 1: Sem cultivo de plantas" apresentou elevada eficiência na remoção de sólidos suspensos totais (SST), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO),

entretanto, a remoção de coliformes fecais (*E. coli*) não atingiu valores recomendados pela Organização Mundial da Saúde-OMS para uso na irrigação. Este sistema sem cultivo de plantas pode ser definido como um leito biológico filtrante (LBF). Com o intuito de atingir o padrão de qualidade microbiológica a ARD após passar pelos LBF deve passar por processo de desinfecção.

Levando-se em consideração estes aspectos, o presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficiência de um sistema de baixo custo de tratamento de água residuária doméstica composto por leito biológico filtrante, modelo desenvolvido por Queluz (2016), e reator de desinfecção solar (SODIS), modelo desenvolvido por Queluz e Sánchez-Román (2014), para fins de reúso agrícola em comunidades rurais e populações tradicionais. Constituíram como objetivos específicos:

- i. Testar esta combinação de tecnologias de tratamento para águas residuárias provenientes de esgoto doméstico;
- ii. Determinar parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente gerado pela combinação LBF + SODIS;
- iii. Avaliar a qualidade do efluente tratado para uso na irrigação de culturas;
- iv. Determinar a eficiência do sistema testado através de análises estatísticas.

A inativação bacteriana no reator SODIS pode variar de acordo com a profundidade da lâmina de ARD aplicada, portanto, constituiu como hipótese deste estudo:

- H_0 : Não existe diferença significativa entre as três lâminas de ARD (10, 15 e 20 cm) testadas na inativação de coliformes fecais (*E. coli*) por radiação solar.
- H_1 : Existe diferença significativa entre as três lâminas de ARD (10, 15 e 20 cm) testadas na inativação de coliformes fecais (*E. coli*) por radiação solar.

REFERÊNCIAS

ABO-GHOBAR, H. M. Influence of irrigation water quality on soil infiltration. **Irrigation Science**, [S.l.], v. 14, n. 1, p.15-19, set. 1993. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00195001>.

ABREU, S. B. **Regulamentação sobre reúso de água e efluente sanitário tratado no Brasil**. Belo Horizonte: PDF, 2017. 43 slides, color. Palestra. Disponível em: <http://www.resag.org.br/congressoresag2017/anais/extranet/uploads/Palestra/sergio_o_brasil_abreu_1513878355.pdf>. Acesso em: 02 maio 2019.

ACRA, A. *et al.* **Water disinfection by solar radiation: assessment and application**. Ottawa, Canada: International Development Research Centre-IDRC, 1989. 75 p. Technical study. Disponível em: <<https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/5093/IDL-5093.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 03 maio 2019.

ACRA, A.; RAFFOUL, Z.; KARAHAGOPIAN, Y. **Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solutions: guidelines for household application in Developing Countries**. Beirut: Unicef, 1984. Disponível em: <<https://www.ircwash.org/resources/solar-disinfection-drinking-water-and-oral-rehydration-solutions-guidelines-fo-household>>. Acesso em: 02 maio 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Brasília-DF: Agência Nacional de Águas, 2018. 72 p. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em: 08 maio 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS -ANA; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil - 2014: relatório síntese**. Brasília - DF: Agência Nacional de Águas, 2016. 33 p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/ProjetoPivos.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. **Atlas irrigação: uso da Água na Agricultura Irrigada**. Brasília-DF: Agência Nacional de Águas, 2017. 86 p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrigacao-UsodaAguanaAgricaturalIrigada.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA-ANVISA. **Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Resolução-RDC Nº 12, de 02 de janeiro de 2001**. Brasília, 2001. Disponível em:<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_12_2001.pdf/15ffddf6-3767-4527-bfac-740a0400829b>. Acesso em: 05 maio 2019.

ALMEIDA, O. Á. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Recurso eletrônico. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/875385/qualidade-da-agua-de-irrigacao>>. Acesso em: 03 maio 2019.

ALMEIDA, P. G. S. **Efeito de diferentes tipos de meio suporte no desempenho de filtros biológicos percoladores aplicados ao pós-tratamento de efluentes de**

reatores UASB, com ênfase na nitrificação. 2007. 156 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/286M.PDF>>. Acesso em: 01 jun. 2019

ALVES, L. R.; REIS, A. R.; GRATÃO, P. L. Heavy metals in agricultural soils: From plants to our daily life. **Científica**, Jaboticabal, v. 44, n. 3, p.346-361, 18 jul. 2016. FUNEP. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2016v44n3p346-361>.

ALVES, R. M. M.; SEGOVIA, J. F. O. **Planejando a instalação de hortas.** Macapá: Embrapa Amapá, 2011. 20 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/70683/1/7-Planejando-a-Instalacao-de-Hortas.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2019.

ALVES, T. R. **Eficiência de um sistema de desinfecção solar de águas residuárias domésticas com adição de diferentes doses de peróxido de hidrogênio.** 2015. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Agronomia, Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** Washington DC, 22 th. ed., 2012.

ANDRADE, C. L. T.; BRITO, R. A. L. **Métodos de irrigação.** 2019. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_16820051120.html>. Acesso em: 02 maio 2019.

AQUA LIGHTTECH LIMITED. **How does UV light destroy microorganisms.** 2019. Disponível em: <<http://aqualighttech.com/UV.asp?id=310>>. Acesso em: 03 maio 2019.

ARAUJO, C. A. M. **Caracterização da associação dos pequenos agricultores no contexto do projeto Cinturão Verde de Ilha Solteira-SP.** 2005. 237 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geografia área de Concentração: Desenvolvimento Regional e Planejamento Ambiental, Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/92848>>. Acesso em: 05 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13939:** tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229:** projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649:** Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

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

AYRES, R. M. *et al.* Comparison of techniques for the enumeration of human parasitic helminth eggs in treated wastewater. **Environmental Technology**, London, UK, v. 12, n. 1, p.617-623, 1991. Print ISSN: 0959-3330 Online ISSN: 1479-487X.

AYRES, R.S; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture** (Revised). Rome. FAO: Irrigation and Drainage Paper nº 29. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985.186p.

BARROSO, L. B.; WOLFF, D. B. Radiação ultravioleta para desinfecção de água. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p.1-13, 2009. Ciências Naturais e Tecnológicas. Disponível em: <<https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/disciplinarumNT/article/view/1250>>. Acesso em: 03 maio 2019.

BASTOS, R. K. X. *et al.* Wastewater irrigation of salad crops: further evidence for the evaluation of the WHO guidelines. **Water Science and Technology**, [S.I.], v. 57, n. 8, p.1213-1219, abr. 2008. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2008.244>.

BECERRA-CASTRO, C. *et al.* Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. **Environment International**, [S.I.], v. 75, p.117-135, fev. 2015. Elsevier BV.

BERNEY, M. *et al.* Efficacy of solar disinfection of Escherichia coli, Shigella flexneri, Salmonella Typhimurium and Vibrio cholerae. **Journal of Applied Microbiology**, [S.I.], v. 101, n. 4, p.828-836, out. 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02983.x>.

BORGHETTI, J. R. *et al* (Ed.). **Agricultura irrigada sustentável no Brasil: identificação de áreas prioritárias**. Brasília: Organização das Nações Unidas Para A Alimentação e A Agricultura, 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i7251o.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2019.

BOSSHARD, F. *et al.* Solar disinfection (SODIS) and subsequent dark storage of Salmonella typhimurium and Shigella flexneri monitored by flow cytometry. **Microbiology**, [S.I.], v. 155, n. 4, p.1310-1317, 1 abr. 2009. Microbiology Society. <http://dx.doi.org/10.1099/mic.0.024794-0>.

BOYLE, M. *et al.* Bactericidal Effect of Solar Water Disinfection under Real Sunlight Conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, [S.I.], v. 74, n. 10, p.2997-3001, 21 mar. 2008. American Society for Microbiology. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.02415-07>.

BRAGA, M. B.; LIMA, C. E. P. (Ed.). **Reúso de água na agricultura**. Brasília-DF: Embrapa, 2014. 200 p.

BRASIL. **Decreto nº 6.040, de 7 de fevereiro de 2007**, de 07 de fevereiro de 2007. Institui a política nacional de desenvolvimento sustentável dos povos e comunidades tradicionais. Brasília, DF: Presidência da República, 2007b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6040.htm>. Acesso em: 04 maio 2019.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979,

8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2007a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Acesso em: 22 maio. 2019.

BRESSAN, D. F. **Água de reúso e seu efeito sobre parâmetros fisiológicos em manjeriço (*Ocimum basilicum* L.)**. 2015. 149 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu, Botucatu, 2015.

BUCKS, D.A.; NAKAYAMA, F.S.; GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, [S.l.], v. 2, n. 2, p.149-162, jun. 1979. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-3774\(79\)90028-3](http://dx.doi.org/10.1016/0378-3774(79)90028-3).

BURGOS, A. J.; LÓPEZ, J. S.; RODRÍGUEZ, P. U. **Trickling filters series: secondary treatments**. Coruña: Universidade da Coruña, 2015. Disponível em: <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558166/Trickling+filters.pdf/1c2ef2b5-6f3b-326a-c33b-bea411572184>. Acesso em: 01 maio 2019.

CAVINATTO, A. S.; PAGANINI, W. S. Os microrganismos nas atividades de disposição de esgotos no solo: estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p.42-51, mar. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522007000100006>.

CHAUDHARY, D. S. *et al.* Biofilter in water and wastewater treatment. **Korean Journal of Chemical Engineering**, [S.l.], v. 20, n. 6, p.1054-1065, nov. 2003. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02706936>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Boletim Hortigranjeiro**. 12. ed. Brasília-DF: Companhia Nacional de Abastecimento - Conab, 2018. Vol. 4 dezembro 2018. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/23659_b6df5ebeae16a216ce5658ff9b9a23d1. Acesso em: 03 maio 2019.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS-CNRH. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro de 2005. **Resolução nº 121, de 16 de dezembro de 2010**. Brasília, Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/reúso-de-agua-recursos-hidricos/1414-resolucao-n-121-de-16-de-dezembro-de-2010/file>. Acesso em: 05 maio 2019.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS-CNRH. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. **Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005**. Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.cnrh.gov.br/reúso-de-agua-recursos-hidricos/37-resolucao-n-54-de-28-de-novembro-de-2005/file>. Acesso em: 05 maio 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. 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. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 05 maio 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Brasília, Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 05 maio 2019.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p.1-11, 2009. Disponível em: <<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3393>>. Acesso em: 02 maio 2019.

DEPARTMENT OF WATER AND SANITATION IN DEVELOPING COUNTRIES-SANDEC (Switzerland). **Solar water disinfection: a guide for the application of SODIS**. Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2002. Disponível em: <https://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_materia/manual_e.pdf>. Acesso em: 05 maio 2019.

DEPARTMENT OF WATER AND SANITATION IN DEVELOPING COUNTRIES-SANDEC (Switzerland). **SODIS manual: guidance on solar water disinfection**. Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2016. Disponível em: <https://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_materia/sodismanual_2016.pdf>. Acesso em: 05 maio 2019.

ESTAÇÃO METEOROLOGICA LAGEADO. **Informações da Estação Meteorologica Automática**. 2019. Disponível em: <<http://estacaolageado.fca.unesp.br/index.html>>. Acesso em: 05 maio 2019.

FISHER, M. B. *et al.* Speeding up solar disinfection (SODIS): effects of hydrogen peroxide, temperature, pH, and copper plus ascorbate on the photoinactivation of *E. coli*. **Journal of Water and Health**, [S.l.], v. 6, n. 1, p.35-51, nov. 2007. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wh.2007.005>.

FREITAS, C. A. S. *et al.* Efluente de esgoto doméstico tratado e reutilizado como fonte hídrica alternativa para a produção de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 17, p.727-734, 2013.

FUJIOKA, R.S.; YONEYAMA, B.S. Sunlight inactivation of human enteric viruses and fecal bacteria. **Water Science and Technology**, [S.l.], v. 46, n. 11-12, p.291-295, dez. 2002. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2002.0752>.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE-FUNASA. **Panorama do saneamento rural no Brasil**. Brasília - DF: Departamento de Engenharia de Saúde Pública- Funasa, 2017. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/panorama-do-saneamento-rural-no-brasil>>. Acesso em: 04 maio 2019.

GEERAERD, A.H.; HERREMANS, C.H.; VAN IMPE, J.F. Structural model requirements to describe microbial inactivation during a mild heat treatment. **International Journal of Food Microbiology**, [S.l.], v. 59, n. 3, p.185-209, set. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0168-1605\(00\)00362-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0168-1605(00)00362-7).

GOMES, A. G. **Filtros biológicos percoladores**. 2013. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/6384-noticias>>. Acesso em: 03 maio 2019.

GOMES, E. R. **Aplicação de água residuária e deficiência hídrica em espécies de interesse agrônomo**. 2016. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp – Câmpus de Botucatu, Botucatu, 2016.

GONÇALVES, R. F. (coord.). **Desinfecção de Efluentes Sanitários**. Rio de Janeiro: Abes, 2003. 438 p. Projeto PROSAB. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabRicardo.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2019.

HEASELGRAVE, W.; KILVINGTON, S. The efficacy of simulated solar disinfection (SODIS) against *Ascaris*, *Giardia*, *Acanthamoeba*, *Naegleria*, *Entamoeba* and *Cryptosporidium*. **Acta Tropica**, [S.l.], v. 119, n. 2-3, p.138-143, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actatropica.2011.05.004>.

IMHOFF, K. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1966. Tradução Max Lothar Hess.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção da População 2018 (2010-2060): Brasil população total - idades simples**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018 Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Projecao_da_Populacao/Projecao_da_Populacao_2018/projecoes_2018_populacao_2010_2060.xls>. Acesso em: 01 maio 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tabela 1.10 - Densidade demográfica nos Censos Demográficos, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação - 1872/2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Censo 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=10&uf=00>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. Ontario, Canada: Academic Press Canada, 1983.

JARAMILLO, M. F.; RESTREPO, I. Wastewater Reuse in Agriculture: A Review about Its Limitations and Benefits. **Sustainability**, [S.l.], v. 9, n. 10, p.1734-1753, 11 out. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su9101734>.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 994 p.

KIPP & ZONEN B.V. **CMP3 Pyranometer**. 2019. Disponível em: <<https://www.kippzonen.com/Product/11/CMP3-Pyranometer#.XPhrBv5RfIU>>. Acesso em: 02 maio 2019.

KOWALSKI, W. J. *et al.* Mathematical modeling of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection. **Quantitative Microbiology**, [S.l.], v. 2, n. 3, p.249-270, 2000. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1013951313398>

LAMAS, F. M. **Desafios da agricultura moderna**. 2018. Embrapa Agropecuária Oeste. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agropecuaria-oeste/busca-de-noticias/-/noticia/32676228/artigo-os-desafios-da-agricultura-moderna>>. Acesso em: 01 maio 2019.

LECHEVALLIER, M. W; AU, K. K. **Water Treatment and Pathogen Control: Process Efficiency in Achieving Safe Drinking Water**. London: IWA Publishing, 2004. 112 p. Published on behalf of the World Health Organization. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/42796>>. Acesso em: 04 maio 2019.

LEWANDOWSKI, Z.; BOLTZ, J.P. Biofilms in Water and Wastewater Treatment. **Treatise on Water Science**, [S.l.], p.529-570, 2011. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-53199-5.00095-6>.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARQUES, M. V. A. *et al.* Potencial, economia de água e adubação com a aplicação de efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico na fertirrigação de capim-elefante. **Holos**, Natal, RN, v. 2, p.52-64, 29 ago. 2017. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2017.5612>.

MARTINS, M. C. *et al.* Salinidade e Sodicidade do Solo em Cultivo de Banana Prata Anã Fertirrigada com Água Residuária Sanitária Tratada. In: FEPEG-FÓRUM DE ENSINO, PESQUISA, EXTENSÃO E GESTÃO, 9., 2015, Montes Claros. **Anais [...]**. Montes Claros: Fepeg, 2015. p. 1 - 4. Disponível em: <<http://www.fepeg2015.unimontes.br/?q=publicacao-anais>>. Acesso em: 02 maio 2019.

MCGUIGAN, K.G. *et al.* Batch solar disinfection inactivates oocysts of *Cryptosporidium parvum* and cysts of *Giardia muris* in drinking water. **Journal of Applied Microbiology**, [S.l.], v. 101, n. 2, p.453-463, ago. 2006. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.02935.x>.

MEDEIROS, R. C. *et al.* Utilização de rejeitos como meio filtrante em filtros biológicos percoladores. In: VIII Congresso brasileiro de gestão ambiental, 8., 2017, Campo Grande. **Anais [...]** Campo Grande: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2017. p. 1 - 4. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/IX-012.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

MEDEIROS, S. S. *et al.* Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 9, n. 4, p.603-612, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662005000400026>. Acesso em: 06 maio 2019.

MELLER, H. S. **Avaliação De Um Filtro Biológico Percolado Com Meio De Suporte Plástico Corrugado**. 2009. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, da Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

MONTES, C. R. *et al.* Irrigação com esgotos tratados: impactos no solo e aquíferos. In: PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO-PROSAB. **Reúso das águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim**. Recife: Prosab/finep, 2006. Cap. 5. p. 155-200. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Esgoto-Prosab_-_final.pdf>. Acesso em: 10 maio 2019

MORAES, E. C. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: PDF, 2002. Color. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMoraes.pdf>. Acesso em: 01 maio 2019.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: a review. **Irrigation Science**, [S.l.], v. 12, n. 4, p.187-192, dez. 1991. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00190522>.

NASCIMENTO, J. S. *et al.* Avaliação do crescimento, desenvolvimento e produção do algodão irrigado com água de esgotos sanitários tratados. **Agropecuária Científica no Semiárido**: Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Campina Grande, v. 2, n. 14, p.331-338, 2018. Disponível em: <<http://revistas.ufcg.edu.br/acsa/index.php/ACSA/article/view/1052>>. Acesso em: 02 maio 2019.

NASCIMENTO, M. C. P. **Filtro Biológico Percolador de pequena altura de meio suporte aplicado ao pós-tratamento de efluente de reator UASB**. 2001. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/74M.PDF>>. Acesso em: 02 maio 2019.

NATURAL RESOURCES CANADA-NRCAN. **The Electromagnetic Spectrum**. 2015. Disponível em: <<https://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/14623>>. Acesso em: 03 maio 2019.

OLIVEIRA, E. L. (Coordenador.). **Manual de Utilização de Águas Residuárias em Irrigação**. Botucatu: Fepaf-fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2012. 120 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-ONU. **Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/ods6/>>. Acesso em: 06 maio 2019.

PEACOCK, C.; MILLER, G.; MARTIN, M. **Irrigation Water Quality Problems**. Disponível em: <<https://content.ces.ncsu.edu/irrigation-water-quality-problems>>. Acesso em: 01 abr. 2012.

PEREIRA JÚNIOR, J. d. S. **Recursos Hídricos: Conceituação, disponibilidade e usos**. Brasília-DF: Câmara dos Deputados, 2004. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/publicacoes-da-consultoria-legislativa/areas-da-conle/tema14/2004_2687.pdf>. Acesso em: 01 maio 2019.

PEREIRA, L. A. *et al.* Avaliação de tratamento simplificado da água de cisterna: desinfecção solar (SODIS) para consumo humano. In: 9º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., 2014, Feira de Santana. **Anais [...]**. Feira de Santana, 2014. p. 1 - 6. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/107132/1/Lucio.pdf>>. Acesso em: 04 maio 2019.

PESCOD, M. B. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992. FAO Irrigation and Drainage Paper-Nº 47. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/T0551E/t0551e00.htm#Contents>>. Acesso em: 02 maio 2019.

PINTO, M. C. K. *et al.* Contaminação das águas subterrâneas por nitrogênio devido à irrigação com efluente do tratamento de esgoto. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p.270-281, 11 jul. 2013. Brazilian Journal of Irrigation and Drainage - IRRIGA. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2013v18n2p270>.

PLETSCH, T. A. **Irrigação de milho por sulcos com efluente de esgoto doméstico tratado**. 2012. 83 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu, Botucatu, 2012.

QUELUZ, J. G. T. **Eficiência de alagados construídos para o tratamento de águas residuárias com baixas cargas orgânicas**. 2016. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, Botucatu, 2016.

QUELUZ, J. G. T. **Estudo da eficiência da desinfecção solar de águas residuárias domésticas em reatores de diferentes colorações**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia (irrigação e Drenagem), Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, Botucatu, 2013.

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

REBOUÇAS, J. R. L. *et al.* Crescimento do Feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v. 23, n. 1, p.97-102, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/1506>>. Acesso em: 01 maio 2019.

RODRIGUES, R. A. S. **Introdução ao estudo da oleicultura**. São Paulo: Editora e Distribuidora Educacional, 2019.

ROSATO, M. M. *et al.* Quantificação dos efluentes domésticos produzidos em uma área rural (Cinturão verde, Ilha Solteira-SP). In: XXI CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP – SÃO JOSÉ DO RIO PRETO, 21., 2009, São José do Rio Preto. **Anais** [...]. São José do Rio Preto: Ibilce-unesp, 2009. p. 1 - 7. Disponível em: <http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/efluente_cinturao_cic2009.pdf>. Acesso em: 03 maio 2019.

SALES, M. A. L.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. Desenvolvimento da cultura e presença de *E. coli* na salsa irrigada com água residuária tratada por radiação solar. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 2, p.336-351, 27 jun. 2019. Brazilian Journal of Irrigation and Drainage - IRRIGA. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2019v24n2p336-351>.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M. *et al.* Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural reuse. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 1, p.65-71, 2007

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p.45-57, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n1/30095.pdf>>. Acesso em: 03 maio 2019.

SANTOS, A. S. P. *et al.* Estimativa da capacidade disponível de reúso de efluentes na bacia hidrográfica do Paraíba do Sul. In: III SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO RIO PARAÍBA DO SUL, 3., 2018, Juiz de Fora. **Anais** [...]. Juiz de Fora: III-SRHPS, 2018. p. 94 - 103. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/srhps/files/2018/09/Anais-III-SRHPS.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2019.

SHAKIR, E.; ZAHRAW, Z.; AL-OBAIDY, A. H. M. j. Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation. **Egyptian Journal of Petroleum**, [S.l.], v. 26, n. 1, p.95-102, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.01.003>.

SILVA, P. F. *et al.* Obstruction and uniformity in drip irrigation systems by applying treated wastewater. **Revista Ceres**, [S.l.], v. 64, n. 4, p.344-350, ago. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201764040002>.

SOLOMON, C. *et al.* **Trickling Filters: Achieving Nitrification**. Morgantown, Wv: The National Small Flows Clearinghouse, 1998. Disponível em: <http://www.nesc.wvu.edu/pdf/WW/publications/eti/TF_tech.pdf>. Acesso em: 02 maio 2019.

SOMMER, B. *et al.* SODIS: An emerging water treatment process. **Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua**, Si, v. 46, n. 3, p.127-137, 1997.

SOUZA, N. C. de *et al.* Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p.478-484, maio 2010. FAPUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010000500004>.

TELLES, D. D' A.; COSTA, R. P. (Coord.). **Reúso da Água: Conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. Sao Paulo: Blucher, 2010. 408 p.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, 2017. Disponível em: <www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=74329>. Acesso em: 01 maio 2019.

TRATA BRASIL. **O que é saneamento?** Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/o-que-e-saneamento>>. Acesso em: 05 maio 2019.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP). 2017. The United Nations World Water Development Report 2017. **Wastewater: The Untapped Resource**. Paris, UNESCO.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-U.S.EPA. Municipal Wastewater, Sewage Sludge, and Agriculture. In: United States Environmental Protection Agency. **Use of Reclaimed Water and sludge in Food crop production**. Washington, D.C., EUA: Environmental Protection Agency, 1996. Cap. 2. p. 17-45. Disponível em: <<https://www3.epa.gov/npdes/pubs/mstr-ch2.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

VIVAR, M. *et al.* Separating the UV and thermal components during real-time solar disinfection experiments: The effect of temperature. **Solar Energy**, [S.l.], v. 146, p.334-341, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2017.02.053>.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1991. Vol.1.

VON SPERLING, M.; CHENICHARO, C. A. L. **Biological wastewater treatment in warm climate regions**. [S.l.]: IWA Publishing, 2005. DESA-Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

WARD, H. M. IV. Further experiments on the action of light on Bacillus anthracis. **Proceedings of the Royal Society of London**, [S.l.], v. 53, n. 321-325, p.23-44, jan. 1893. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rspl.1893.0005>.

WEGELIN, M. *et al.* Solar water disinfection: Scope of the process and analysis of radiation experiments. **Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua**, [S.l.], v. 43, n. 3, p.154-169, 1994.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Wastewater use in agriculture**. 2. ed. Switzerland: Who Library Cataloguing, 2006.

WYCKOMAR UV PURIFICATION SYSTEMS. **How Can "Light" Kill Bacteria?** 2018. Wyckomar Inc. Disponível em: <<http://www.wyckomaruv.com/UVTechnology.html>>. Acesso em: 04 maio 2019.

YOON, C. G.; KWUN, S. K.; HAM, J. H. Effects of treated sewage irrigation on paddy rice culture and its soil. **Irrigation and Drainage**, [S.l.], v. 50, n. 3, p.227-236, 2001. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ird.27>.