



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM ZONA DE RAÍZES
INTEGRADO AO REÚSO NA PRODUÇÃO DE GIRASSOL
ORNAMENTAL

TESE DE DOUTORADO
JAZMIN DEL CARMEN DE CRUZ MAGAÑA
BRASÍLIA – DF
2023

**TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM ZONA DE RAÍZES
INTEGRADO AO REÚSO NA PRODUÇÃO DE GIRASSOL
ORNAMENTAL**

Tese apresentada à Universidade de Brasília
como parte das exigências para obtenção do Grau
de Doutora em Agronomia, Área de
concentração: Produção Sustentável, Linha de
Pesquisa: Água e Solos

Orientador: Prof. Dr. Delvio Sandri

Brasília - DF
Março de 2023

TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM ZONA DE RAÍZES INTEGRADO AO REÚSO NA PRODUÇÃO DE GIRASSOL ORNAMENAL

Tese apresentada à Universidade de Brasília
como parte das exigências para obtenção do Grau
de Doutora em Agronomia, Área de
concentração: Produção Sustentável, Linha de
Pesquisa: Água e Solos

APROVADA EM: ____/____/____

Prof. Dr. Delvio Sandri – FAV/UnB
(Presidente) Orientador

Profa. Dra. Jordana Moura Caetano, FAV/UnB
Membro titular

Prof. Dr. Sergio Oliveira Pinto de Queiroz - UNEB
Membro titular externo

Prof. Dr. Henrique Fonseca Elias de Oliveira – IFGoiano – Campus Ceres
Membro titular externo

FICHA CATALOGRÁFICA

Magaña, Jazmin Del Carmen de Cruz

Tratamento de esgoto doméstico em zona de raízes integrado ao reúso na produção de girassol ornamental / Jazmin Del Carmen de Cruz Magaña: Orientador: Delvio Sandri

Brasília, 2023.

9 p. : il.

Tese (Doutorado - Doutorado em Agronomia) --
Universidade de Brasília, 2023.

1. Leitões cultivados. 2. Qualidade de água. 3. Irrigação. 4. Reúso. 5. Wetlands.
I. Sandri, Delvio. II. Título.

CDD ou CDU
Agris / FAO

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MAGAÑA, J. D. C. C.

Tratamento de esgoto doméstico em zona de raízes integrado ao reúso na produção de girassol ornamental. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2023, 94. Tese de Doutorado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: JAZMIN DEL CARMEN DE CRUZ MAGAÑA

TÍTULO DA TESE: **Tratamento de esgoto doméstico em zona de raízes integrado ao reúso na produção de girassol ornamental.**

GRAU: DOUTOR ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta Tese de Doutorado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta Tese de Doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

Nome: Jazmin Del Carmen de Cruz Magaña
E-mail: experimentacion.ialmsa@grupopiasa.com

DEDICATÓRIA

Com gratidão, dedico este trabalho a Deus e aos meus pais (Silvia e Marcos), meus irmãos (Wendy e Christian) e a minha querida filha Helena a sua grande força e amor foi a mola propulsora que permitiu o meu avanço e conclusão deste projeto, mesmo durante os momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

À CONACYT MEXICO, pela Bolsa de Doutorado concedida, que possibilitou a realização deste projeto.

À Faculdade de Agronomia da Universidade de Brasília, seus docentes e funcionários, que desde 2014, quando ingressei no mestrado, me acompanham neste meu percurso acadêmico.

Ao Professor Doutor Delvio Sandri, meu orientador, pela manifestação de incondicional apoio e disponibilidade, pela compreensão e pelo aconselhamento assertivo e pelo estímulo permanente, que muito contribuíram para minimizar o desafio e melhorar a profundidade e a clareza da investigação, pela sua amizade.

Aos meus amigos e colegas, Sabrina, Daniel, Stefany e Jesus Manuel pela amizade e apoio nesses anos longe da minha família, minha casa e meus país.

À minha Família, Silvia, Marcos, Wendy, Christian e a Helena pela paciência, pelo incentivo e amor que é a minha força.

Ao meu companheiro Luis Ramon pelo amor e incentivo durante o projeto de tese, na certeza de que posso mais do que imagino.

Agradeço do fundo do meu coração.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| RESUMO | viii |
| ABSTRACT | x |
| ÍNDICE DE TABELAS | xii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xiii |
| ABREVIATURAS | xiv |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 5 |
| 2.1 Objetivo Geral | 5 |
| 2.2 Objetivos Específicos: | 5 |
| 3 REVISÃO DA LITERATURA | 6 |
| 3.1 Sistemas naturais de tratamento de esgoto | 6 |
| 3.1.1 Tanques sépticos | 7 |
| 3.1.2 Tratamento de esgoto em sistema de zona de raízes | 7 |
| 3.1.3 Microrganismos no sistema de wetlands | 10 |
| 3.2 Reúso de efluente de esgoto tratado na irrigação | 11 |
| 3.2.1 Legislação de reúso de efluente | 12 |
| 3.2.2 Potencial de reúso de efluente no Brasil e no Distrito Federal | 14 |
| 3.2.3 Atributos físicos, químicos e microbiológicos do efluente e padrões para reúso na irrigação | 16 |
| 3.2.4 Padrões para reúso na irrigação | 20 |
| 3.3 Efeitos do reúso no desenvolvimento das plantas e nas propriedades do solo | 22 |
| 3.4 Produção de flores no Brasil e no Distrito Federal | 24 |
| 3.5 Espécies de plantas paisagísticas | 25 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 29 |
| 4.1 Local do experimento e variáveis meteorológicas | 29 |
| 4.2 Estação de tratamento de esgoto (ETE) | 31 |
| 4.2.1 Origem do esgoto | 31 |
| 4.2.2 Tanques sépticos em série | 31 |
| 4.2.3 Caixa de passagem com distribuição do efluente e leitos cultivados | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.4 Coletas das amostras de afluente e efluente e parâmetros avaliados | 34 |
| 4.2.5 Macrófitas nos leitos de cultivo | 37 |
| 4.2.6 Evapotranspiração potencial dos leitos | 37 |
| 4.2.7 Eficiência da ETE..... | 37 |
| 4.3 Solo e adubação..... | 38 |
| 4.4 Sistema e manejo de irrigação..... | 38 |
| 4.5 Planejamento experimental do cultivo do girassol..... | 40 |
| 4.6 Tratos culturais | 40 |
| 4.7 Parâmetro morfológicos medidos nas flores de girassol | 41 |
| 4.8 Análises dos resultados experimentais do girassol | 42 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 43 |
| 5.1 Crescimento e adaptação das macrófitas nos sistemas de zona de raízes. | 43 |
| 5.3 Balanço de nutrientes em um sistema de zona de raízes no tratamento de esgoto doméstico e o reúso do efluente no cultivo de girassol ornamental | 45 |
| 5.3.1 Atributos no afluente e efluente na estação de tratamento de esgoto e água do córrego | 45 |
| 5.3.2 Correlação de Pearson (r) dos atributos no efluente do SZR e SnC | 59 |
| 5.4 Parâmetros morfológicos das plantas de girassol..... | 60 |
| 5.5 Análise de Componentes Principais (PCA) de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea das plantas de girassol..... | 63 |
| 6 CONCLUSÕES | 66 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 67 |

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o tratamento de esgoto em zona de raízes (SZR) e a dinâmica dos nutrientes presentes no efluente de esgoto tratado (EET) na irrigação de girassol ornamental, espécie Sunflower (*Helianthus annuus* L.), Sunbright. Avaliou-se o desempenho de uma estação de tratamento de esgoto (ETE), implantada na Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB), constituída por três tanques sépticos (TS) em série, como tratamento primário, seguidos de três SZR de fluxo subsuperficial em paralelo, preenchidos com brita #2, vegetados com as espécies aquáticas taboa (*Typha spp*) (SZRT), papiro-brasileiro (*Cyperus giganteus*) (SZRP) e aguapé (*Eichhornia crassipes*), além de um sistema não cultivado – testemunha (SnC). Após o SZR o efluente derivado para uma caixa de 2000 L de onde foi aplicado na irrigação do girassol. O delineamento experimental no cultivo do girassol ornamental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2, sendo dois tipos de água de irrigação, água do córrego (Ac) e EET e solo com adubação e sem adubação, com 6 repetições (vasos úteis) de 11 L de volume útil, preenchidos com Latossolo Vermelho Amarelo (LVA). Na ETE foram quantificados os atributos físicos, químicos e microbiológicos do esgoto bruto, o afluente e o efluente do SZR, obtendo-se a absorção de nutrientes pelas macrófitas. No cultivo de girassol foram avaliados os seguintes parâmetros: altura de planta (AP) e diâmetro do coleto (DC) aos 15, 25, 35, 55, 70 dias após semeadura (DAS) e no estágio R6 (floração final), mediu-se o número de folhas (NF), área foliar (AF), diâmetro interno do capítulo (DIC), diâmetro externo do capítulo (DEC), número de pétalas no capítulo (NP), dias pós colheita (DPC), fitomassa fresca da parte aérea (FFPA), fitomassa seca da parte aérea (FSPA), fitomassa fresca do capítulo (FFC), fitomassa seca do capítulo (FSC), teor de nutrientes na parte aérea do girassol, análise dos componentes principais (PCA), aporte de nutrientes pela aplicação de EET e influência sobre os atributos químicos do solo. Na ETE, concluiu-se que o teor de fósforo reduziu 41% após passar por três TS e se elevou no efluente do SnC e em todos os SZR. O potássio, ferro total e cálcio reduziram no efluente em relação ao afluente em todos os SZR. Na ETE, a turbidez apresentou correlação de Pearson forte em relação ao sódio (0,61) e na razão de absorção de sódio. Já em relação ao cultivo do girassol, concluiu-se que a AP foi maior no tratamento com efluente de esgoto tratado com adubação convencional (EETCA) aos 15, 25, 35 e 70 DAS e o DC aos 15, 25 e 35 DAS no tratamento EETCA em comparação com o tratamento Ac. O NF foi maior no tratamento EETCA aos 70 DAS e IAF aos 15, 25, 55 e 70 DAS em comparação aos tratamentos irrigados com Ac. O DIC, DEC, NP, DPC, FFPA, FSPA, FFCA e FSCA, nos tratamentos irrigados com EET foram maiores em relação a Ac e adubados maior em relação ao sem adubação. O tratamento EETSA foi o que mais contribuiu com os componentes principais na absorção de P, K, S, B e Mn na parte

aérea do girassol. O pH, Ca e K no solo no final do experimento diminuíram em todos os tratamentos, enquanto o P e Fe aumentaram. A análise dos componentes principais (PCA) mostra que um número pequeno de componentes (PC1 e PC2) conseguiram explicar maior variabilidade nos dados originais (76,24%) e, no tratamento EETSA houve maior absorção de nutrientes explicada da PC1 e maior acúmulo de N observado no tratamento AcCA explicado na PC2. Os teores foliares do fósforo e potássio foram os que mais se correlacionaram no cultivo submetido ao tratamento EETSA.

Palavras-chave: leitos cultivados, qualidade de água, irrigação, reúso, qualidade do solo, *Helianthus annuus* L.

ABSTRACT

The main objective was to evaluate the integration of sewage treatment in the root zone (SZR) and the dynamics of the nutrients present in the treated sewage effluent (EET) in the irrigation of ornamental sunflower, species (*Helianthus annuus* L.), Sunbright. Referent to sewage treatment, the performance of a sewage treatment plant (ETE) is evaluated, installed at the Água Limpa Farm (FAL) at the University of Brasília (UnB), made up of three septic tanks (TS) in series as primary treatment, followed by three parallel subsurface flow SZR, filled with gravel #2, vegetated with aquatic species cattail (*Typha* spp) (SZRT), Brazilian papyrus (*Cyperus giganteus*) (SZRP) and water hyacinth (*Eichhornia crassipes*.) and a non-cultivated system – control (SnC). After the SZR, the effluent was transferred to a 2000 L box where it was applied by drip irrigation. The experimental design for ornamental sunflower cultivation was completely randomized, in a 2 x 2 factorial scheme, with two types of irrigation water, stream water (Ac) and TSE and soil with and without fertilization, with 6 useful pots (pots useful) of 11 L capacity, filled with Red Yellow Latosol (LVA). In the ETE, the physical, chemical and microbiological attributes of the raw sewage at the entrance of the first septic tank (TS), the affluent and the effluent of the SZR were quantified, obtaining the absorption of nutrients by the macrophytes. In sunflower cultivation, the following parameters were evaluated: plant height (AP) and stem diameter (DC) at 15, 25, 35, 55, 70 days after sowing (DAS) and at the R6 stage (final flowering). If also the number of leaves (NF), leaf area index (IAF), internal diameter of the capitulum (DIC), external diameter of the capitulum (DEC), number of petals in the capitulum (NP), days after harvest (DPC), Shoot fresh phytomass (FFPA), shoot dry phytomass (FSPA), capitulum fresh phytomass (FFC), capitulum dry phytomass (FSC), nutrient content in sunflower aerial part, principal component analysis (PCA) , nutrient input by TSE application and influence on soil chemical attributes. In the ETE, it was concluded that the phosphorus content reduced by 41% after going through three TS and increased in the effluent of the SnC and in all the SZR. Potassium, total iron and calcium decreased in the effluent compared to the influent in all SZR. On EET, turbidity showed a strong Pearson correlation with sodium (0.61) and sodium absorption ratio. In relation to the sunflower cultivation, it was concluded that the AP was higher in the EETCA treatment at 15, 25, 35 and 70 DAS and the DC at 15, 25 and 35 DAS in the EETCA treatment compared to the Ac treatment. The NF was higher in the EETCA treatment at 70 DAS and IAF at 15, 25, 55 and 70 DAS compared to the treatments irrigated with Ac. The DIC, DEC, NP, DPC, FFPA, FSPA, FFCA and FSCA, in the treatments irrigated with EET were higher in relation to Ac and fertilized higher in relation to the one without fertilization. The EETSA treatment was the one that most contributed with the main components in the absorption of P, K, S, B and Mn in the sunflower aerial part. The

pH, Ca and K in the soil at the end of the experiment decreased in all treatments while P and Fe increased. Principal component analysis (PCA) shows that a small number of components (PC1 and PC2) were able to explain greater variability in the original data (76.24%) and, in the EETSA treatment, there was greater absorption of nutrients explained by PC1 and greater accumulation of Not observed in AcCA treatment explained in PC2. Phosphorus and potassium leaf contents were the ones that most correlated in the crop submitted to the EETSA treatment.

Keywords: constructed wetlands, water quality, irrigation, reuse, soil quality, *Helianthus annus* L.

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1. Critérios adotados na interpretação da qualidade das águas de irrigação. | 21 |
| TABELA 2. Diretrizes da OMS para irrigação agrícola com esgotos sanitários..... | 22 |
| TABELA 3. Informações técnicas do girassol. Adaptação da cooperativa Veiling Holambra para Girassol..... | 27 |
| TABELA 4. Padrão para comprimento e espessura das hastes do Girassol. Adaptação da cooperativa Veiling Holambra para Girassol. | 27 |
| TABELA 5. Diâmetro do botão para Girassol. Adaptação da cooperativa Veiling Holambra para Girassol..... | 28 |
| TABELA 6. Adaptação da cooperativa Veiling Holambra para Girassol. Defeitos graves e defeitos Leves. | 28 |
| TABELA 7. Localização dos pontos de coleta do afluente e efluente para análise tanques sépticos e nos leitos cultivados. | 35 |
| TABELA 8. Atributos e unidades analisados no afluente e efluente na ETE/FAL/UnB. | 36 |
| TABELA 9. Características químicas do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico no início do experimento..... | 38 |
| TABELA 10. Valores médios P, Ca+ K, Fe, SST, ST, CE, turbidez, Mg, Na, NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , DQO, OD e RAS, CV e Ef e teste de comparação de médias entre os pontos avaliados na estação tratamento de esgoto e comparação com a água do córrego. | 47 |
| TABELA 11. Valores de pH, P, K, Ca e Fe em diferentes locais da ETE, no solo e na parte aérea do girassol e eficiência. | 53 |
| TABELA 12. Correlações de Pearson dos valores médios dos atributos analisados no efluente dos SnC, SZRP, SZRT e SZRA..... | 60 |
| TABELA 13. Altura da planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC) e área foliar (AF) das plantas de girassol ornamental Sunflower aos 15, 25, 35, 55 e 70 dias após semeadura (DAS) irrigado com EET e Ac em solo com adubação (CA) e sem adubação química sintética (SA). | 61 |
| TABELA 14. Análise estatística do diâmetro interno do capítulo (DIC), diâmetro externo do capítulo (DEC), número de pétalas (NP), dias pós colheita (DPC), fitomassa fresca e seca da parte aérea (FFPA e FSPA) e do capítulo (FFCA e FSCA) de plantas de girassol ornamental Sunflower no estágio R6 (floração final)..... | 62 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. Condições meteorológicas durante o ciclo do girassol. temperatura do ar máximas, mínimas e médias do ar e umidade relativa do ar máximas, mínimas e médias..... | 29 |
| FIGURA 2. Local de cultivos de girassol Sunflower Sunbright. Vasos com plantas ausentes já haviam sido colhidas | 31 |
| FIGURA 3. Vista dos três tanques sépticos (TS1, TS2 e TS3) indicando a direção do fluxo de esgoto. | 32 |
| FIGURA 4. Vista em corte dos três tanques sépticos instalados em série..... | 33 |
| FIGURA 5. Caixa de passagem para os leitos cultivados (a), vista dos leitos cultivados e do não cultivado (b) e do cavalete de controle do nível do efluente no interior dos leitos (c), imagem interna do SZR (d) e colocação da brita no interior dos SZR (e)..... | 34 |
| FIGURA 6. Localização da estação de tratamento de esgoto - ETE/FAL/UnB. Unidades em metros e pontos de coleta de amostras (P1 a P8). | 35 |
| FIGURA 7. Curva de retenção de água com valores de unidade volumétrica gerada pelo método da câmara de pressão de Richards em função do potencial matricial do Latossolo Vermelho Amarelo, segundo o modelo de van Genuchten..... | 39 |
| FIGURA 8. Girassol Sunflower Sunbright cultivado no experimento. | 40 |
| FIGURA 9. Altura do papiro-brasileiro (cm), em dias após transplântio (15, 35 e 70) para as partes de 1 a 4 com apresentação dos erros dos dados experimentais..... | 43 |
| FIGURA 10. Imagem do papiro-brasileiro para os blocos de 1 a 4..... | 44 |
| FIGURA 11. Altura da taboa (cm) em dias após transplântio (15, 35 e 70) para as partes de 1 a 4 em 20/11/19 com apresentação dos erros dos dados experimentais. | 44 |
| FIGURA 12. Imagem da taboa nas partes de 1 a 4 em 20/11/19..... | 45 |
| FIGURA 13. Biplot – Análise de componentes principais (PCA) e teores de macro (N, P, K, Ca, S) e micronutrientes (B, Fe, Mn, Zn) no girassol e suas correlações entre os diferentes tratamentos. | 64 |

ABREVIATURAS

FAL. - Fazenda Água Limpa
UnB. - Universidade de Brasília
ETE. - Estação de tratamento de esgoto
EET. - Efluente Esgoto Tratado
SZR. - Sistema de zona de raízes
SZRP. - Sistema de zona de raízes com as espécies aquáticas papiro-brasileiro (*Cyperus giganteus*).
SZRT. - Sistema de zona de raízes com a espécie aquáticas taboa (*Typha spp*).
SZRA. - Sistema de zona de raízes com as espécies aquáticas aguapé (*Eichhornia crassipes*).
TS. - Tanques sépticos.
SnC. - sistema não cultivado – testemunha
ETT. - água de irrigação,
AC.- água do córrego
LVA. -Latossolo Vermelho Amarelo
AP.-Altura de planta
DC.-diâmetro do caule
DAS. -Dias após semeadura
R6. -Floração final
NF. - Número de folhas
AF. - índice de área foliar
DIC.-diâmetro interno do capítulo
DEC.-diâmetro externo do capítulo
NP. - Número de pétalas no capítulo
DPC. -Dias pós colheita
FFPA. - Fitomassa fresca da parte aérea
FSPA. - Fitomassa seca da parte aérea
FFC. - Fitomassa fresca do capítulo
FSC. - Fitomassa seca do capítulo
PCA. - Componentes principais
EETCA. - Efluente de esgotos tratados com adubação
EETSA. - Efluente de esgotos tratados sem adubação
AcCA. - Água do córrego com adubação
AcSA. - Água do córrego sem adubação.

1 INTRODUÇÃO

A evidente diminuição da oferta de água doce com qualidade apropriada aos diversos usos humanos e o aumento da demanda pelos diversos setores da economia brasileira, especialmente na época de seca, despertou o interesse dos gestores públicos, empresas privadas e da comunidade científica no uso de água de qualidade inferior, como de efluente de esgoto doméstico tratado (EET) para a irrigação de culturas agrícolas. Notadamente por se constituir uma fonte alternativa de água, mas também pelo aporte de nutrientes disponíveis nos esgotos tratados às plantas cultivadas, bem como pela preocupação com a redução dos impactos negativos devido ao lançamento de esgotos sem tratamento adequado em fontes hídricas superficiais e subterrâneas.

Segundo o IBGE (2018) a demanda por recursos hídricos no Distrito Federal, Brasil, por exemplo, se acentuou nos últimos anos, devido ao crescimento substancial da população que chegou a 3.039.444 de habitantes, superando as expectativas projetadas para o consumo de água do Plano Piloto e regiões administrativas.

A falta de manutenção dos sistemas de drenagem, bem como sua operação inadequada, associadas aos investimentos insuficientes em obras de infraestrutura, podem resultar em danos humanos e econômicos, decorrentes de eventos hidrológicos impactantes como enchentes, enxurradas e alagamentos. Esses eventos causam danos à saúde da população em função do contato com águas contaminadas. Águas pluviais contaminadas contribuem para o aumento de doenças de veiculação hídrica tais como: cólera, febre tifoide, hepatite A, doenças diarreicas agudas, leptospirose e doenças cujos vetores se desenvolvem na água (dengue, febre amarela, chikungunha, malária (BRASIL, 2021)

No estado da arte futura, acredita-se numa atuação mais eficiente dos legisladores e da pesquisa voltada às questões ambientais, especialmente no uso eficiente da água e de fontes alternativas para fazer frente à demanda crescente. Devido à dificuldade na oferta de água para a irrigação em quantidade adequada, fontes de qualidade inferior, em muitos locais, é a única alternativa, mesmo que para certos períodos do ano.

Para GARCÍA et al. (2019), no enfrentamento dessa situação de escassez e pressão, é necessário reforçar as fontes de água não convencionais, como purificação e reutilização da água residuais. A purificação e reutilização da água é uma atividade importante que entra na estrutura da economia circular, uma vez que visa principalmente reduzir o impacto ambiental derivado de descargas de água poluída e aumento de recursos hídricos disponíveis, modificando a qualidade da água já utilizada, para que possam ser reutilizadas segundo a sua qualidade. Para ANDRADE FILHO et al. (2017), a reutilização de águas residuais constitui uma prática muito benéfica,

destacando-se o uso dessas águas na prática de irrigação, principalmente em culturas cujo produto não se destina a fins comestíveis.

Com a crescente conscientização de que a água é um recurso natural limitado de expressivo valor econômico, técnicas de uso sustentável e racional são cada vez mais difundidas, dentre elas o uso de EET para fins de irrigação se destaca pelo reaproveitamento da água junto com o aporte de nutrientes nela presente e pelo fato de ser empregada na agricultura o setor que utiliza maior volume de água (ALMEIDA, 2010).

Para SILVA et al. (2014) a água de qualidade inferior, sempre que possível, deve ser considerada como uso alternativo, com as tecnologias adequadas para tratá-la, de forma que possa ser aplicada em várias atividades humanas (uso na agricultura, resfriamento de maquinário, construção civil, entre outras atividades). A utilização do esgoto tratado pode representar uma fonte de água e nutrientes disponível para aplicação na agricultura, mesmo durante os períodos de estiagem (SHAER-BARBOSA et al., 2014).

A irrigação de plantas com efluente de esgoto tratado, mesmo possuindo consideráveis teores de nutrientes, nem sempre é suficiente para atender a demanda nutricional das mesmas, e, portanto, há a necessidade de suplementação com adubação sintética para garantir o seu melhor desenvolvimento. Para SCHIAVON et al. (2018) informações sobre a composição química e o acúmulo de nutrientes em folhas e frutos do girassol são imprescindíveis para se conhecer as exigências nutricionais da espécie, podendo subsidiar a estimativa da quantidade de nutrientes a ser fornecida às plantas por meio da adubação.

No entanto, o tratamento aplicado ao esgoto deve atender aos objetivos que se propõe com o reúso, mas, no Brasil, além disso, tem importante função social ao propiciar a descentralização do tratamento de esgoto em locais não atendidos pelas estações de tratamento públicas, com visível redução de enfermidades de veiculação hídrica. Para GARZÓN et al. (2017), várias opções foram desenvolvidas para o tratamento biológico e biorremediação de esgotos, a fim de transformar esses poluentes em outros menos tóxicos ou redutor de concentrações, contribuindo para a prevenção de alterações nos ecossistemas. Dentro desta categoria estão os pântanos artificiais, também denominados leitos cultivados ou wetlands, sistema de zona de raízes (SZR) que combinam a propriedade de meios filtrantes, ação sobre microrganismos e atuação das plantas para remoção de diferentes poluentes presentes em efluentes residuais.

A composição do esgoto é bastante variável, a escolha do tratamento depende das condições mínimas estabelecidas para a qualidade da água dos mananciais receptores, a tecnologia de tratamento está em função da composição deles e do tipo de qualidade que se pretende atingir. O processo de tratamento do esgoto pode adotar diferentes tecnologias para depuração do efluente.

E cada tratamento pode estar formado por uma ou mais unidades depuradoras que incluem diferentes etapas com objetivos diferentes de remoção de poluentes específicos. Nesse contexto, sistemas naturais vêm se destacando como pós-tratamento de esgoto para aproveitamento agrícola, pois propiciam meios favoráveis à remoção de turbidez, sólidos suspensos e promovem a nitrificação e, além disso, o efluente pode conter nutrientes. Agregam, ainda, simplicidade, em muitos casos não demandam energia elétrica, podendo ser incorporados à paisagem e encontram no Brasil condições climáticas favoráveis para sua implantação.

Os SZR apresentam maiores vantagens em comparação aos tratamentos convencionais, como as destacadas por CRESPI et al. (2018): são sistemas ecológicos que eliminam sólidos em suspensão, atributos orgânicos eutrofizantes, microrganismos patogênicos e metais tóxicos, custos de instalação são mais baixos que os de uma estação de tratamento convencional nas condições da América Latina devido ao baixo preço da terra, sua implementação e manutenção são simples e com reduzido ou nenhum consumo de energia.

Adicionalmente, melhora a biodiversidade ecológica, se integram esteticamente ao projeto paisagístico e pode ser uma fonte de renda alternativa. Assim, processos biológicos com SZR são talvez o mais importante para a remoção de contaminantes, que se iniciam com a captação de oxigênio pela planta. Alguns sais são essenciais às plantas, como íons nitrato, amônio e fosfato e a remoção dos mesmos pode variar dependendo da idade da planta, ao mesmo tempo, os microrganismos presentes nos substratos removem compostos orgânicos.

O comportamento e a interferência das plantas aquáticas nesse tipo de tratamento de esgoto devem ser melhor avaliados, já que transferem para a atmosfera via transpiração grandes volumes de água e absorvem sais do efluente, influenciando na eficiência do tratamento. Embora as macrófitas absorvam certa quantidade de nutrientes, que para reúso de plantas irrigadas não é interessante, do ponto de vista ambiental é altamente favorável, por reduzir, especialmente, as possibilidades de eutrofização de corpos receptores devido ao lançamento desse efluente.

Segundo o IBRAFLOR (2018), o setor é responsável no Brasil por 199.100 empregos diretos, dos quais 78.700 (39,53%) são relativos à produção, 8.400 (4,22%) à distribuição, 105.500 (53,00%) ao varejo e 6.500 (3,26%) em outras funções, com crescimento de 8 a 10% no ano de 2019. Já no Distrito Federal (DF) o agronegócio das flores e plantas ornamentais possui uma demanda de 61.420,64 plantas a serem transportadas mensalmente pelos Correios, sendo o DF o mercado consumidor mais promissor do país por concentrar a maior renda per capita e devido ao grande número de eventos sociais e políticos (VIANA et al., 2017).

O girassol ornamental está entre as espécies em expansão e de importância no mercado da floricultura, uma vez que são flores de corte e podem ser cultivadas durante todo o ano, em função

de sua ampla capacidade de adaptação às diversas condições de latitude, longitude e fotoperíodo (EMBRAPA, 2017).

No cultivo de espécies ornamentais, a nutrição das plantas é fundamental para se obter flores de qualidade comercial (DAMASCENO et al., 2011). Segundo ANDRADE et al. (2017), o diagnóstico foliar reflete os efeitos da interação solo-planta-clima e manejo cultural, sendo uma ferramenta para se estabelecer o manejo racional de adubação, permitindo aplicar o suprimento adequado de nutrientes com base na variação quantitativa dos teores nutricionais do tecido vegetal.

Nesse contexto, o objetivo foi avaliar a dinâmica dos nutrientes desde o esgoto bruto, afluente e efluente dos tanques sépticos (TS) e nos sistemas de zona de raízes (SZR), desenvolvimento, variáveis biométricas e teores de nutrientes na parte aérea do girassol ornamental e qualidade química do Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), comparado com água bruta de um córrego (Ac), com (CA) e sem (AS) adubação inorgânica química.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho foi avaliar a integração do tratamento de esgoto em zona de raízes (SZR) e a dinâmica dos nutrientes presentes no efluente de esgoto tratado (EET) na irrigação de girassol ornamental, espécie Sunflower (*Helianthus annuus* L.), Sunbright.

2.2 Objetivos Específicos:

Na ETE/FAL/UnB

- Quantificar atributos físicos, químicos e coliformes totais e *E. coli*. no afluente do TS, no afluente e efluente ao SZR e SnC e físicos e químicos;
- Mensurar o desenvolvimento das espécies aquáticas em SZR (altura);
- Determinar a evapotranspiração potencial nos SZR e no SnC;
- Identificar a capacidade de absorção de nutrientes do efluente pelas diferentes espécies de macrófitas comparadas ao leito não cultivado – testemunha.

No reúso do efluente para irrigação de flores

- Quantificar atributos físicos, químicos e coliformes totais e *E. coli*. na água do córrego e no EET usada na irrigação;
- Mensurar atributos morfológicos do girassol;
- Quantificar a quantidade de sais adicionado ao solo pelo uso de EET;
- Mensurar alterações dos atributos químicos do solo cultivado com girassol e irrigado com Ac e EET.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Sistemas naturais de tratamento de esgoto

O tratamento de esgotos é desenvolvido, essencialmente, por processos biológicos, associados às operações físicas de concentração e separação de sólidos. Processos físico-químicos, como de coagulação e floculação, normalmente não são empregados por resultarem em maiores custos operacionais e menores eficiências na remoção de matéria orgânica biodegradável. Os processos biológicos podem ser classificados ainda em função da retenção ou não de biomassa, entendendo-se por biomassa os microrganismos responsáveis pela degradação de matéria orgânica dos esgotos. Nos processos em que não se pratica retenção de biomassa, o tempo de detenção hidráulica, que é o tempo de passagem do esgoto pelo sistema, é equivalente ao tempo médio de residência celular, também conhecido por idade do lodo, que representa o tempo de permanência dos microrganismos no sistema (METCALF & EDDY, 1991).

Os wetlands ou sistemas de zona de raízes (SZR) construídos são sistemas que utilizam o princípio de solo úmido cultivado onde o complexo solo-microrganismos-rizosfera da planta é responsável pela despoluição das águas residuárias. Esses sistemas podem desempenhar funções semelhantes ao tratamento convencional dos esgotos domésticos por meio de processos físicos, químicos e biológicos. Porém, o tratamento com SZR construídos é mais indicado para pequenas comunidades, inclusive as comunidades rurais. Nesse tipo de sistema é possível obter tratamento terciário em uma única unidade, com custos bastante reduzidos, e também utilizar plantas produtoras de grãos, agregando benefícios econômicos, financeiros e ambientais (SILVA et al., 2015).

Nesse contexto de proteger a saúde pública e os recursos hídricos, é recomendável o tratamento de esgotos e posterior reúso, como sendo a melhor solução, tema que já foi abordado em muitas pesquisas científicas e que demonstram a eficácia da utilização de sistemas naturais para remoção de poluentes a seguir:

Segundo SANTIAGO et al. (2005), as wetlands construídas são consideradas filtros biológicos, que possuem microrganismos capazes de promover reações de depuração de água. Os microrganismos, com sua diversidade genética e adaptabilidade funcional são capazes de degradar substâncias diversas, presentes na água, promovendo, assim, seu desenvolvimento.

Os custos do tratamento de águas residuárias a partir da fitodepuração com a finalidade de reúso podem variar muito conforme as características do efluente a ser tratado, do clima da região, dos critérios do projeto, das condições locais e dos custos locais unitários como mão de obra, materiais, terreno e energia. Além disso, quanto à estimativa de custos, esta deve compreender o

levantamento dos custos de implantação e os custos anuais de operação distribuídos no tempo (SANTOS, 2011).

3.1.1 Tanques sépticos

Segundo a NBR 7229/1992 (ABNT, 1992), tanque séptico é definido como a unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão. E eles podem ser de dois tipos, tanque séptico de câmara única, definido como uma unidade de apenas um compartimento, em cuja zona superior deve ocorrer processos de sedimentação e de flotação e digestão da espuma, prestando-se a zona inferior ao acúmulo e digestão do lodo sedimentado; e tanque séptico de câmaras em série definido como uma unidade com dois ou mais compartimentos contínuos, dispostos sequencialmente no sentido do fluxo do líquido e interligados adequadamente, nos quais devem ocorrer, conjunta e decrescentemente, processos de flotação, sedimentação e digestão.

Os sistemas de tanque sépticos são os sistemas de tratamento mais amplamente usados no mundo para o tratamento e disposição de esgoto doméstico (RICHARDS et al., 2016). O tanque séptico é um sistema individual, conectado a uma única edificação, que opera como um digestor anaeróbio de baixa carga orgânica, apresentando eficiência de remoção de DQO entre 40 e 70%, e de 50 a 80% na remoção de sólidos suspensos totais (ANDRADE NETO et al., 1999).

Os tanques sépticos são reatores biológicos anaeróbios que tratam o esgoto na ausência de oxigênio livre. Na superfície do tanque fica acumulada a espuma, formada a partir de sólidos flotáveis, enquanto o lodo sedimenta no fundo do tanque, formando uma biomassa anaeróbia (ANDREOLI, 2009).

No processo de digestão anaeróbia do esgoto um conjunto de microrganismos realiza a transformação de compostos orgânicos complexos em compostos mais simples na ausência de oxigênio molecular, estabilizando a matéria orgânica presente no meio. Porém, no tanque séptico a matéria orgânica é degradada com mais intensidade na interface do lodo sedimentado com o esgoto, enquanto a fração de matéria orgânica dissolvida, por não ficar em contato com a massa microbiana sedimentada, sofre pouca degradação (ÁVILA, 2005).

3.1.2 Tratamento de esgoto em sistema de zona de raízes

Os sistemas de raízes é muito importante, deve-se conhecer e avaliar a sua eficiência porque ele é o responsável pelos processos de biodegradação.

Para ITRC (2003), os processos bióticos, como biodegradação e assimilação pelas plantas, associados aos processos abióticos, também são responsáveis pela remoção de contaminantes. Alguns processos microbiológicos e fitológicos que ocorrem são descritos a seguir:

- Biodegradação aeróbico-anaeróbica - processos metabólicos dos microrganismos que possuem um papel significante na remoção de compostos orgânicos;
- Fitoacumulação - assimilação e acumulação de elementos inorgânicos em plantas;
- Fitoestabilização - a habilidade para sequestrar compostos inorgânicos pelas raízes das plantas;
- Fitodegradação - enzimas produzidas por plantas responsáveis pela “quebra” de contaminantes orgânicos e inorgânicos que são assimilados pela planta durante transpiração;
- Rizodegradação - plantas produzem exudatos que incrementam a degradação microbiológica de compostos orgânicos e
- Fitovolatilização/evapotranspiração - assimilação e transpiração de compostos voláteis através das folhas.

A transição de zonas aeróbias e anaeróbias nos resíduos, sedimentos e camadas do leito filtrante promovem a diversidade microbiana. As plantas e os microrganismos têm uma relação simbiótica complexa, beneficiando frequentemente um ao outro por meio da troca de nutrientes ou exudatos, ou através de outros mecanismos (ITRC, 2003).

AZEVEDO (2014) quantificou o acúmulo de nutrientes por forrageiras cultivadas em sistema de escoamento superficial para tratamento de esgoto doméstico. No estudo do fator corte para cada nível de forrageira, o capim Tifton 85 apresentou maior acúmulo de nitrogênio no primeiro corte seguido de capim Marandu e Pojuca. Os resultados de acúmulo de nitrogênio para o capim Marandu, foi em média de 3,26 dag kg⁻¹ (228,08 kg ha⁻¹), capim Tifton média de 3,54 dag kg⁻¹ (252,06 kg ha⁻¹). O aumento das taxas de aplicação de esgoto doméstico proporcionou efeito linear no acúmulo de fósforo atingindo valor máximo quando aplicada a taxa de ED (esgoto doméstico) de 37,67 kg ha⁻¹ dia⁻¹.

Dada a sua heterogeneidade filogenética, são geralmente classificadas segundo seu biótipo no ambiente aquático, nos seguintes grupos ecológicos (ESTEVES, 2011).

a. Macrófitas aquáticas emersas: enraizadas, porém com folhas fora d'água. Ex: *Eleocharis sp*, *Typha domingensis*.

b. Macrófitas aquáticas com folhas flutuantes: enraizadas e com folhas flutuando na superfície da água. Ex: *Nymphaea sp*, *Nymphoides sp*.

c. Macrófitas aquáticas submersas enraizadas: enraizadas, crescendo totalmente submersas na água. Ex: *Egeria densa*, *Mayaca sp*.

d. Macrófitas aquáticas submersas livres: permanecem flutuando submergidas na água. Geralmente prendem-se a pecíolos e caules de outras macrófitas. Ex: *Utricularia sp.* e. Macrófitas aquáticas flutuantes livres: flutuam na superfície da água. Ex: *Pistia stratiotes*, *Eichhornia sp.*

As macrófitas aquáticas desempenham um papel extremamente importante no funcionamento dos ecossistemas em que ocorrem, sendo capazes de estabelecer uma forte ligação entre o sistema aquático e o ambiente terrestre que o circunda.

Entre os importantes papéis desempenhados pelas macrófitas, podemos citar:

- Atuam como liberadores de nutrientes; absorvendo os nutrientes do sedimento por suas raízes e liberando-os na água, através de sua excreção ou durante sua decomposição.
- Fornecem materiais de importância econômica para a sociedade, pois podem ser utilizados como alimento para o homem e para o gado, como fertilizante de solo, como fertilizante de tanques de piscicultura ou abrigo para alevinos, como matéria prima para a fabricação de remédios, utensílios domésticos, artesanatos e tijolos para a construção de casas, como recreação e lazer, pois são cultivadas em lagos artificiais como plantas ornamentais.
- Algumas macrófitas aquáticas são hospedeiras de algas e bactérias fixadoras de nitrogênio.
- Proporcionam local adequado para o desenvolvimento de microrganismos, pois suas raízes servem de substrato.

A utilização de macrófitas aquáticas para tratamento de águas residuárias ou para despoluir corpos aquáticos, requer um manejo contínuo da vegetação para manter a eficiência de remoção de poluentes, gerando, assim, uma elevada quantidade de biomassa (AZEVEDO, 2014).

FERREIRA (2013) avaliou o comportamento e a eficiência de um sistema de tratamento de esgoto sanitário composto por reator UASB seguido de wetlands construídos. Os efluentes avaliados foram Efluente Reator UASB, Efluente WC com Sombrinha-chinesa e Efluente WC com Taboa em duas etapas com e sem recirculação. Os resultados obtidos apontam das eficiências médias de remoção, respectivamente, na primeira e segunda etapa da pesquisa foram: nitrogênio total de 0 a 40% e 13 a 33% e nitrogênio amoniacal de 0 a 39% e 14 a 37%. As concentrações de coliformes termotolerantes e totais no afluente as unidades de wetlands construídos foram da ordem de 10^5 e 10^6 NMP 100 mL^{-1} , respectivamente. Com relação ao manejo das macrófitas, observou-se que nas unidades com a taboa como espécie de macrófita, ocorria um crescimento mais rápido que a da outra espécie, a sombrinha-chinesa, ocasionando numa demanda de poda e produção de resíduo do processo mais intensa.

MARIN, (2017) estudou e comparou duas LAT (lagoas de alta taxa), uma operada com macrófitas flutuantes (LATM) e outra com algas (LATA), para produção de biomassa e nos parâmetros de estabilidade, as macrófitas foram retiradas periodicamente e a densidade média foi

de $36,5 \pm 13 \text{ g m}^{-2}$. Uma análise proximal da composição das macrófitas revelou conteúdos de matéria orgânica de 76,6%, proteína bruta de 35,7%, fibra bruta de 12,3%, extrato etéreo de 2,23% e não nitrogenados de 26,3%.

3.1.3 Microrganismos no sistema de wetlands

As wetlands (WETCs) construídas possuem ampla variedade de micro-habitat para crescimento microbiano, são extremadamente heterogêneas quando comparadas a outros sistemas biológicos de tratamento. Entre os grupos de microrganismos que habitam as WETC`s, as bactérias são as mais representativas, responsáveis pelos processos de decomposição de matéria orgânica de nitrificação e desnitrificação. Estes microrganismos estão presentes nos esgotos, aderidos ao meio suporte das wetlands e nas raízes das macrófitas formando o biofilme. O biofilme pode ser definido como um conjunto de microrganismos e de produtos extracelulares que aderem a um suporte sólido, formando uma camada volumosa e espessa, com uma estrutura externa não totalmente regular e uniforme. O biofilme é composto por $91 \pm 5\%$ de água, $2,5 \pm 0,5\%$ de matéria volátil e de $6,7 \pm 4,8\%$ de matérias não voláteis (POCAS, 2015).

As comunidades de bactérias em ambientes naturais e eutrofizados têm importante papel na produção e degradação de matéria orgânica e de vários poluentes ambientais, bem como no ciclo do nitrogênio, enxofre e muitos metais. A maioria desses processos requer organismos com diferentes capacidades metabólicas que constituem os biofilmes (BENTO, 2005).

A relação alimento microrganismo (A/M), também chamada de carga de lodo, baseia-se na matéria orgânica presente no afluente a ser tratado e a quantidade de microrganismos necessários para degradá-la. Define-se a relação alimento/microrganismo como a quantidade de carga orgânica que se aplica a biomassa por dia, dada em $\text{g DQO g}^{-1} \text{SSV}$ (sólidos suspensos voláteis) dia (SILVA, 2017).

O objetivo de controlar a relação A/M é o de manter constante esta relação, de forma a garantir remoção uniforme de substrato (Von SPERLING, 2005).

Segundo Von SPERLING (2005), quanto maior a carga de DQO fornecida a um valor unitário de biomassa (elevada relação A/M), menor é a eficiência na assimilação deste substrato, pois, significa maior oferta de matéria orgânica biodegradável do que a capacidade de consumo da biomassa. Inversamente, quanto menos matéria orgânica for fornecida às bactérias (baixa relação A/M), menor foi a oferta de substrato e, por consequência, maior foi a demanda pelo alimento, causando maior eficiência na redução da DQO, pois, os mesmos irão consumir praticamente toda a matéria orgânica do afluente.

Por tanto, os microrganismos presentes no biofilme irão promover as ações de depuração de esgotos nos leitos cultivados. A matéria orgânica presente no esgoto foi digerida pela população de microrganismos no biofilme formado ao redor das raízes das macrófitas. Os mecanismos de transporte de oxigênio nos leitos cultivados são a convecção, a difusão e a transferência via macrófitas. O transporte de oxigênio via convecção acontece devido à existência de um gradiente de pressão entre o ar e o material filtrante (SILVA, 2017).

A transferência de O₂, via macrófitas, ocorre porque estas plantas transportam o oxigênio atmosférico das folhas para as raízes através dos tecidos vasculares. A remoção do nitrogênio e fósforo e também assegurada pela decomposição da matéria orgânica presente nos esgotos. O nitrogênio pode ser assimilado pelas macrófitas e a microflora e transformado em amônia e nitrato. O fósforo total no esgoto doméstico apresenta-se em forma de fosfatos orgânicos e inorgânicos, a fração orgânica é de origem fisiológica e a fração inorgânica é proveniente de detergentes ou outros produtos químicos de uso doméstico (CORRERA, 2013).

3.2 Reúso de efluente de esgoto tratado na irrigação

O reúso é uma das possibilidades de compromisso para reversão do quadro de escassez, sendo uma das maneiras de unir comprometimento social e ambiental. O reúso de água constitui método que minimiza a produção de efluentes e o consumo de água de qualidade superior - água distribuída pelas concessionárias públicas, ou retirada diretamente dos mananciais hídricos - devido à substituição da água potável por água que já fora previamente usada. Pode ser compreendido como alternativa recomendável para satisfazer a demanda menos exigente, liberando as águas de melhor qualidade para uso mais nobre, qual o abastecimento doméstico, e outros usos prioritários. Sendo o reúso um modo de recuperação de água poluída, as propriedades da água utilizada, tais como pH, turbidez, temperatura, presença ou não de metais pesados, concentração máxima de matéria orgânica e de organismos patogênicos, entre outras, definirão a finalidade específica do reúso (DANTAS & SALES, 2009).

Dentre as vantagens da utilização do solo como forma de tratamento/ disposição final das águas residuárias estão as seguintes: – o solo é um meio filtrante que possibilita remoção de sólidos em suspensão e dissolvidos, além de patógenos, presentes na água residuária; – não lançamento em corpo hídrico receptor superficial; – possibilidade de aproveitamento da água e, principalmente, dos nutrientes e materiais orgânicos contidos na água residuária: • em recarga de aquíferos, concorrendo para aumento na disponibilidade de água no sistema; • em fertirrigação, o que possibilita o aumento na produtividade agrícola das culturas; baixo investimento na implantação do sistema de tratamento/ disposição final, quando comparado aos sistemas

convencionais; baixo custo de operação e consumo de energia; pequena exigência de capacitação de mão de obra (BRAGA & LIMA, 2014).

A escassez hídrica natural em certas regiões e aquela agravada pela poluição dos corpos hídricos, reduzem a quantidade e a qualidade deste recurso tão importante para a vida. Assim, considerando a destinação de fontes de água não poluída para o consumo humano, nos últimos anos o avanço do conhecimento técnico científico em relação ao potencial de reúso da água contribuiu para o aumento do interesse do uso de efluentes em cultivos agrícolas (VILLELA JÚNIOR et al., 2003; FATTA-KASSINOS et al., 2011).

Segundo ALMEIDA, (2010) O reúso direto planejado das águas, ocorre quando os efluentes, após tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local de reúso não sendo descarregado no meio ambiente.

O reúso de água deve ser considerado como parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente da água, o qual compreende também o controle de perdas e desperdícios, e a minimização da produção de efluentes e do consumo de água. Os esgotos tratados têm um papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas, florestais, industriais, urbanos e ambientais. Ao liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários, o uso de esgotos contribui para a conservação dos recursos e acrescenta uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos. O reúso reduz a demanda sobre os mananciais de água devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior. Tal substituição é possível em função da qualidade requerida para um uso específico (CETESB, 2010).

3.2.1 Legislação de reúso de efluente

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela lei 9.433/97, abrange conceitos e objetivos que englobam o reúso da água, ao citar os incentivos ao uso racional (BRASIL, 1997).

BRASIL (2005) estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências, define reúso de água como a utilização de água residuárias; que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas. E define o reúso para fins agrícolas e florestais como a aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas.

A Resolução n.54 considera os seguintes aspectos: i) que o reúso de água se constitui em prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos; ii) a escassez de recursos hídricos observada em certas regiões do território nacional, a qual está relacionada aos aspectos de

quantidade e de qualidade; iii) a elevação dos custos de tratamento de água em função da degradação de mananciais; iv) que a prática de reúso de água reduz a descarga de poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais exigentes quanto à qualidade, e v) que a prática de reúso de água reduz os custos associados à poluição e contribui para a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Na referida resolução são estabelecidas as seguintes modalidades de reúso

I - reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana; II - reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas; III - reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente; IV - reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais; V - reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, confirmou definiu, em 28 de janeiro de 2008, após análise sistemática, a NBR 13.969: 1997 – Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos _ Projeto, construção e operação. Tal NBR foi elaborada pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil, e pela Comissão de Estudo de Instalação Predial de Tanques Sépticos e afirmou que: No caso do esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, o esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, tais como irrigação dos jardins, lavagens dos pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens, etc. (ABNT, 1997).

A Resolução n. 54 (BRASIL, 2005), as recomendações da Agenda 21 em seus capítulos 18 e 21, e demais normas atinentes ao uso e reúso de água, são insuficientes para a adoção de medida de reúso, pois, a Resolução dispôs apenas sobre reúso direto não potável de água, e não abordaram as demais formas de reúso bem como as recomendações da Agenda 21, os princípios ambientais, as séries ISO 14.000, e algumas outras normatizações são apenas diretrizes do direito ambiental. Embora o Brasil careça de uma Lei que defina plenamente o conceito de todas as técnicas de reúso, os parâmetros a serem seguidos, e quais as restrições de uso, ainda assim, as normas da ABNT, do CONAMA, a própria constituição, as recomendações da Agenda 21 e os princípios do direito ambiental procuram juntos, “regulamentar” as aplicações de reúso na medida

em que tutelam os recursos hídricos. Porém, somente uma lei específica, completa, e que seja capaz de estimular ou de impor a adoção de técnicas de reúso (DANTAS & SALES, 2009).

A questão do gerenciamento dos recursos hídricos do Distrito Federal é tratada pela Lei Nº 2.725, de 13/06/2001, institui a Política de Recursos Hídricos e cria o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Distrito Federal. E os seus objetivos são enumerados no Art. 3º São objetivos da Política de Recursos Hídricos: I – assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade e quantidade adequados aos respectivos usos; II – promover a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento humano sustentável; III – implementar a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais; IV – aumentar as disponibilidades em recursos hídricos.

3.2.2 Potencial de reúso de efluente no Brasil e no Distrito Federal

No Brasil estão entrando em operação, em grandes cidades, sistemas de produção de água a partir de esgotos para atendimento de conglomerados industriais. Este é o caso do Projeto Aquapolo, que produz água industrial a partir do esgoto tratado da Estação de Tratamento de Esgotos do ABC Paulista para 10 clientes do Polo Petroquímico de Capuava, São Paulo (AQUAPOLO AMBIENTAL, 2012). O Projeto Aquapolo produz 650 L s^{-1} de água de reúso industrial, com capacidade de expansão de 1000 L s^{-1} . O Aquapolo é o maior empreendimento para a produção de água de reúso industrial na América do Sul, e quinto maior do planeta. Resultado de parceria entre a BRK Ambiental e a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo).

No Distrito Federal não há reúso em escala comercial, apenas algumas pesquisas, como SILVA & SIVA (2004), que avaliou o reúso de efluentes do tratamento de esgotos nos níveis primário, secundário e terciário, coletados na Estação de Tratamento de Esgotos de Brasília - Asa Norte, água do lago Paranoá e água do sistema público de abastecimento da Asa Norte, verificando os efeitos da irrigação no cultivo da Dália anã sortida (*dahlia pinnata*). Os resultados indicaram que foi possível substituir, total ou parcialmente, o fertilizante químico nitrogenado pela incorporação de matéria orgânica do esgoto ao solo, juntamente com a aplicação de cargas de nutrientes. Entretanto, percebeu-se que a alta concentração de nitrogênio presente no efluente primário provocou efeitos tóxicos sobre as plantas, interferindo no seu desenvolvimento. Foram observadas as seguintes eficiências de remoção pelo solo no caso de efluentes primários: 95% de DBO^{5,20}; 100% de DQO e cerca de 99% de amônia.

LEITE (2003) fez uma análise do reúso de água, no contexto da gestão integrada dos recursos hídricos, incluindo uma avaliação qualitativa preliminar do projeto de reúso para fins não potáveis no parque ecológico do Distrito Federal. Uma das conclusões é que, naquele momento, nenhuma forma de ordenamento político, institucional, legal ou regulatório orientava as atividades de reúso praticadas no território nacional. Os projetos existentes são desvinculados de programas de controle de poluição e de usos integrados de recursos hídricos nas bacias hidrográficas. Considerando a reduzida experiência brasileira em reúso planejado e institucionalizado, se faz necessária à implementação de projetos pilotos que contemplem todos os aspectos das diversas modalidades de reúso a fim de fornecer subsídios para o desenvolvimento de padrões e códigos de prática, adaptados as condições e características nacionais, regionais e locais.

SILVA JUNIOR (2016) avaliou o efeito da utilização de efluente de esgotos tratados (EET), proveniente de sanitários de um refeitório, na cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.), híbrido Canário F1. Os tratamentos utilizados foram: água de córrego, EET, água de córrego com adubação de base, EET com adubação de base, EET com adubação de cobertura e EET com adubação de cobertura e de base. Considerando os 253,1 mm de irrigação ao longo da cultura, foi acrescentado pelo EET à quantidade de 9,57 kg ha⁻¹ de nitrogênio total (nitrogênio total é composto por aproximadamente 10% de amônia, 5% de nitrato, 1% de nitrito e 84% de nitrogênio orgânico), 9,84 kg ha⁻¹ de potássio total (11,85 kg ha⁻¹ de K₂O) e 0,46 kg ha⁻¹ de fósforo total (1,04 kg ha⁻¹ de P₂O₅). As altas quantidades de sódio presentes no EET que contribui para o aumento da RAS são compensados pelo aumento de cálcio, porém a quantidade de magnésio não tem influência importante nesta relação devido suas baixas concentrações, já a fenometria da cultura do pimentão amarelo não sofre influências negativas com uso da irrigação com efluente de esgoto tratado.

No Distrito Federal, observam-se várias edificações que praticam a separação da água cinza com equipamentos especiais (separador de água cinza), destinando a água de qualidade inferior, como aquela da primeira lavagem da máquina de lavar roupa, e derivando a água de enxague para um depósito, o qual, após cloração e dentro de um tempo limite, é utilizado para irrigação de área verde, limpeza de calçadas, dentre outros usos não potáveis.

A aplicação de efluentes no solo para agricultura varia muito de acordo com a localidade. SANTOS (2015) informa que a China e o México são países pioneiros na utilização de efluentes na agricultura. No Brasil, mesmo com potencial elevado para a utilização de efluentes, essa prática ainda é pouco aceita apesar de já haver diversos estudos nessa área, demonstrando que poderá ser mais desenvolvida no futuro.

3.2.3 Atributos físicos, químicos e microbiológicos do efluente e padrões para reúso na irrigação

Condutividade elétrica

Segundo ESTEVES (2011), a condutividade elétrica é um parâmetro que pode mostrar modificações na composição dos corpos d'água, mas não especifica quantidades e componentes. É um parâmetro importante para controlar e determinar o estado e a qualidade de água (PIÑEIRO DI BLASI et al., 2013). Existe uma correlação estatística entre a condutividade da água e a concentração de diversos elementos e íons (TUNDISI & MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

De acordo com ESTEVES (2011), este parâmetro é usado para a adequabilidade do efluente tratado para aplicações agrícolas. Para o mesmo autor, a condutividade elétrica muda com a sazonalidade sendo menor no período chuvoso por causa do aumento do fator de diluição dos íons, não obstante o lançamento de efluentes industriais poderem elevar os valores da condutividade elétrica independentemente da sazonalidade. Não existe um padrão de condutividade na legislação, porém, de acordo com Von SPERLING (2007), as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$, e em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Potencial de hidrogeniônico

O pH é uma variável abiótica importante nos ecossistemas aquáticos e de difícil interpretação pela quantidade de fatores que o podem afetá-la (ESTEVES, 2011). O pH influencia a maioria das reações físico-químicas que ocorrem em alagados. Apresenta certa influência na dissociação das formas ionizadas e não ionizadas de ácidos e bases além de controlar a solubilidade de muitos gases. Os íons hidrogênio também fazem parte do conteúdo total de cátions das áreas alagadas e são ativos nos processos de trocas catiônicas com os sedimentos e solos destas áreas (NOGUEIRA, 2003).

Segundo AYERS & WESTCOT (1999) e USEPA (1992), dentre os critérios adotados na interpretação da qualidade das águas de irrigação, a taxa de toxicidade de elementos químicos específicos que afeta culturas sensíveis, para o pH a faixa normal situa-se entre 6,5 e 8,4.

O campo de variação da concentração adequada para a existência da maioria da vida aquática é restrito e crítica (6 a 9). É difícil tratar esgotos com extremas concentrações de íon hidrogênio por meios biológicos. Essa concentração está diretamente associada a extensão com a qual as moléculas de água se dissociam (METCALF & EDDY, 2003).

Oxigênio dissolvido

Esteves (2011) explica que o aumento do oxigênio dissolvido (OD) deve-se à reoxigenação da água, através de fatores como: temperatura, agitação das moléculas de água, velocidade de deslocamento da água e abundância de organismos que nelas vivem. O consumo do oxigênio nos processos respiratórios pelos organismos aquáticos pode vir a causar uma redução da sua concentração no meio, e caso o oxigênio seja totalmente consumido, têm-se as condições anaeróbias, com geração de odores fétidos. O OD é a principal variável de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. A presença de OD nos esgotos é desejável porque previne a formação de odores desagradáveis.

Nitrogênio e fósforo

A forma predominante do nitrogênio na água residual é normalmente o amônio, mas também podem estar presentes os nitratos se o pré-tratamento possui uma ou mais fases aeróbicas. Também em geral, apresentam uma pequena quantidade de nitrogênio orgânico, que em parte é solúvel e prontamente conversível em amônio através da ação microbiana. O nitrogênio orgânico insolúvel, associado a partículas do solo, também pode ser convertido em amônio embora mais lentamente (GARCÍA et al., 2019).

Os elementos nitrogênio e fósforo são essenciais ao crescimento de microrganismos, plantas e animais são conhecidos como nutrientes ou estimulantes.

Durante a digestão o nitrogênio orgânico é convertido em íon amônia pela ação de calor e de ácidos. O nitrogênio em forma de nitrito é relativamente instável e facilmente oxidado pela forma nitrato, sendo o nitrito um indicador de poluição nos processos de estabilização. O nitrogênio nitrato é a forma mais oxidada encontrada nos esgotos. Em estudos sobre tratamento biológico, as frações de nitrogênio orgânico associadas a particulados e solúveis, são ainda fracionadas para avaliar a tratabilidade de esgotos (METCALF & EDDY, 2003).

Ao contrário do nitrogênio, o comportamento do fósforo das águas residuais é controlado principalmente por meio de reações químicas. Nos sistemas de infiltração no solo, os principais mecanismos de eliminação de fosfatos na água são a adsorção e precipitação química dos seus componentes cristalinos ou amorfos: ferro, alumínio ou cálcio (FIORUCCI & FILHO, 2005).

SANCHEZ et al. (2015) verificou teores de fósforo total de 3,01 (mg g⁻¹) na umbela e 1,69 (mg g⁻¹) no caule, sendo que o seu objetivo foi avaliar o potencial de fitoextração da macrófita *Cyperus papyrus* em termos de assimilação de nitrogênio e fósforo em um wetland construído vertical descendente com fundo saturado (WCVD-FS), operado sob baixo carregamento orgânico

e com alimentação intermitente, aplicado no tratamento de esgoto doméstico, sob condições de clima subtropical.

Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico; é um parâmetro utilizado no monitoramento de sistemas de tratamento de efluentes e na caracterização de efluentes industriais. A remoção de demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$) corresponde à quantidade de oxigênio que é consumido pelos microrganismos, na oxidação biológica da matéria orgânica, a 20 °C, durante cinco dias. É, portanto, uma medida indireta da capacidade do sistema em reduzir a carga orgânica. A DBO é o parâmetro mais usual de indicação da poluição por matéria orgânica; a determinação envolve a medida do oxigênio dissolvido utilizado pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica; altos índices podem gerar a diminuição e até a eliminação do oxigênio presente nas águas (FIORUCCI & FILHO, 2005).

A principal fonte de decomposição da matéria orgânica no solo são microrganismos. Isto deve, em princípio, ser uma vantagem, dado o tipo de infiltração rápida no solo. Nos casos em que a concentração é elevada as bactérias se reproduzem em alta velocidade para formar biofilmes que podem obstruir os poros do solo, reduzindo assim a taxa de infiltração e reaeração solo. A remoção de demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5, 20}$) corresponde à quantidade de oxigênio que é consumido pelos microrganismos, na oxidação biológica da matéria orgânica, a 20 °C, durante cinco dias. É, portanto, uma medida indireta da capacidade do sistema em reduzir a carga orgânica (FIORUCCI & FILHO, 2005).

Sólidos suspensos (SS)

A concentração de sólidos suspensos nas águas residuais pode ser altamente variável. Os sólidos em suspensão são praticamente eliminados por filtração, começando com a deposição de grandes partículas em suspensão numa superfície do solo ou na profundidade. Partículas individuais podem ser presas nos poros ou pode muitos deles interagir através do preenchimento de poros a ser imobilizado e impedindo, assim, o seu movimento na direção do fluxo. Uma vez que o movimento de grandes partículas em suspensão tenha sido bloqueado, as próprias partículas servem como filtro para capturar partículas sucessivamente menores (GARCÍA et al. 2019).

Sólidos totais (ST) e totais dissolvidos (STD)

Os sólidos totais dissolvidos (STD) estão relacionados diretamente com a condutividade elétrica (ARAÚJO & OLIVEIRA, 2013; ESTEVES, 2011), sendo utilizados em laboratório de rotina, como medida da salinidade da água e/ ou dos efeitos causados por alguma atividade antrópica que afete um corpo hídrico. Os STD, ao serem relacionados com a condutividade elétrica ou quando não pode ser medido, aplica-se um fator de conversão, como no estudo realizado por FRANČIŠKOVIĆ-BILINSKI et al. (2013), que multiplicou por 0,67 e, desta forma, obteve os STD.

No aproveitamento agrícola do esgoto doméstico, concentrações excessivas de SS e ST podem prejudicar o desempenho do sistema de aplicação, por meio do entupimento de emissores, bem como pela obstrução dos poros do solo, o que resulta em redução da infiltração e condutividade hidráulica de efluente no solo (BATISTA et al., 2013).

Cálcio, magnésio e razão de adsorção de sódio (RAS)

A razão de adsorção de sódio (RAS) é um indicador do risco de sódio na água. O excesso de sódio, em relação a concentrações de cálcio e de magnésio, desagrega as partículas (estrutura) do solo e reduz sua permeabilidade à água e ao ar. Adicionalmente e dependendo da concentração o sódio pode ser tóxico para algumas espécies (BRAGA, 2010).

O sódio é um dos íons encontrados em maior abundância na Terra, sendo solúvel em água. O sódio pode entrar nos corpos d'água por fontes naturais ou antrópicas. No primeiro caso pode ser por lixiviação das rochas e no segundo caso por esgotos sanitários, efluentes industriais e/ou atividades agrícolas (LUCAS et al., 2014). Altas concentrações de sódio na água de irrigação podem interferir nos atributos físicos do solo, causando dispersão da argila, entupimento dos poros e redução da permeabilidade (MUYEN et al., 2011), além de afetar o metabolismo das plantas.

SILVA et al. (2014) avaliaram o efeito da salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio na condutividade elétrica (CEes) e razão adsorção de sódio (RASes) no extrato de saturação do solo na cultura da abóbora. Os tratamentos foram constituídos dos cinco níveis de salinidade (0,5, 1,5, 2,5, 3,5 e 4,5 dS m⁻¹), e três níveis de nitrogênio: N1 = 27,37; N2 = 91,25 e N3 = 155,12 kg ha⁻¹ correspondente a 30%, 100% e 170%, da recomendação de nitrogênio. Houve um aumento da salinidade do extrato de saturação com incremento dos níveis salinos da água e adubação nitrogenada. Os maiores valores de CEes foram verificados na CE (4,5 dS m⁻¹) e 170% da dose de nitrogênio recomendada pelos produtores de abóbora. A razão de adsorção de Sódio (RASes) cresceu proporcional com os valores da condutividade elétrica da água de irrigação.

Parâmetros microbiológicos

Os coliformes totais incluem bactérias na forma de bastonetes gram negativos, anaeróbios facultativos, capazes de fermentar a lactose com produção de gás. Atualmente sabe-se que existem pelo menos três gêneros: *Escherichia*, *Enterobacter* e *Klebsiella*. Este grupo é composto por bactérias da família *Enterobacteriaceae*, capazes de fermentar a lactose com produção de ácido e gás, são bastonetes formadores de esporos aeróbios ou anaeróbios facultativo. A *Escherichia coli* é um dos micro-organismos mais comuns no corpo humano, principalmente no trato digestório. *E. coli* não é um patógeno comum, algumas produzem enterotoxinas que causam a diarreia (GRECHI, 2005).

Os coliformes totais, são formados por bacilos Gram negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não esporulantes, oxidase-negativos, capazes de crescer na presença de sais biliares ou agentes tensoativos, fermentadores de lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5$ °C em 24/48 horas, e que podem apresentar a enzima β -galactosidase (Fundação Nacional de Saúde 20130); (McEGAN et al., 2013).

Os coliformes termotolerantes constituem-se um subgrupo dos coliformes, e além das características compartilhadas, é capaz de se desenvolver e/ou fermentar a lactose com produção de gás a $44,5 \pm 0,2$ °C em 24 horas. A *Escherichia coli* é usado como referência por ocorrer normalmente no intestino de seres humanos e animais de sangue quente, está também associada frequentemente a diferentes patologias intestinais e extra-intestinais, tais como infecções do trato urinário (ITU), bacteremia, pneumonia e meningite (HU, 2013).

3.2.4 Padrões para reúso na irrigação

No Brasil, a Resolução n. 54 de 2005 (BRASIL, 2006), estabelece somente os critérios gerais para o reúso de água potável e reúso direto não potável, modalidades e diretrizes, porém não são estabelecidos os parâmetros e recomendações necessários a esta prática. Segundo a FAO (2015), sempre que águas residuárias forem consideradas como fonte de água na agricultura, a escolha do sistema apropriado de aplicação e uso poderá ser decisiva na produtividade da cultura, na diminuição da contaminação da cultura e do ambiente, na segurança humana, na salinidade e nos riscos de toxicidade.

Os aspectos fundamentais a considerar no reúso da água de irrigação são aqueles que afetam diretamente a conservação do solo e o rendimento e a qualidade das colheitas. Quanto a aspecto da qualidade da água este é definido em função dos critérios de salinidade, sodicidade, toxicidade e outros (ALMEIDA, 2010).

O reúso de água na modalidade agrícola e florestal foi regulamentado no Brasil, por intermédio da Resolução CNRH nº 121, de 16 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010). No entanto, esta resolução ainda não propiciou maior desenvolvimento ao reúso agrícola. Essa Resolução procura assegurar que, no reúso de água para fins agrícolas e florestais, a aplicação da água não apresente riscos ou causar danos ao meio ambiente e à saúde pública. Para isso, estabelece, em seu artigo 2º, que “as características físicas, químicas e biológicas para a água em todos os tipos de reúso para fins agrícolas e florestais deverão atender os limites definidos na legislação pertinente”. Além disso, em seu artigo 3º estabelece que “a caracterização e o monitoramento periódico da água de reúso foram realizados de acordo com critérios definidos pelo órgão ou entidade competente e o produtor da água de reúso é responsável pelas informações constantes de sua caracterização e monitoramento.

A USEPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - também elaborou diretrizes para a irrigação agrícola (Tabela 1).

TABELA 1. Critérios adotados na interpretação da qualidade das águas de irrigação.

| Parâmetro | Unidade | Restrições de uso | | | |
|---|---|--------------------|--------------|-----------|-------|
| | | Nenhuma | Moderada | Severa | |
| Salinidade (fator limitante da disponibilidade de água para a cultura) | CE | <0,7 | 0,7 - 3,0 | >3,0 | |
| | SDT | <450 | 450 - 2000 | >2000 | |
| Infiltração (avaliada usando CE e RAS simultaneamente) | RAS | | CE | | |
| | 0 – 3 | >0,7 | 7,0 - 2,0 | <2,0 | |
| | 3,0 – 6,0 | >1,2 | 1,2 - 0,3 | <0,3 | |
| | 6,0 – 9,0 | >1,9 | 1,9 - 0,5 | <0,5 | |
| | 9,0 – 12 | >2,9 | 2,9 - 1,3 | <1,3 | |
| Toxicidade de elementos químicos específicos (afeta culturas sensíveis) | 12 – 40 | >0,5 | 5,0 - 2,9 | <2,9 | |
| | Irrigação Superficial | RAS | <4 | 4,0 - 10 | >10 |
| | Irrigação por aspersão | mg L ⁻¹ | <69 | >69 | |
| | Boro (B) | mg L ⁻¹ | <0,7 | 0,7 - 3,0 | >3 |
| | Nitrogênio (NO ₃) | mg L ⁻¹ | <5 | 5,0 - 2,9 | < 2,9 |
| | pH | | faixa normal | | |
| | | | 6,5 - 8,4 | | |
| | Irrigação de plantas consumidas cozidas | mg L ⁻¹ | | 30 | |
| | Irrigação de plantas consumidas cruas | mg L ⁻¹ | | 10 | |

Fonte: Adaptada de Ayers & Westcot (1985) e USEPA (1992)

A OMS faz algumas recomendações em relação ao uso das águas residuárias para fins agrícolas, destacando a importância da qualidade biológica dos efluentes utilizados na irrigação,

com a finalidade de diminuir as probabilidades de propagação de patógenos, evitando diferentes doenças. Diversas formas de tratamento de efluentes são utilizadas para que atinjam o enquadramento de qualidade indicado pela OMS (WHO, 2006) (Tabela 2).

TABELA 2. Diretrizes da OMS para irrigação agrícola com esgotos sanitários

| Categoria | Tipo de irrigação e cultura | Grupos de risco | Nematoides intestinais (Ovos ^{-1}L) | Coliformes fecais (org. $100mL^{-1}$) |
|-----------|--|--|---|--|
| A | Culturas a serem consumidas cruas, campos de esportes, parques e jardins* | Agricultores, consumidores, público em geral | ≤ 1 | $\leq 10^3$ |
| B | Culturas processadas industrialmente, cereais, forragens, pastagens, arvores | Agricultores | ≤ 2 | $\leq 10^5$ |

Fonte: Adaptado de WHO (1989).

(*) No caso de irrigação de gramados públicos onde o contato seja direto, recomenda-se o limite de 200 CF $200 mL^{-1}$.

3.3 Efeitos do reúso no desenvolvimento das plantas e nas propriedades do solo

Os esgotos aplicados no solo conduzem à recarga do lençol subterrâneo e, ou, à evapotranspiração, além de suprirem as necessidades das plantas, tanto em nutrientes, quanto na demanda hídrica, sendo esta última dependente da quantidade nutriente para determinação da lâmina aplicada. A capacidade do solo em conduzir à assimilação de compostos orgânicos complexos depende de suas propriedades e condições climáticas. Taxa de infiltração e tipo de cobertura vegetal são fatores importantes no uso do solo como meio de degradação de resíduos orgânicos. Tal degradação requer boa aeração do solo a qual, por sua vez, é inversamente relacionada à umidade do solo. Condições de insuficiente aeração vão conduzir a uma menor capacidade de assimilação do resíduo orgânico pelo solo (Von SPERLING, 1996).

De acordo com SAMMIS et al. (2013), aplicar água residuária no solo é prática recomendada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, como um método de reciclagem de nutrientes e matéria orgânica e de conservação de recursos hídricos. Sistemas de aplicação que utilizam o solo como unidade de tratamento e não como uma área de disposição vem ganhando aceitação na maioria das regiões áridas. Pequenas comunidades estão escolhendo tratamentos

primários e aplicação no solo como sistema com maior custo-efetividade no tratamento de esgotos sanitários.

DOS & FIDELES (2015) avaliaram o efeito da utilização de águas residuárias nas variáveis de crescimento e de produção do algodoeiro. O teor de sódio incrementado no solo, ao final do experimento, foi 81,29% proporcionado pela irrigação com água residuária proveniente do reator UASB. Identificaram variações representativas de alguns atributos químicos do solo, tais como sódio, potássio, fósforo e matéria orgânica. O excesso de sódio em solos provoca condições físicas adversas ao crescimento e, principalmente, para o desenvolvimento do sistema radicular. O teor de matéria orgânica diminuiu em todos os tratamentos, exceto naquele irrigado com efluente proveniente do filtro em série, onde os valores variaram de 5,34 g dm⁻³ (antes do experimento) a 10,96 g dm⁻³ (no final do experimento). A irrigação com o efluente proveniente do reator UASB proporcionou maior produtividade do algodão em caroço, em relação aos demais tratamentos, evidenciando o seu potencial de uso na agricultura.

A demanda pela disponibilidade de recursos hídricos no Distrito Federal tem se acentuado nos últimos anos, devido ao crescimento substancial da população, hoje com 3.039.444 de habitantes, superando as expectativas projetadas para o consumo do Plano Piloto e cidades satélites. Outro setor que em termos de consumo dos recursos hídricos, apresentou forte expansão nos últimos anos é o agrícola. Os grandes investimentos da iniciativa privada na agricultura irrigada agregaram áreas substanciais a este setor, e, por conseguinte, geraram consequências como: contaminação das águas por lançamento de esgotos domésticos sem tratamento, contaminação das águas por agrotóxicos usados de modo inadequado e por efluentes de origem animal (suinocultura) (LEITE, 2003) e (IGBE, 2018).

Sabe-se que a relação existente entre o desenvolvimento econômico e a proteção do meio ambiente é a questão central da proteção das futuras gerações. A discussão que se deve realizar sobre essa relação deve começar, então, pela constatação de que os tempos atuais são marcados por uma sociedade produtora de riscos globais ambientais, onde o homem, inevitavelmente, convive com ameaças decorrentes dessa sociedade, e que se apresentam na ordem política, tecnológica, econômica, cultural e, principalmente, ecológica (REZENDES et al., (2017).

Assim, todas as práticas que levem em conta o reúso de água e que objetivem maximizar as matérias primas e os recursos naturais têm efeitos positivos de maneira direta no meio ambiente, mas de forma indireta também acarreta consequências, na maioria positivas, no setor econômico e social.

SILVA (2016) avaliou que a implantação de práticas de produção limpa tem efeitos positivos no desempenho econômico, ambiental e operacional das empresas no setor têxtil

brasileiro. A adoção de práticas pelo setor têxtil brasileiro gera impacto positivo no desempenho econômico, visto que os custos com a matéria prima são minimizados devido à redução de desperdício, ao melhor aproveitamento dos insumos, à minimização do consumo de água e energia, seleção de equipamento para a produção, reutilização ou reciclagem de materiais, correta movimentação de materiais e forma como a capacitação de pessoal impacta no resultado financeiro da Indústria têxtil nacional.

3.4 Produção de flores no Brasil e no Distrito Federal

O cultivo de flores é uma atividade que vem despertando o interesse de diversos produtores, atraídos pela beleza e rentabilidade da floricultura pois, além de ser mais uma alternativa de renda, desperta a atenção de empreendedores que buscam novas áreas de trabalho dentro do seguimento da horticultura (NETO, 2010).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de flores e plantas ornamentais (FPO) e apresenta crescimento de aproximadamente 8% ao ano (IBRAFLOR, 2015). Em 2014, o agronegócio brasileiro das flores e plantas ornamentais movimentou R\$ 5,6 bilhões. As flores e plantas ornamentais envasadas, como as orquídeas, representam aproximadamente 25% do mercado (SEBRAE, 2015).

Segundo COSTA (2016), no Distrito Federal o agronegócio das flores e plantas ornamentais possui uma demanda de cerca de 61.420,64 plantas a serem transportadas mensalmente pelos Correios em Brasília. O mercado mundial de flores e plantas ornamentais está, atualmente, em fase de plena expansão e desenvolvimento. A área estimada de produção em todo mundo é de 190.000 ha. Os principais produtores são atualmente Estados Unidos com 20.181 ha, Japão com 17.569 ha e Holanda com 7.378 ha. O Brasil conta com uma área de produção estimada em 4.500 ha.

Na década de 50, por iniciativa dos imigrantes portugueses, a produção e comercialização de flores e plantas ornamentais teve seu início em escala comercial no Brasil. Na década de 60, incentivados pelo surgimento desse novo mercado, iniciaram os imigrantes japoneses e, finalmente os holandeses, que deram maior consistência e estabilidade à comercialização, implantando um sistema de distribuição e comercialização para todo o país (JUNQUEIRA & PEETZ, 2008).

A floricultura teve início no Distrito Federal na década de 1990 e aos poucos, vem se destacando no cenário nacional como um novo polo com grande potencial para a consolidação e descentralização da atividade no Brasil. O potencial do Distrito Federal para a expansão da floricultura se deve, basicamente a dois fatores: primeiro por ser o mercado consumidor mais promissor do país, concentrando a maior renda per capita, e segundo, devido ao grande número de eventos que ocorrem na Capital Federal que demandam arranjos florais (VIANA et al., 2017).

O comércio atacadista de flores e plantas ornamentais se concentra na Central de Flores no interior da Central de Abastecimento do Distrito Federal - CEASA/DF. São 30 boxes abastecidos e administrados pela Associação Brasiliense de Flores e Plantas, ocupando uma área de 3 mil metros quadrados, cedida pela Secretaria de Agricultura do Distrito Federal. A irrigação é uma necessidade primordial na horticultura do Distrito Federal, visto tratar-se de uma região especialmente seca do cerrado do Centro Oeste do Brasil. O uso principal é o da irrigação por aspersão, em campo a céu aberto e por gotejamento no interior das estufas (JUNQUEIRA & PEETZ, 2005).

COSTA & CHIBA (2017) realizaram pesquisa em que caracterizaram as principais práticas de produção de flores e plantas ornamentais, adotadas por produtores no município de Santarém/Pará, Brasil. No caso das plantas cultivadas e comercializadas pelos produtores entrevistados, em que 65% são exóticas e apenas 35% são nativas. Os principais processos de adaptação utilizados para as plantas exóticas são sombreamento e irrigação 65%, utilização de adubação orgânica e sombreamento 20% e sombreamento e troca de substrato 15%. Nesse estudo o envasamento de flores e plantas ornamentais, o cultivo em sacos de polietileno é prática bastante utilizada pelos produtores locais. Entre os métodos de propagação vegetativa se destaca a adoção da estaquia, sendo uma técnica que consiste em promover o enraizamento de partes da planta, como ramos, raízes, folhas e até mesmo fascículos, sendo o método de propagação mais utilizado na produção de mudas de flores e plantas ornamentais entre os produtores de Santarém (46,51%). Segundo os relatos dos produtores, o estaqueamento é um método mais fácil da planta “pegar” e se desenvolver mais rápido. Os diferentes substratos utilizados na produção de flores e plantas ornamentais nesse estudo foram: o esterco de galinha (23,61%), terra preta/terriço (22,22%), palha de arroz (13,88%), serragem (11,11%), madeira podre e esterco de gado, ambos com (6,94%).

3.5 Espécies de plantas paisagísticas

As plantas são seres vivos, orgânicos e possuem a capacidade de se desenvolver sobre diferentes substratos. Ornamental é um adjetivo dado aos ornamentos que são adornos ou adereços, os quais permitem decorar algo ou lugar a fim de melhorar sua aparência. Portanto, plantas ornamentais são aquelas utilizadas com a intenção de embelezar um espaço (MARTINEZ, 2016).

A produção de plantas ornamentais, como matéria-prima para a prática da jardinocultura, tem se destacado como uma das alternativas mais promissoras para a diversificação da atividade agrícola. Isto tem sido evidenciado claramente, pelo crescente aumento no número de produtores de plantas ornamentais. O potencial do agronegócio “plantas e flores ornamentais” encontram no Nordeste, Norte e Centro-Oeste brasileiro ótima condição para se desenvolver, pois nestas regiões,

o risco climático de baixa temperatura praticamente inexistente, o que aliado à disponibilidade de água e do solo com boa profundidade e matéria orgânica favorecem a boa formação do ciclo das flores (BORGES, 2005).

Países importantes no cenário mundial, principalmente no quesito de exportação de flores cortadas, como a Holanda (7.301 ha), Colômbia (6.783 ha) e Equador (6.669 ha), são superados em área total de produção por diversos países devido aos seus mercados de consumo interno, inclusive o próprio Brasil. Em termos de área produzida os dados apontam a liderança da Índia com um total de 242.000 ha em área plantada, seguida da China, com uma área total de 169.000 ha. Na terceira posição vem os Estados Unidos com 29.400 ha, seguidos pelo Japão com 16.840 há, a seguir o México com 15.120 ha, o Brasil com 13.800 ha e a Itália com 12.720 ha (PLASTICULTURA, 2018).

A cooperativa Veiling Holambra e o instituto brasileiro de floricultura (IBRAFLOR), ambos sediados em Holambra - SP, são responsáveis por nortear a produção de flores e plantas ornamentais do país, estabelecendo padrões de qualidade e critérios de comercialização para o setor, em consonância com as normas mundiais. De maneira geral, os produtores do setor devem apresentar no mínimo 90% da uniformidade do lote quanto à altura e diâmetro da planta, números de flores abertas, ponto de colheita e ausência de defeitos entre outros (COOPERATIVA VEILING HOLAMBRA, 2013; IBRAFLOR, 2013).

As flores como crisântemo, Gladiolo e rainha-margarida, são herbáceas, ou seja, possuem o caule lenhoso ou semi-lenhoso, mas podem adquirir altura e os efeitos de um arbusto. Seu porte é variado e se adaptam em locais com ou sem sombra. Dependendo da cor e da textura de suas folhas ou flores, servem como contraste ou ponto atrativo.

Uma das culturas que está em ascensão na produção agrícola e que pode ser cultivada com a utilização do reúso de efluentes é o girassol. Planta que pode ser aproveitada quase que totalmente em diversos segmentos como: alimentação humana e animal, produção de óleo e biocombustível - atividade que emprega e agrega muito valor aos produtores. Essa cultura é de ciclo rápido, resistente e alcança produtividade elevada quando manejada corretamente, gerando o interesse de muitos agricultores, além de estar muito bem adaptada ao clima da região Nordeste brasileira (LIRA et al., 2011).

Por isso, é muito importante estudar os fatores que contribuem e interferem no cultivo do girassol utilizando água residuária e buscar alternativas que contribuam com a sustentabilidade do planeta, através da redução e melhor aproveitamento dos recursos.

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma dicotiledônea anual originária da América do Norte (ZOBIOLE et al., 2010) que pertence à família Asteraceae, sendo uma cultura que se destaca

pela elevada produtividade de óleo, produção melífera e também por ser utilizada como fonte de farelo ou mesmo de silagem para a alimentação animal (ANDRADE et al., 2014)

O girassol é uma planta de ciclo anual, que está sendo cultivada em todo o mundo devido a fácil adaptação aos ambientes mais diversos. Produz grãos e forragem e hoje ocupa a quarta colocação entre as oleaginosas mais consumidas do mundo. Suas sementes são ricas em óleo, salvo raras exceções, tem conteúdo acima de 30%, podendo chegar até em 50%, dependendo da cultivar. Além do óleo, o girassol também ocupa a quarta posição para ração animal e uso humano como fonte proteica (LIRA et al., 2011).

Na Tabela 3 são apresentadas algumas informações pertinentes das plantas girassol.

TABELA 3. Informações técnicas do girassol. Adaptação da cooperativa Veiling Holambra para Girassol.

| Nome | Espécie | Ciclo (dias) | Temperatura ótima (°) | pH | Fotoperíodo | Época de sementeira | Propagação | Início de floração (dias) |
|----------|------------------------------|--------------|-----------------------|-----|-------------|---------------------|------------|---------------------------|
| Girassol | <i>Helianthus annuus</i> L.) | 90-115 | 20-35 | 6.5 | 14 h de luz | Setembro- maio | Semente | 60-90 |

O Padrão é determinado pela uniformidade do lote, sendo que o lote de girassol classificado deverá apresentar 95% de uniformidade quanto ao comprimento, espessura da haste e diâmetro do botão.

Comprimento da haste e Espessura da haste

O Comprimento da haste é determinado pelo tamanho desde a sua base até a ponta da haste principal. A seleção do lote por espessura serve para dar uniformidade ao lote. De acordo com o comprimento da haste, o Girassol classificado deverá apresentar as seguintes espessuras, usando-se como ponto de medição à altura média da haste (Tabela 4).

TABELA 4. Padrão para comprimento e espessura das hastes do Girassol. Adaptação da cooperativa Veiling Holambra para Girassol.

| Padrão | Comprimento da haste (cm) | Padrão | Espessura da haste |
|--------|---------------------------|------------|--------------------|
| 50 | 50 | 50, 60, 70 | Mín. 0,8 cm |
| 60 | 60 | 80, 90 | Mín. 1,1 cm |
| 70 | 70 | | |
| 80 | 80 | | |
| 90 | 90 | | |

Diâmetro do botão floral e classificação do girassol

De acordo com o comprimento da haste, o girassol classificado deverá apresentar os seguintes diâmetros do botão, considerando flores fechadas (com rede) e abertas (sem rede) (Tabela 5).

TABELA 5. Diâmetro do botão para Girassol. Adaptação da cooperativa Veiling Holambra para Girassol.

| Padrão | Diâmetro do botão | |
|------------|-------------------------|------------------------|
| | Flor fechada (com rede) | Flor aberta (sem rede) |
| 50, 60, 70 | Mínimo 4,5 cm | Mínimo 6,0 cm |
| 80, 90 | Mínimo 5,5 cm | Mínimo 7,5 cm |

A categoria de classificação (A1 ou A2) caracteriza a qualidade do lote de girassol deverá ser estabelecida conforme limites de tolerâncias para defeitos graves e leves. Os defeitos graves são aqueles que podem continuar a evoluir durante o processo de comercialização (Tabela 6).

TABELA 6. Adaptação da cooperativa Veiling Holambra para Girassol. Defeitos graves e defeitos Leves.

| Tipo de defeito | Classificação | |
|------------------------|---------------|----|
| | A1 | A2 |
| Defeitos graves | | |
| Danos de doenças | 0 | 0 |
| danos de pragas | 1 | 2 |
| Defeitos leves | | |
| Queima por fitotoxidez | 1 | 2 |
| Rachadura da haste | 0 | 2 |

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento e variáveis meteorológicas

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Água Limpa (FAL), localizada nas coordenadas 15°56' a 15°59' S e 47°55' a 47°58' W. A altitude média é de 1100 m e, conforme a classificação de Köppen, apresenta clima do tipo Aw, caracterizado por duas estações bem definidas, um quente e chuvosa, que ocorre de outubro a abril e outra fria e seca de maio a setembro (ALVARES, 2014).

As informações de temperatura do ar e umidade relativa foram obtidas de uma estação meteorológica convencional localizada a 300 m do local do experimento, devido à falta de equipamentos para medir no local do experimento (Figura 1).

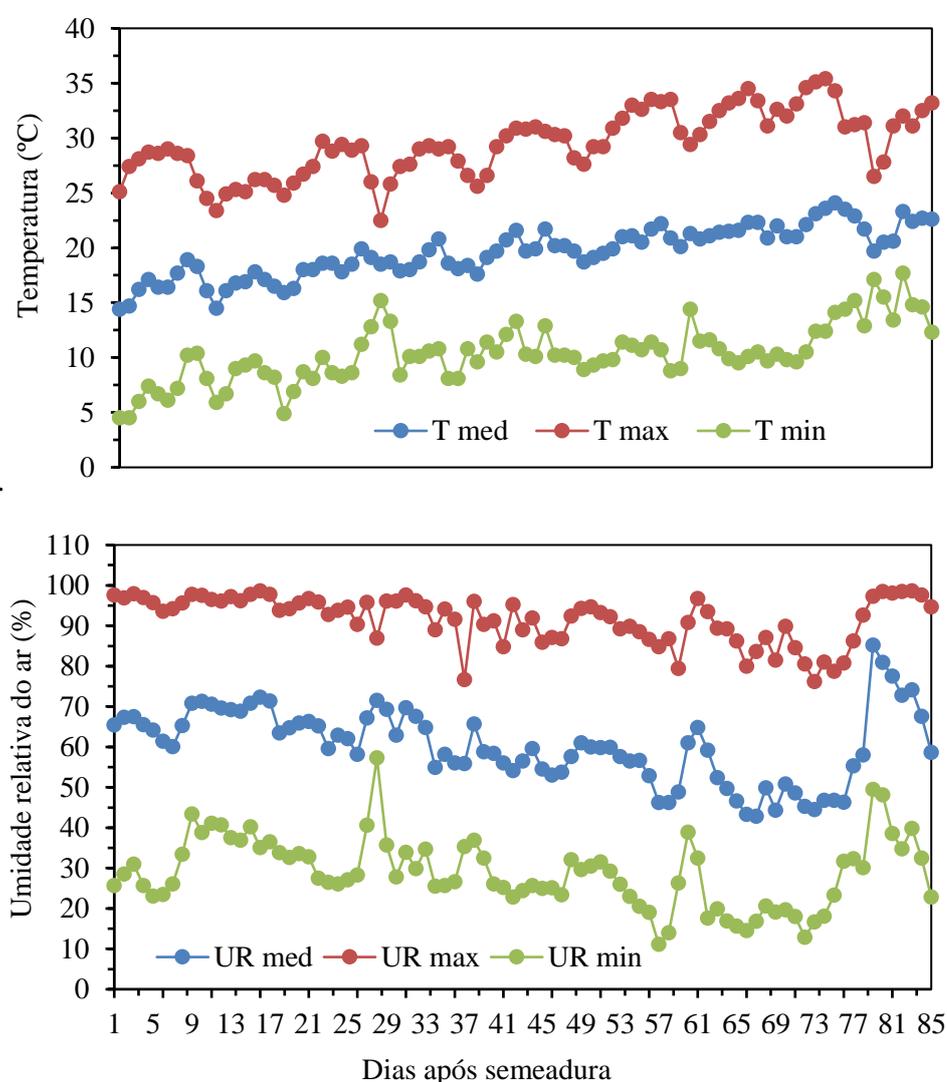


FIGURA 1. Condições meteorológicas durante o ciclo do girassol. temperatura do ar máximas, mínimas e médias do ar e umidade relativa do ar máximas, mínimas e médias.

A temperatura média durante o experimento variou de 14 a 24 °C ao longo do ciclo do girassol (Figura 1), sendo a faixa de temperatura ótima para o crescimento e desenvolvimento situa-se entre 17 a 32 °C, já a temperatura ideal situa-se em torno de 26 °C e a máxima, próximo a 40 °C (CONNOR; HALL, 1997), portanto, as condições foram favoráveis, já que a temperatura é a variável com maior influência na duração das fases da emergência a floração do girassol (Massignam,1987). Destaca-se ainda que a amplitude térmica foi elevada, sendo em torno de 20 °C, para a cultura do girassol, mas segundo ACOSTA (2009) o girassol tem capacidade de resistir a uma amplitude térmica entre 8 e 34 °C, variação de 26 °C, sem comprometimento na produção, sendo uma importante particularidade que possibilita a sua adequação em lugares de noites frias e dias quentes.

Observa-se que até cerca de 21 DAS, a temperatura mínima no período noturno, foram inferiores a 10 °C, sendo que abaixo deste valor, podem prolongar o período de emergência da cultura, ocasionando atraso na fase inicial de crescimento e enfraquecimento das plantas. Umidade prolongada tempo nublado e temperaturas baixas tendem a prolongar a fase de florescimento e, ocasionalmente, dificulta uma polinização eficiente e atrasam o desenvolvimento das raízes que resultam em plântulas de porte reduzido (CASTRO; FARIAS; 2005, CASTIGLIONI et al., 1997). No entanto, observou-se que a germinação foi homogênea, possivelmente devido ao fato de que durante o período diurno a temperatura foi bem mais elevada, favorecendo a germinação (Figura 1).

A umidade relativa do ar, acima de 70%, favorece o surgimento de doenças como a podridão de Sclerotinia na cultura do girassol; porém, no experimento a média manteve-se próximo aos 60 %, enquanto que a mínima chegou a 12% e a máxima a 98% (Figura 1), dentro de um mesmo dia, ou seja, uma amplitude de cerca de 86%.

O experimento foi instalado em campo aberto e exposto ao sol, sendo que os vasos sem plantas se devem ao fato de as mesmas já terem sido colhidas para medições no final do ciclo (Figura 2).



FIGURA 2. Local de cultivos de girassol Sunflower Sunbright. Vasos com plantas ausentes já haviam sido colhidas

4.2 Estação de tratamento de esgoto (ETE)

A ETE/FAL/UnB é constituída por dois níveis de tratamento: primário e secundário. O tratamento primário é constituído de um conjunto de três tanques sépticos em série, e o tratamento secundário por um conjunto de três unidades de leitos cultivados e um leito sem planta (testemunha) de fluxo subsuperficial, horizontais e com fluxo intermitente, construídos em paralelo e independentes um do outro, preenchido com brita # 2, com porosidade de 48%.

4.2.1 Origem do esgoto

Na FAL/UnB, são gerados esgotos, prioritariamente de descargas sanitárias e do refeitório, que pela sua composição é caracterizado essencialmente como esgoto doméstico, sendo estas as únicas fontes de esgoto destinadas ao tratamento, não sendo derivado à ETE/FAL/UnB nenhum efluente de laboratórios. O volume diário gerado na FAL/UnB é muito variável, devido à frequência de uso pela oscilação de pessoas que frequentam a FAL.

4.2.2 Tanques sépticos em série

O conjunto de três tanques sépticos em série (Figura 4), são destinados ao tratamento primário do esgoto gerado na FAL/UnB, constituídos de caixas de polietileno com tampa rosqueável, permitindo sua remoção para limpeza, com volume total individual de 5500 L

(Figura 3 e 4) e volume total dos três tanques (Vt) de 16500 L, com volume útil de cada tanque aproximado de 5000 L, ou seja, 15000 L de volume útil total. As caixas estão parcialmente enterradas no solo, possibilitando a entrada do esgoto bruto por gravidade e ao mesmo tempo dispostas com pequena diferença de nível (0,075 m) entre a saída e entrada de cada tanque.



FIGURA 3. Vista dos três tanques sépticos (TS1, TS2 e TS3) indicando a direção do fluxo de esgoto.

Conforme ABNT, BRASIL (1997) que descreve sobre o posicionamento do dispositivo de entrada de esgoto no tanque séptico, estes devem estar mergulhados verticalmente no líquido, a fim de evitar perturbações hidráulicas no interior do tanque e direcionar o fluxo de esgoto para o fundo, possibilitando uma melhor sedimentação dos sólidos.

Assim, na entrada do TS1 (chegada do esgoto bruto) foi utilizado um tubo de 0,15 m de diâmetro posicionado na vertical, com 1 m de comprimento, sendo 0,8 m mergulhado no esgoto, já nas entradas dos TS 2 e TS 3 foram usados tubos de 0,075 m, com 0,7 m de comprimento e na saída dos três tanques utilizaram-se tubos, também de 0,075 m e 0,60 m de comprimento (Figura 4). Os tanques sépticos (caixas) possuem formato circular com 2,10 m de diâmetro e 2,10 m de altura total.

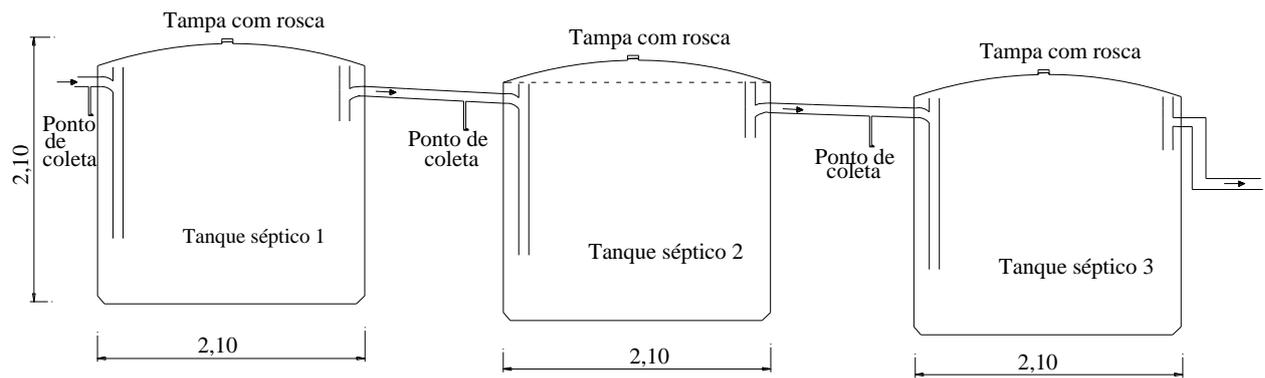


FIGURA 4. Vista em corte dos três tanques sépticos instalados em série.

4.2.3 Caixa de passagem com distribuição do efluente e leitos cultivados

A caixa de passagem do efluente para os leitos foi constituída em fibra de vidro com capacidade total de 72 L (0,30 m, 0,40 m, 0,60 m – largura, comprimento e altura),

onde saem quatro tubos de PVC com diâmetro de 0,040 m, um para cada leito de cultivo (Figura 5a).

Sistema de zona de raízes (SZR) e sistema não cultivado (SnC): Os SZR foram construídos em estruturas retangulares de fibra de vidro, com espessura da parede de 4 mm, apoiados sobre o solo, com dimensões de 2,5 m (largura), 6,5 m (comprimento) e 0,5 m (altura) (Figura 5b). A partir das dimensões dos leitos cultivados, utilizando critério de projetos sugeridos por WOOD & McATAMNEY (1996), se determinou as seguintes variáveis dos leitos cultivados como: Tempo de Detenção Hidráulica (dias); Área por vazão ($\text{ha m}^{-3} \text{dia}^{-1}$); Carga Hidráulica ($\text{mm}^3 \text{mm}^{-2} \text{dia}^{-1}$) e DBO máxima ($\text{kg ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$), apresentados em (REIS, 2015).

O controle do nível do efluente nos leitos foi feito com um tubo com 0,050 m de diâmetro, que sai do fundo de cada leito e se eleva até uma altura que corresponde ao nível do efluente no interior do leito que é de 0,047 m e na sequência, desce novamente até o nível do solo (Figura 5c), de onde seque por uma tubulação até o reservatório de 5000 L.



FIGURA 5. Caixa de passagem para os leitos cultivados (a), vista dos leitos cultivados e do não cultivado (b) e do cavalete de controle do nível do efluente no interior dos leitos (c), imagem interna do SZR (d) e colocação da brita no interior dos SZR (e).

O efluente ao sair do SZR e SnC são desviados para uma caixa de fibra de vidro de volume útil de 4750 L, servindo como reservatório para uso do efluente em projetos de reúso na irrigação e passagem para as valas de infiltração (destino final do influente tratado).

4.2.4 Coletas das amostras de afluente e efluente e parâmetros avaliados

Foram coletadas amostras do afluente e efluente na ETE/FAL/UnB e água de um córrego (Ac) semanalmente no período de 10 de julho a 02 de outubro de 2019 totalizando 11 coletas. Coletou-se subamostra às 8:00, 10:00, 12:00 14:00 e 16:00 h, formando uma amostra composta do dia de coleta por ponto avaliado. Os locais de coleta foram o esgoto bruto ou afluente dos TS (EB), efluente dos três TS, sendo este também o afluente aos SZR e SnC, efluente do SZRT, SZRP, SZRA e SnC, efluente aplicado na irrigação após passagem por filtro de disco de 130 microns (mistura do efluente dos três SZR e SnC) (Figura 6). A lâmina aplicada durante todo o ciclo do girassol foi de 343,95 mm vaso⁻¹ de Ac e EET, durante os 70 dias do ciclo vegetativo da cultura, considerando a vazão dos emissores em relação a área superficial dos vasos de cultivo.

Os parâmetros pH, condutividade elétrica (CE), temperatura e oxigênio dissolvido (OD) foram analisados in loco no momento de coleta em todos os horários e pontos de coleta. Porém, as amostras compostas, resultante da coleta em cada um dos horários e em cada ponto, foram

misturadas, formando uma amostra composta, utilizada para analisar os demais atributos conforme a Tabela 7.

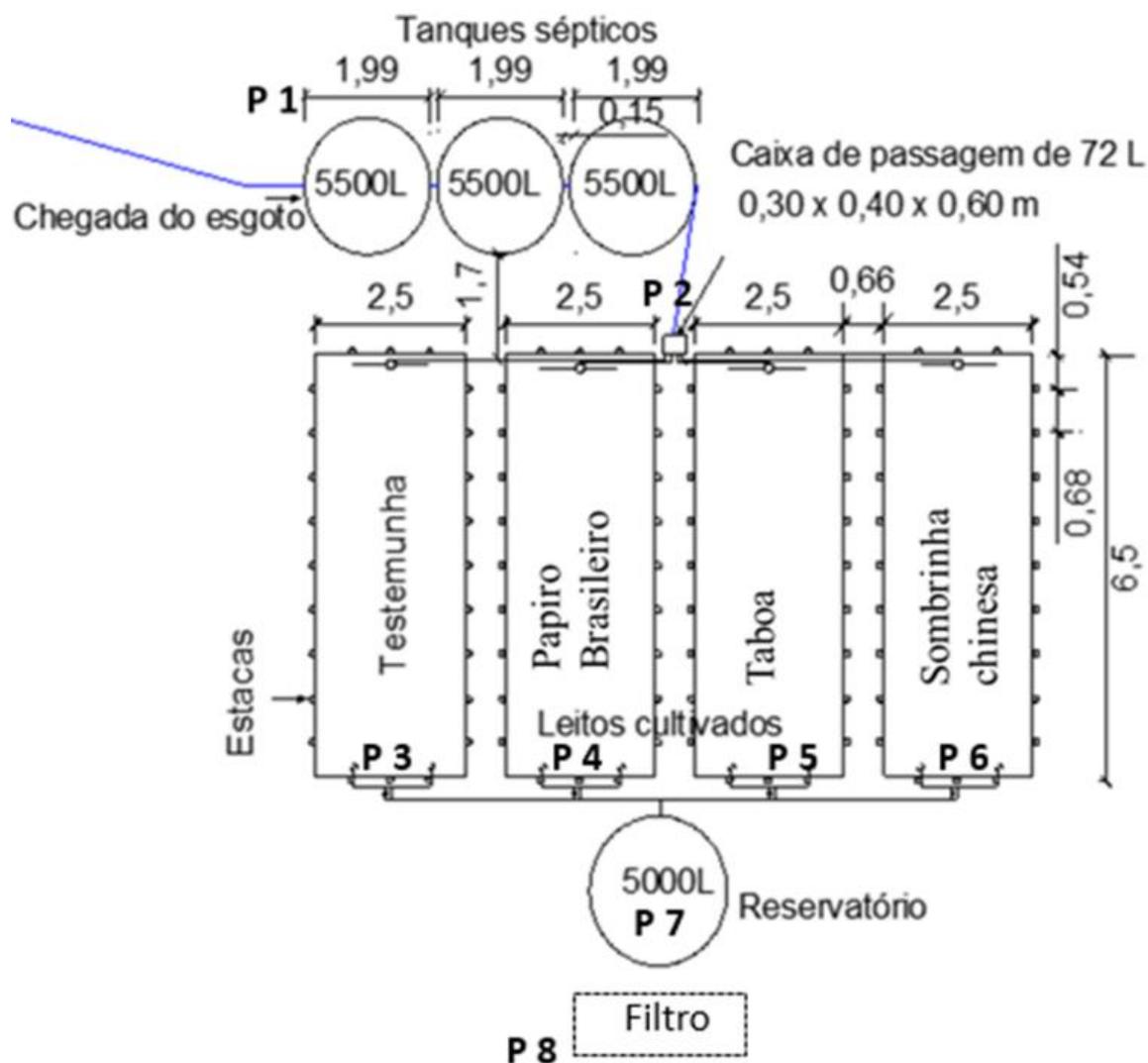


FIGURA 6. Localização da estação de tratamento de esgoto - ETE/FAL/UnB. Unidades em metros e pontos de coleta de amostras (P1 a P8).

TABELA 7. Localização dos pontos de coleta do afluyente e efluente para análise tanques sépticos e nos leitos cultivados.

| Ponto de coleta | Localização na ETE |
|-----------------|---|
| Ponto 1 | Efluente Bruto (EBR) entrada aos (TS) |
| Ponto 2 | Saída do Tanque Séptico (TS) e entrada dos leitos |
| Ponto 3 | Saída do leito sem cultivo (SnC) |
| Ponto 4 | Saída do leito cultivado (SZR P) |
| Ponto 5 | Saída do leito cultivado (SZR T) |
| Ponto 6 | Saída do leito cultivado (SZR A) |
| Ponto 7 | Reservatório e mistura dos efluentes. |
| Ponto 8 | Saída do Filtro de areia, manta sintética não tecida e carvão ativado |

As amostras foram coletadas em frascos de plástico com volume de 1 L, acondicionadas em caixa de isopor com gelo, transportadas para o laboratório e conservadas em geladeira, conforme recomendações do APHA (2012), com exceção dos parâmetros que exigem determinação no mesmo dia.

Para a realização das análises (Tabela 8) foi utilizado o Laboratório de Análise de Água da FAV/UnB.

TABELA 8. Atributos e unidades analisados no afluente e efluente na ETE/FAL/UnB.

| Atributos | Unidade | Método |
|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Sólidos suspensos | mg L ⁻¹ | Gravimétrico |
| Sólidos totais | mg L ⁻¹ | Gravimétrico |
| Sólidos totais dissolvidos* | mg L ⁻¹ | Gravimétrico |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio* | mg L ⁻¹ | Titulométrico |
| Demanda Química de Oxigênio* | mg L ⁻¹ de O ₂ | Colorimétrico de refluxo fechado |
| Oxigênio dissolvido | mg L ⁻¹ de O ₂ | Eletrométrico: Oxímetro |
| Turbidez | NTU | Fotocolorimétrico |
| Nitrito | mg L ⁻¹ | Fotocolorimétrico |
| Nitrato* | mg L ⁻¹ | Fotocolorimétrico |
| Fosfato Total | mg L ⁻¹ | Fotocolorimétrico |
| Fósforo | mg L ⁻¹ | Fotocolorimétrico |
| Sódio | mg L ⁻¹ | Fotômetro de chama |
| Cálcio | mg L ⁻¹ | Fotocolorimétrico |
| Magnésio* | mg L ⁻¹ | Fotocolorimétrico |
| Potássio | mg L ⁻¹ | Fotômetro de chama |
| Potencial Hidrogeniônico | - | Eletroquímico |
| Condutividade elétrica | µS m ⁻¹ | Condutivímetro |
| Temperatura | °C | Eletroquímicos |
| <i>E. coli</i> | NMP 100 mL ⁻¹ | Substrato Cromogênico |
| Coliformes Totais e fecais | NMP 100 mL ⁻¹ | Substrato Cromogênico |

* quantificado apenas nos pontos de coleta do sistema de tratamento de esgoto.

Coliformes totais e *E. coli* – as quantificações de coliformes totais e *E. coli* foram realizadas pelo método do substrato cromogênico. Os equipamentos usados na análise foram a cartela Quanti-Tray, seladora Quanti-sealer e lâmpada UV, do método conhecido comercialmente como Colilert-IDEXX, além de uma estufa biológica. O método produz respostas dentro de 24 a 28 horas de incubação. Os procedimentos experimentais, os materiais necessários e o método estão descritos no Standard Methods (APHA, 2012).

4.2.5 Macrófitas nos leitos de cultivo

Foi cultivada a macrófita taboa (*Typha spp*) (SZR T), papiro-brasileiro (*Cyperus giganteus*) (SZR P), Aguapé (*Eichhornia crassipes.*) (SZR A) e sistema sem planta – testemunha (SnC).

Nas plantas aquáticas foram medidas a altura, a cada 50 dias enquanto perdurar o ciclo de cultivo das flores, e a massa seca após o término do experimento. Para medir a altura das plantas foi usada uma trena métrica, com precisão de 1 mm, medida da superfície da brita até a ponta da folha mais alta. Cada SZR foi dividido em 4 parte iguais no sentido do comprimento do mesmo e em cada parte foram medidas as informações de crescimento de 10 plantas centrais ao SZR (plantas úteis).

A medição de altura das macrófitas, caule e perfilhamento das macrófita nos leitos cultivados foram medidos aos 15, 35 e 70 dias após transplatio (DAT)

4.2.6 Evapotranspiração potencial dos leitos

A vazão de afluente e efluente aos SZRT, SZRP, SZRA e SnC foi realizada por um período de 10 h (08:00 às 18:00 h) em três dos onze dias de coleta de amostras para análises físicas, químicas e microbiológica, permitindo obter a evapotranspiração potencial (ETP). Utilizou-se o método volumétrico com balde graduado de 18 L, precisão de 0,1 L e auxílio de um cronômetro digital. Toda vez que o volume de 18 L era atingido, o afluente era lançado no SZR ou SnC correspondente, já o efluente dos SZR era lançado no reservatório de 4750 L. A evapotranspiração potencial (ETP) foi calculada por: $ETP = (\text{Volume (L)}) / \text{área superficial do SZR ou SnC (m}^2\text{)}$.

O tempo de detenção hidráulica (TDH) foi calculado para cada SZR e SnC, obtendo-se DDH no SnC de 6,6 dias, no SZRT, SZRP, SZRA de 5,4; 5,09; 5,6 dias, respectivamente. Já a ETPc foi de 10,89, 14,71, 17,23 e 14,83 mm dia⁻¹, para os SnC, SZRP, SZRT, SZRA, respectivamente.

4.2.7 Eficiência da ETE

A eficiência (Ef) dos atributos avaliados no afluente e efluente dos TS e entre o efluente dos SZR e SnC e a EETirri foi obtido pela Equação 1 e entre a afluente e efluente dos SZR e SnC pela Equação 2.

$$Ef (\%) = \frac{Co - Ce}{Co} \quad (\text{Equação 1})$$

$$Ef (\%) = \frac{(Co \times Qo) - (Ce \times Qe)}{(Co \times Qo)} \quad (\text{Equação 2})$$

em que: Ef = eficiência percentual de remoção da carga poluidora de determinado atributo; Co = concentração afluente do atributo; Ce = Concentração efluente do atributo; Qo = vazão afluente do esgoto e Qe = vazão efluente do esgoto.

4.3 Solo e adubação

Em abril 2019, foi retirado o solo de área com cultivo de milho na FAL/UnB para preenchimento dos vasos, sendo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (LVA) (EMBRAPA, 2013), com densidade de 0,98 g cm⁻³, com textura de 41% de areia, 36,7% de silte e 29,2% de argila. Foi realizada análise de fertilidade do solo (Tabela 9) para recomendação da calagem, de modo a elevar a saturação por base a 80% e adubação.

Em cada vaso foram acondicionados 10 kg de LVA e 11 g de Calcário Dolomítico Filler, equivalente a dosagem 1,98 t ha⁻¹. O solo permaneceu em repouso por um mês para efeito do calcário, depois foi peneirado e acondicionado aos vasos de cultivo.

As adubações foram aplicadas em parcelas, misturando os adubos previamente no solo de cada vaso, sendo uma aplicação no dia da semeadura e outra 30 DAS, equivalente a 40 kg ha⁻¹ de N; 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 30 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando ureia (46% de N), fosfato (21%) e cloreto de potássio (60%).

Foram coletadas amostras de solo antes do início (Tabela 9) da aplicação dos diferentes tipos de água e ao término do ciclo. No final do ciclo foram coletadas amostras de solo em 3 vasos por tratamento, sendo misturadas num recipiente e separado três amostras compostas de 500 g. As amostras foram retiradas no centro do raio dos vasos e de 0,00 a 0,15 m de profundidade utilizando um trado tipo Holandês, repetiu-se a mesma forma de coleta inicial do solo, totalizando 12 amostras de solo, três para cada tratamento (AcSA, AcCA, EETSA e EETCA).

TABELA 9. Características químicas do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico no início do experimento.

| cmol _c dm ⁻³ | | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|----------------|------------------------------|-------|--------|-------|-----------------|
| pH | Ca ₂ ⁺ | K ⁺ | Mg ₂ ⁺ | Al | AcPot. | CTC | Na ⁺ |
| 5,95 | 4,40 | 1,15 | 3,25 | 0,02 | 1,95 | 10,70 | < 0,10 |
| g kg ⁻¹ | | | | Ppm | | % | |
| P | COT | MO | S | Fe | Zinco | Cu | V |
| 4,25 | 44,00 | 76,5 | 101,90 | 73,40 | 24,50 | 0,50 | 86,00 |

MO: Matéria orgânica; CTC: Capacidade total de cátions, V: Saturação de base; AcPot.: Acides potencial.

4.4 Sistema e manejo de irrigação

A irrigação foi por gotejamento superficial, emissores do tipo on line, instalados em tubos de 12 mm de diâmetro externo, com um emissor por vaso de cultivo, de vazão de 2,0 L h⁻¹ na

pressão de 120 kPa, obtida a partir da medida da vazão de 32 emissores, resultando em uniformidade de emissão (EU) de 97%. O acionamento da irrigação foi manual, contemplando ainda uma motobomba centrífuga de 1/3 de CV, marca Eletroplast, reguladores de pressão, tomadas de pressão, registros de gaveta e filtros de disco de 130 microns.

O turno de rega foi de 2 dias, com lâminas de irrigação definidas de acordo com dados de umidade atual no solo, e o tempo de irrigação suficiente para elevar a umidade para a capacidade de campo (CC). Foram utilizadas três baterias de tensiômetros, cada uma composta por 3 aparelhos, com profundidade de instalação na metade da altura da coluna de solo no interior dos vasos com plantas, ou seja, 12 cm. Até 15º dia após a semeadura (DAS), a irrigação foi realizada diariamente para melhor germinação das sementes de girassol.

Foram coletadas 5 amostras indeformadas nos vasos após acomodação da estrutura do solo, o que ocorreu após 5 aplicações de água em dias consecutivos. A elaboração da curva característica de retenção de água no solo (Figura 7) foi realizada pelo método da câmara de pressão de Richards e a curva ajustada pelo modelo proposto por Van Genuchten (1980), utilizando a restrição de Mualem e o software RETC (van Genuchten et al., 1991).

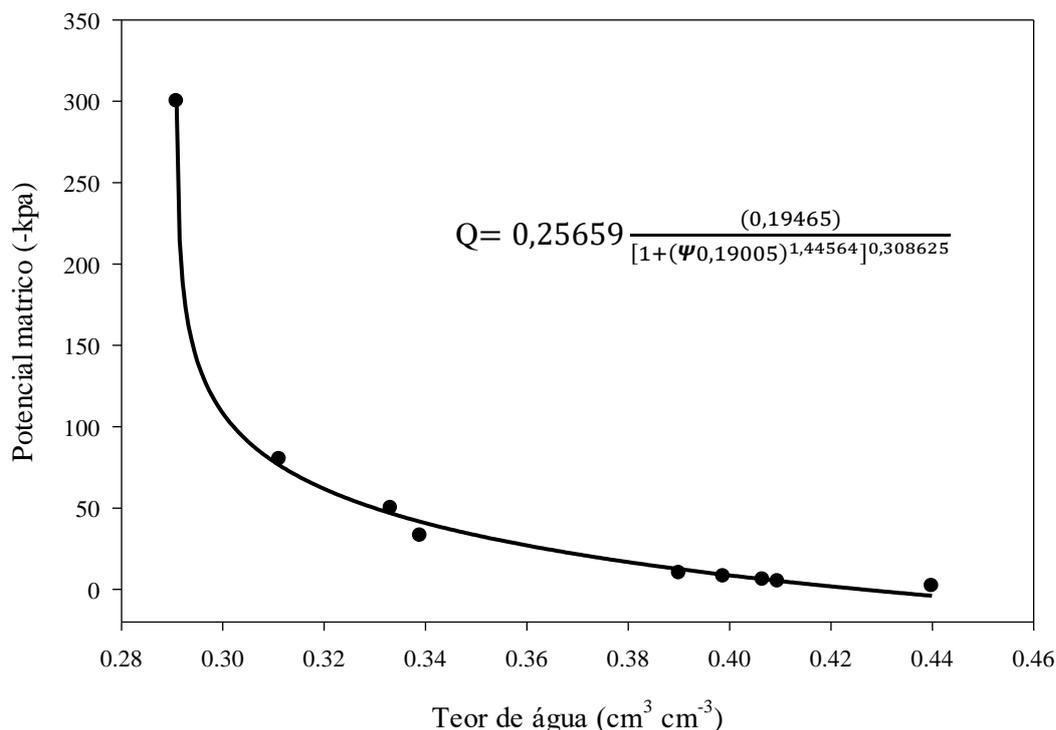


FIGURA 7. Curva de retenção de água com valores de unidade volumétrica gerada pelo método da câmara de pressão de Richards em função do potencial matricial do Latossolo Vermelho Amarelo, segundo o modelo de van Genuchten.

4.5 Planejamento experimental do cultivo do girassol

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2, sendo dois tipos de água de irrigação: água do córrego (Ac) e efluente de esgoto tratado (EET) e solo com adubação e sem adubação, com 6 repetições (vasos úteis), totalizando 24 parcelas experimentais, sendo utilizado uma linha de vasos como bordadura em todas as laterais da área experimental. Os tratamentos foram: T1 - Ac sem adubação (AcSA); T2 - Ac com adubação (AcCA); T3 - EET sem adubação (EETSA) e T4 - EET com adubação (EETCA)

O experimento consistiu de um vaso de plástico, com capacidade volumétrica de 11 L, possuindo 27 cm de diâmetro e 24,5 cm de altura, posicionado em cima de um tijolo de construção de 9 furos para evitar o contato direto com o solo, facilitando o controle de entrada de doenças e outros insetos, no espaçamento de 0,6 m entre vasos e 0,6 m entre linhas.

No dia 01/7/2019 foram semeadas as sementes de girassol sunflower Sunbright, colocando 6 sementes por vaso (repetição) posteriormente foi realizado o desbaste, deixando-se apenas 4 plantas por vaso de cultivo aos 15° DAS (Figura 8).



FIGURA 8. Girassol Sunflower Sunbright cultivado no experimento.

4.6 Tratos culturais

Foram realizadas capinas manuais nos vasos para remover plantas indesejadas que nasceram espontaneamente. Para o controle de pragas no 30 DAS aplicou-se inseticida piretroide para controle de insetos. Foram utilizados 25 g L⁻¹ de água e aplicado sobre as plantas. No 36 DAS foi aplicado inseticida para formigas ao redor dos vasos. Foram utilizados 25 g de inseticida piretróide dissolvido em 500 mL de água e aplicado no local.

O 46 DAS de agosto foram encontradas folhas amarelinhas e manchas marrons nas folhas de girassol em de 3 vasos. Tomou-se umas como amostras e foram levadas na área de Fitopatologia no instituto de biologia da Universidade de Brasília, detectando ser a presença de Mancha de *Alternaria* -*Alternaria spp*, e no 50 DAS procedeu-se a aplicação de fungicida.

4.7 Parâmetro morfológicos medidos nas flores de girassol

As análises biométricas do girassol foram realizadas aos 15, 25, 35, 55 e 70 DAS, medindo-se a altura de planta (AP) desde o colo da planta à gema apical, utilizando-se uma trena com precisão de 1 mm; diâmetro do coleto (DC) medido com um paquímetro digital à 1 cm da superfície do solo com precisão de 0,01 mm; número de folhas (NF), sendo consideradas as que apresentavam comprimento mínimo de 2 cm, em 6 plantas úteis por tratamento e área foliar (AF), estimada pela Equação $AF = 0,1328C^{2,5569}$, em que: C = Comprimento da nervura central da folha sendo que o somatório final das áreas por folha fornece o valor da área foliar total da planta (cm²), considerando as folhas maiores que 2 cm de comprimento (MALDANER et al., 2009).

O diâmetro interno do capítulo (DIC), diâmetro externo do capítulo (DEC), número de pétalas no capítulo (NP), dias pós colheita (DPC), fitomassa fresca da parte aérea (FFPA); fitomassa seca da parte aérea (FSPA); fitomassa fresca do capítulo (FFC); fitomassa seca do capítulo (FSC) foi analisado no estágio R6 (floração final), em três plantas de cada repetição, por meio de balança eletrônica com precisão de 0,0001 g, obtida em estufa de circulação forçada a 65 °C por 48 h ou até peso constante. O DEC foi obtido pela média das medições horizontais e verticais dos limites das pétalas; o DIC foi obtido a partir da média aritmética dos limites verticais e horizontais obtidos nas flores do disco e o NP foi contado todas as pétalas sem qualquer critério de discriminação. Para o DPC foi levado em consideração o número de dias de duração da flor desde o dia em que todas as pétalas (flores do raio) se abriram inteiramente até o final do estágio R6. Foi obtida a massa úmida da parte aérea de 4 plantas de todos os vasos úteis, em balança eletrônica com precisão de 0,001 g.

Número de inflorescências: O número de inflorescências por vaso é considerado um dos parâmetros mais importante na conformação do vaso, pois quanto maior o número de flores por vaso, melhor a formação do buquê e, conseqüentemente, melhor qualidade final de vaso. Foram analisadas quando os vasos apresentavam 50% de inflorescências abertas. Considera-se inflorescência aberta quando a primeira fileira de língulas da inflorescência está perpendicular à haste floral. Os produtos de qualidade são lotes formados por plantas de ótima qualidade em que as plantas devem apresentar-se: isentas de pragas, doenças, com hastes firmes e com boa sustentação; bem formadas; com florescimento uniforme; todas com o mesmo estado de maturação e com coloração firme e adotaram-se os padrões de qualidade de Veiling Holambra.

As amostras secas da parte aérea do girassol foram trituradas em um moinho de aço inoxidável do tipo Willey. Para determinação de P, K, Ca e S (macronutrientes) e B, Fe, Mn e Zn (micronutrientes) foi feita a solubilização ácida (HNO₃:HCl, 3:1, v\v). Foram pesadas 0,5 g de cada amostra e adição de ácido usando 4 repetições de cada tratamento. A solubilização foi feita

em forno micro-ondas (marca CEM, modelo Mars Xpress, Charlotte, USA) (MALAVOLTA, 2006). Após a solubilização, o teor dos elementos químicos nos extratos foi dosado no espectrofotômetro de emissão óptica com fonte de indução de plasma acoplado (ICP-OES). A quantidade dos nutrientes acumulados na parte aérea foi obtida pela razão entre o teor de cada nutriente e a massa seca da amostra. O teor de Ntotal foi obtido por digestão com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio, pelo método de Kjeldahl (BREMNER, 1996).

4.8 Análises dos resultados experimentais do girassol

Foi aplicada a análise de variância pelo teste F, seguido de análise de comparação de médias pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa SISVAR, versão 5.7 (FERREIRA, 2018) e o programa R para as análises de componentes principais dos nutrientes na parte aérea do girassol.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Crescimento e adaptação das macrófitas nos sistemas de zona de raízes.

No transplântio do papiro-brasileiro, que ocorreu em 05/08/2019, as plantas apresentavam a mesma altura, onde SZR foi dividido em quatro parte iguais no sentido do comprimento, uma vez que as plantas de desenvolveram de maneira diferente em função da composição do esgoto. Mas a partir da terceira semana, muitas plantas morreram, mais intensamente próximas à entrada do efluente nos SZR (parte 1 da Figura 10) e também apresentaram menor desenvolvimento ao longo de todo o experimento, a tal fato atribui-se uma possível intoxicação pelo uso de sanitizante para higienização do refeitório da FAL, onde os produtos com os seguintes nomes comerciais foram utilizados: B-701clor (Óxido de Alquil, Dimetil Amina, Alcalinizante, Dispersante, Coadjuvante e Veículo. Ativo: Óxido de Alquil Dimetil Amina = 8,0 % – Biodegradável) dosagem de 30 a 60 mg L⁻¹ de água e Clean Sanitim Veg, dosagem de 20 g 1 L⁻¹ de água.

A maior altura de plantas do papiro-brasileiro ocorreu na parte 4, chegando a 201 cm de altura aos 70 DAT (20/11/19). Pode-se observar que em todos os meses ocorreu crescimento contínuo em todos os blocos, mas com alturas, em valores absolutos muito próximos, entre os meses de setembro a novembro, ou seja, aos 60 dias a partir da poda as plantas atingiram o estágio de máximo desenvolvimento (Figura 9 e 10).

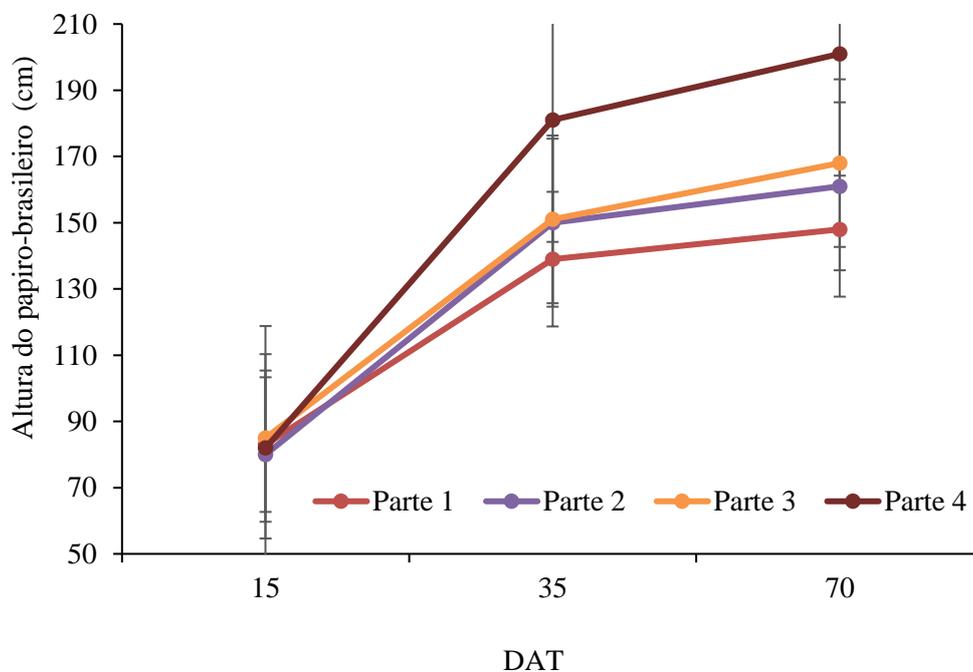


FIGURA 9. Altura do papiro-brasileiro (cm), em dias após transplântio (15, 35 e 70) para as partes de 1 a 4 com apresentação dos erros dos dados experimentais.



FIGURA 10. Imagem do papiro-brasileiro onde o SZR foi dividido em quatro parte iguais ao longo de seu comprimento (partes 1 a 4).

As alturas das plantas de taboa variaram entre as datas de medida, passando de média de 68 cm na parte 1 para 160 cm na parte 4. Porém, ao contrário do papiro-brasileiro, a taboa que não sofreu poda ao longo do experimento, com praticamente estabilidade na altura das plantas entre 15 e 70 DAT, mas com muita variação entre as partes ao longo do SZR, sendo de 68 cm na parte 1 e 160 cm na parte 4 no aos 15 DAT, que também se deve a intoxicação pelo uso de sanitizante (Figuras 11 e 12).

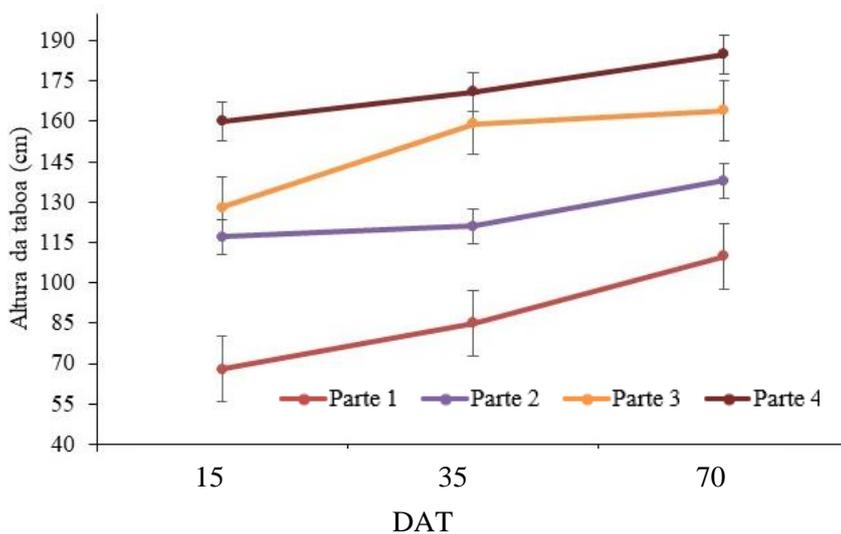


FIGURA 11. Altura da taboa (cm) em dias após transplântio (15, 35 e 70) para as partes de 1 a 4 em 20/11/19 com apresentação dos erros dos dados experimentais.



FIGURA 12. Imagem da taboa onde o SZR foi dividido em quatro parte iguais ao longo de seu comprimento (partes 1 a 4).

O tempo de detenção hidráulica (TDH) foi calculado para cada SZR e SnC, obtendo-se DDH no SnC de 6,6 dias, no SZRT, SZRP, SZRA de 5,4; 5,09; 5,6 dias, respectivamente. No teve uma relação entre o maior tempo de retenção hidráulica relacionado a maior remoção, no contrário com KURPEL et al. (2022) onde os seus resultados mostraram que o maior tempo de detenção hidráulica (> 40 h) foram melhores e influenciaram positivamente na redução de valores de DQO. Dentre as espécies de macrófitas testadas, observou-se significância e melhor eficiência de *J. effusus* na redução de valores de nitrogênio amoniacal, enquanto a espécie *S. podophyllum* teve melhor resultado para a variável DQO. Portanto, foi possível concluir que o sistema wetlands foi eficiente na redução de NH_4^+ dos efluentes da lagoa aerada e DQO dos efluentes oriundos do reator anaeróbico.

5.3 Balanço de nutrientes em um sistema de zona de raízes no tratamento de esgoto doméstico e o reúso do efluente no cultivo de girassol ornamental

5.3.1 Atributos no afluente e efluente na estação de tratamento de esgoto e água do córrego

A média geral de eficiência de remoção da ETE, considerando o EB e a mistura dos SZR, foi para Sólidos Suspensos Totais (SST) de 76%; Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), 51,6 %; Sólidos Totais (ST), 68,5%; DQO, 72,5%; Turbidez, 92,69%; Nitrato (NO_2), 80,6 %; Nitrito (NO_3), 83,8%; Ferro, 45,4%; Coliformes Fecais, 83,8%; Coliforme Totais, 46,3%; Fósforo, 34%, Condutividade elétrica (CE), 93,85%; Sódio (Na), 47,16%; Magnésio (Mg), 54,38%, Potássio (K), 37,88% (Tabela 10).

SANTOS et al. (2016) encontrou uma CE no efluente bruto de $4,62 \pm 0,01$ ($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) e no efluente tratado por 24 h de $4,46 \pm 0,01$ ($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$), no efluente tratado por 48 h $4,18 \pm 0,01$ ($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) no efluente tratado por 72 h de $3,88 \pm 0,01$ ($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) e no efluente tratado por 96 h de $3,71 \pm 0,01$ ($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$). No sistema de tratamento por wetlands construído, onde aplicou efluente de um frigorífico de suínos. Implantou um módulo experimental preenchido com uma camada de solo, seguido de pedra brita e areia como material filtrante e na camada superior foi plantado a macrófita *Juncus effusus*. FIA et al. (2017) observaram 84% de remoção de ST em SZR utilizando a macrófita Taboa, já a remoção de DQO foi de 79% e de P de 74% ao utilizar brita n. 2 como meio de suporte. Enquanto as eficiências de remoção de K e Na foram, de 27% e 24%, respectivamente, inferiores aos obtidos no presente trabalho.

O NO_2^- , variou de 0,056 a 0,415 mg L^{-1} com eficiências de remoção nos SZR de 29,67 a 80,63 %, os valores de NO_3^- variaram de 0,38 a 8,51 mL^{-1} com eficiências de remoção nos SZR de 39,39 a 83,75 %. BATISTA et al. (2018) avaliaram remoção de Nitritos (NO_2) em SZR subsuperficial de fluxo vertical ascendente observaram variações de 16,2 a 37,4 % de remoção com 155 a 122 mg L^{-1} respectivamente de (NO_2), com valor máximo de condutividade de 823 ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) e valores de OD de 6 a 7,3 mg L^{-1} .

Os valores de Na^{2+} variaram de 45 a 102 mg L^{-1} , com eficiências de 34,44 a 60,92%, Mg variou de 29 a 129 mg L^{-1} com eficiências de 25,19 a 67,76 %. A concentração de Ca variou de 13,93 a 28,63 mg L^{-1} , com eficiências de 1,19 a 64,53 %, dados superiores ao observados por CAMACHO-BALLESTEROS et al. (2020) com concentrações de 1.00, 1.32, 2.19, de Ca^{2+} , Mg, Na respectivamente. Observou-se valores de RAS em ETEirri de 2,05 e de Ac de 1,15 $\text{mmolc L}^{-1/2}$ (Tabela 10) superiores ao observados com CAMACHO-BALLESTEROS et al. (2020), de 0,71 $\text{mmolc L}^{-1/2}$ RAS onde avaliaram quantitativamente os parâmetros das concentrações iônicas de águas residuais para sua aplicação em solos agrícolas.

ANDERS et al. (2017) avaliaram as características físico químicas das águas de estações de tratamento por osmose reversa (água de poço, água dessalinizada e rejeito salino) na Mesorregião do Oeste potiguar, Brasil. Foram investigadas 10 estações de tratamentos de água salobra por osmose reversa (6 assentamentos e 4 comunidades rurais). Amostras de água do poço, rejeito da dessalinização e a água potável das estações de tratamentos foram coletadas para determinação dos parâmetros físico-químicas CEa, RAS, pH e os íons Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Na^+ e Ca^{2+} . Verifica-se elevado coeficiente de variação (CV) dos parâmetros: condutividade elétrica da água (CEa) para a água dessalinizada, água de poço, água de rejeito salino de 112,62, 80,9 e 86,5%, respectivamente; razão de adsorção de sódio (RAS) 79,9, 106,2 e 119,7%, respectivamente. Entre os cátions destacou-se o Ca^{2+} com 121,29, 55,2 e 61,2%, respectivamente; enquanto, entre os ânions sobressai o CO_3^{2-} com 166,49, 137,6 e 132,0%, respectivamente.

TABELA 10. Valores médios P, Ca+ K, Fe, SST, ST, CE, turbidez, Mg, Na, NO₃⁻, NO₂⁻, DQO, OD e RAS, CV e Ef e teste de comparação de médias entre os pontos avaliados na estação tratamento de esgoto e comparação com a água do córrego.

| Variáveis | Pontos de coleta | | | | | | | |
|--|------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | EB | ESZR | SnC | SZRP | SZRT | SZRA | EETirri | Ac |
| DQO (mg L ⁻¹) | | | | | | | | |
| Média | 443 a | 772 a | 411 b | 271 bc | 200 bc | 153 bc | 233 bc | 35 c |
| Ef | | 16,78 | 50,03 | 82,23 | 76,14 | 65,70 | 72,53 | |
| CV (%) | 59,00 | | | | | | | |
| Turbidez (NTU) | | | | | | | | |
| Média | 398 a | 185 b | 20 c | 22 c | 27 c | 17 c | 19 c | 0,03 c |
| Ef | | 37,13 | 91,80 | 92,50 | 91,50 | 89,53 | 92,69 | |
| CV | 123 | | | | | | | |
| CE (µS cm ⁻¹) | | | | | | | | |
| Média | 808 b | 1039 b | 1166 b | 1252 b | 1297 b | 1130 b | 1198 b | 52 a |
| Ef | | -75,67 | 24,03 | 23,14 | 25,59 | 32,56 | 93,85 | |
| CV | 41,26 | | | | | | | |
| NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹) | | | | | | | | |
| Média | 8,51a | 2,91 b | 1,03 b | 1,12 b | 1,10 b | 1,02 b | 1,08 b | 0,38 b |
| Ef | | 39,39 | 67,12 | 64,85 | 67,69 | 65,97 | 83,75 | |
| CV | 115 | | | | | | | |
| NO ₂ (mg L ⁻¹) | | | | | | | | |
| Média | 0,415 a | 0,254 ab | 0,06 2b | 0,094 b | 0,064 b | 0,069 b | 0,056 b | 0,165 b |
| Ef | | 29,67 | 56,30 | 56,68 | 53,03 | 39,19 | 80,63 | |
| CV | 106,42 | | | | | | | |
| Na ₂ ⁺ (mg L ⁻¹) | | | | | | | | |
| Média | 83 a | 85 a | 80 a | 102 a | 98 a | 90 a | 95 a | 45 b |
| Ef | | 34,44 | 44,10 | 60,92 | 54,63 | 41,30 | 47,16 | |
| CV | 27 | | | | | | | |
| Mg ₂ ⁺ (mg L ⁻¹) | | | | | | | | |
| Média | 129 a | 120 a | 89 a | 65 a | 57 a | 59 a | 29 a | 39 a |
| Ef | | 25,96 | 42,22 | 25,19 | 28,00 | 67,76 | 54,38 | |
| CV | 131,76 | | | | | | | |
| OD (mg L ⁻¹) | | | | | | | | |
| Média | 58,03 a | 46,64 a | 60,11 a | 62,64 a | 60,47 a | 63,41 a | 44,74 a | 45,01 a |
| CV | 30,27 | | | | | | | |
| RAS (mmolc L ⁻¹)1/2 | | | | | | | | |
| Média | 2,35 b | 2,87 ab | 2,35 b | 2,50 ab | 2,49 ab | 2,26 b | 2,05 b | 1,15 a |
| CV | 59,52 | | | | | | | |

CV: coeficiente de variação (%); EB: esgoto bruto; ESZR: afluente de entrada nos SZR e SnC; SZRT: efluente do leito cultivado com taboa; SZRP: efluente do leito cultivado com papiro brasileiro; SZRA: efluente do leito cultivado com aguapé; SnC: efluente do leito não cultivado; EETirri: efluente esgoto tratado irrigado; Ac: água do córrego. Ef = eficiência entre o afluente e o efluente dos TS e dos SZR e SnC (%); P: Fosforo; Ca₂⁺: Cálcio; K: Potássio; Fe: Ferro; SST: Sólidos suspensos totais; ST: Sólidos totais; Na: sódio; CE: Condutividade elétrica; Tur.: Turbidez; SST: Sólidos suspensos totais; ST: Sólidos totais; Mg⁺: Magnésio; NO₃⁻: nitrato; NO₂⁻: nitrito; DQO: demanda química de oxigênio; RAS: Razão de Adsorção de Sódio. ns: não significativo pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Trabalho de ANDERS et al. (2017), indicam valores das análises químicas de água dessalinizada das diferentes estações de tratamento que 70% delas foram classificadas como C1 S1 (baixo risco de salinidade e sodicidade) e 20% classificadas como C2 S1 (médio risco de salinidade e baixo de sodicidade) segundo Richards (1954), podendo esta última ser usada para irrigação, requerendo lixiviação moderada de sais. As análises dos resultados indicaram que as águas de poços e de rejeito salino de todas as comunidades apresentaram alto grau de restrição de uso para a irrigação quanto aos riscos de salinização e toxicidade de íons cloreto, sendo necessário o uso de práticas de manejo, como, por exemplo, o cultivo de plantas tolerantes à salinidade e a aplicação de fração de lixiviação de sais.

A eficiência de remoção média geral da ETE considerando o EB e a mistura dos SZR para DQO, 72,5% (Tabela 10) foi similar ao observado por De La MORA-OROZCO et al. (2020) que avaliou remoção de contaminantes em esgoto gerado pela suinocultura, tratado em leitos cultivados de fluxo Subsuperficial com DQO de 75 e 74 %. DOMINGUEZ-MARTINES et al. (2019) avaliaram um leito de fluxo subsuperficial horizontal com macrófitas da espécie *Cyperus Alternifolius* e observaram uma remoção de DQO de 92,2%. A remoção de turbidez foi de 92,69% (19 NTU), já AYALA et al. (2018) avaliaram um SZR na remoção de poluentes pelas espécies de macrófitas *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* e *Nasturtium officinale*, com melhores resultados para *Eichhornia crassipes*, com valor médio de turbidez de 300 NTU, ST de 2,57 mg L⁻¹, DQO de 79,52 mg L⁻¹ e pH de 7,87.

A eficiência de remoção de turbidez variou de 37,13 a 92,69%, sendo que Silva et al. (2019) relatam eficiências médias na remoção de turbidez entre 75 a 96%, havendo diferenças significativas entre leitos cultivados, ao comparar 18 forrageiras em leitos cultivados. A CE variou de 808 a 1297 $\mu\text{S cm}^{-1}$ na ETE com diferença significativa só na Ac com 52 $\mu\text{S cm}^{-1}$. GUEVARA et al. (2016) que avaliaram eficiência de SZR no tratamento de águas residuais de uma Universidade para reutilizar na irrigação de plantas e uso nas descargas sanitárias vasos sanitários relatam CE de 1430 a 1480 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e Turbidez menor ao observado neste trabalho que variou de 6,11 a 11,2 NTU (Tabela 10).

Na literatura são apresentados inúmeros trabalhos envolvendo tratamento de esgoto em SZR, onde constata-se resultados concordantes com os obtidos neste estudo, porém, em função do tipo e origem do esgoto, plantas macrófitas utilizadas, material de suporte, tempo de detenção hidráulica, dimensões dos SZR, condições climáticas, tipo de fluxo hidráulico, bem como de outros motivos não elencados aqui, os resultados podem ser bastante diversos, como alguns que são apresentados na sequência.

SILVA et al. (2015) avaliaram a remoção de matéria orgânica do esgoto em solo de wetland construído na estação de Tratamento de Esgoto de Brasília (ETEB) Norte, da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Nessa pesquisa foi utilizado o solo natural (Latosolo Vermelho-Amarelo) misturado com areia média, plantado (wetlands construídos) com arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). O objetivo foi avaliar a remoção de DBO dos esgotos domésticos pelos processos de imobilização do carbono da biomassa microbiana e da respiração basal (atividade microbiana). Os resultados mostraram que os solos foram capazes de reduzir as concentrações de DBO afluentes significativamente, com eficiência de remoção variando entre 97 e 99%. A remoção se deu pela mineralização da matéria orgânica e seu acúmulo no solo. Durante o início da aplicação do esgoto, houve redução nos teores de matéria orgânica nativa do solo que passaram a aumentar paulatinamente com a aplicação dos esgotos. A atividade dos microrganismos decompositores aumentou proporcionalmente à taxa de aplicação de esgoto, porém taxas elevadas indicaram uma tendência à inibição dessa atividade.

SOUZA et al. (2015) monitorou e avaliou a eficiência de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) que atua por meio de processos físicos e biológicos, mensurando a redução do teor de matéria orgânica do efluente durante o processo de tratamento e a disposição de nutrientes de importância agrícola no efluente tratado. A eficiência da ETE atingiu, aproximadamente, 90% na remoção de matéria orgânica, proporcionando um efluente adequado para a fertirrigação, mesmo para os elementos sódio (Na) e cálcio (Ca) que tiveram seus teores aumentados devido ao maior acúmulo de matéria orgânica no filtro anaeróbio de fluxo ascendente e wetlands. A ETE apresentou a remoção de nitrogênio e fósforo pela ação das microalgas e das macrófitas utilizadas no processo. O efluente final foi composto por elementos de importância agrícola tais como nitrogênio, fósforo, cálcio e potássio e, juntamente com a carga de matéria orgânica e sais.

CUBA et al. (2015) avaliaram a viabilidade do reúso de efluente de esgoto doméstico tratado, como fonte alternativa de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.). O experimento foi realizado em casa de vegetação e o sistema hidropônico adotado foi a técnica do filme de nutrientes e contou com três tratamentos: 1) uso de água de abastecimento e fertilizantes minerais, 2) uso de efluente doméstico tratado, complementado com fertilizantes minerais, com base em resultados de análise química prévia e, 3) uso de efluente doméstico tratado. Os resultados obtidos em todos os tratamentos foram ausentes para *Escherichia coli*. Apesar de todas as amostras apresentarem coliformes totais, a contagem foi baixa. Nas condições

experimentais foi possível concluir que a aplicação do efluente gerado na ETE como fonte alternativa de água para o cultivo hidropônico de alface, mostrou-se satisfatória, com uma economia de alguns fertilizantes em relação à solução nutritiva recomendada, não havendo prejuízos da produtividade da cultura, desde que este efluente seja complementado com fertilizantes minerais para atender a demanda nutricional da cultura. A análise microbiológica das plantas indicou que os perfis hidropônicos podem impedir o contato da parte comestível das plantas com o efluente usado na solução nutritiva.

SANTOS & ROSTON (2015) estudaram um sistema composto de dois leitos de fluxo vertical cultivados com macrófitas (*Typha* sp.) O sistema experimental foi implantado na área de eventos, Estância Árvore da Vida, localizada no município de Sumaré/SP e foi suprido pelo efluente da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), que utiliza o sistema de lodos ativados. Avaliou-se o potencial de nitrificação, redução de turbidez e sólidos suspensos totais (SST) com vistas à produção de água adequada ao reúso O sistema efetivou 40% de nitrificação, apesar da baixa faixa de pH (6,3 a 3,7), produzindo um efluente com concentração média de N-NO₃ de 2,5 mg L⁻¹. Valores obtidos para SST (eficiência de 93,85%, concentrações: afluente 37,4 mg L⁻¹ e efluente 2,3 mg L⁻¹), Turbidez (eficiência de 97%, concentrações: afluente 31,1 NTU e efluente 1 NTU) e DQO (eficiência de 74%, concentrações: afluente 114,7 mg L⁻¹ e efluente 29,9 mg L⁻¹) caracterizaram o efluente final com possibilidade de emprego para reúso na agricultura dependendo da cultura e solo a se utilizar.

A Ef geral de remoção de turbidez neste trabalho foi e 92,69%, redução na concentração do EB ao passar pelos SZR. Os SZR não tiveram diferença significativa entre os três tipos de macrófitas e no SnC (Tabela 10). A remoção de Sódio (Na), 47,16% e de Potássio (K), 37,88% (Tabela 10). Fia et al. (2017) observaram 84% de remoção de ST em SZR utilizando a macrófita Taboa, já a remoção de DQO foi de 79% e de P de 74% ao utilizar brita n.2 como meio de suporte. Enquanto as eficiências de remoção de K e Na foram, de 27% e 24%, respectivamente, inferiores aos obtidos no presente trabalho.

O OD na EETirri e Ac, foi de 44,74 e 45,01 mg L⁻¹, respectivamente (Tabela 10). De acordo com a Resolução Conama n. 357/05 (BRASIL, 2011), para um corpo d'água classe 2, o OD, em qualquer amostra, não pode ser inferior a 5 mg L⁻¹ O₂. O OD no presente estudo atende a resolução para os dois tipos de água de irrigação utilizados (Tabela 12). O OD nos SZR elevou-se segundo AVELAR (2019) Pode ser justificado pelas plantas e a adição de oxigênio, proporcionadas por estas ao meio, possibilitando o desenvolvimento de uma comunidade

microbiana mais ativa e diversificada próxima à rizosfera; mas a diferença nos SZR não foi significativa.

A turbidez variou de 17 NTU (SZRA) a 27 NTU (SZRT) com uma eficiência de 89,53 a 92,5% nos sistemas de zona de raízes (Tabela 10). FERRER et al. (2018) avaliou um SZR com fluxo subsuperficial usando as macrófitas *Bambusa sp.* e *Heliconia psittacorum* no tratamento de águas residuais provenientes de uma fábrica de processamento de alimentos, onde obtiveram NO_3^- para a *Bambusa sp.*, 11 mg L^{-1} e $2,3 \text{ mg L}^{-1}$ para a *Heliconia psittacorum*; NO_2^- para a *Bambusa sp.* de $0,12 \text{ mg L}^{-1}$ e de $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ para a *Heliconia psittacorum*. Os dados de NO_3^- são inferiores aos obtidos pelos autores acima, de NO_2^- foram superiores para a *Heliconia psittacorum*. Os autores relatam ainda valores de turbidez para a macrófita *Heliconia psittacorum* de 97,7 NTU, muito superiores aos obtidos neste trabalho. Os autores reportam ainda que Ef de 86,5% para o NO_3^- e de 58,4% para turbidez, para *Heliconia psittacorum*.

SANTOS et al. (2016) encontrou valores de pH no efluente bruto de $6,73 \pm 0,01$ e já para o efluente tratado por 24 h de $7,68 \pm 0,01$, para o efluente tratado por 48 h de $7,95 \pm 0,01$, e para o efluente tratado por 72 h de $8,02 \pm 0,01$ e finalmente para o efluente tratado por 96 h $8,15 \pm 0,01$, no sistema de tratamento por wetlands construído.

SANCHEZ et al. (2015) encontrou valores de pH de $7,10 \pm 0,12$ no afluente e no efluente de $6,58 \pm 0,21$, onde avaliou o potencial de fitoextração da macrófita *Cyperus papyrus* em termos de assimilação de nitrogênio e fósforo em um wetlands construído vertical descendente com fundo saturado (WCVD-FS).

REIS (2016) avaliou o comportamento hidráulico e desempenho de tanques sépticos (TS) e leitos cultivados (LC) de fluxo subsuperficial, vegetados com as espécies aquáticas taboa (*Typha spp*) (LC 1), papiro-brasileiro (*Cyperus giganteus*) (LC 2) e lírio do brejo (*Hedychium coronarium Koehne*) (LC 3) e um sem planta (LNC 4). A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) foi implantada na Fazenda Água Limpa (FAL) da Universidade de Brasília (UnB). Os três tanques sépticos em série, apresentam maior influência na redução da turbidez (12,4%), sólidos suspensos totais (28%), nitrato (15,7%), nitrito (20%), amônia (28,5%) e *E. coli* (9%). A tendência da temperatura é de se manter estável ($30 \text{ }^\circ\text{C}$) nos TS e LCs, enquanto o pH varia de 5,70 a 7,42 entre a entrada e saída dos TS. De modo geral, a tendência no LC com taboa é a de redução nas concentrações de sólidos suspensos totais (58,6%) e sólidos totais (11,2%), DBO (99,99%), e com valores de sódio na saída do leito de $114,92 \text{ mg L}^{-1}$, ferro II de $0,72 \text{ mg L}^{-1}$ e condutividade elétrica de $908,78 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$; no LC com papiro brasileiro reduziu a DBO em 94,5%, DQO em 60,5%, e valores de ferro total na saída de $0,63 \text{ mg L}^{-1}$, coliformes totais de $94.325 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ e potássio

de 46,31 mg L⁻¹; por sua vez, no LC com lírio do brejo reduziu a DQO em 71,6%, DBO em 99,1%, nitrato de 88,1% e nitrito de 83,6%.

SILVA (2018) avaliou remoção de matéria orgânica em tanque séptico com biomassa aderida. O objetivo desta pesquisa foi introduzir material suporte em tanque séptico em escala de bancada, o qual foi operado em quatro etapas: Etapa 1 (sem material suporte), Etapa 2 (50% de ocupação), Transição (sem material suporte) e Etapa 3 (10% de ocupação). O resultado do monitoramento de pH, alcalinidade e AGV (ácidos graxos voláteis) indicou estabilidade do sistema em todas as etapas de operação, sendo que a presença de material suporte não interferiu nesses resultados. A inserção de material suporte contribuiu para o aumento da eficiência do sistema, sendo que as maiores médias de remoção de DQOT e DQO foram na Etapa 3 (77,9% e 74,4%) e as menores na Etapa 1 (49,7% e 40,5%). Em relação aos sólidos, a Etapa 2 apresentou as melhores eficiências de remoção de sólidos totais (42,1%) e sólidos em suspensão totais (82,3%) e a Etapa 3, as de sólidos dissolvidos totais (33,2%) e voláteis (87,4%). As análises de PT (Proteína totais), PST (polissacarídeos totais) e STVA (sólidos totais voláteis aderidos) indicaram a maior concentração de biomassa microbiana no material suporte na Etapa 2.

Embora não existam padrões estabelecidos para os parâmetros pH, turbidez e condutividade elétrica na Resolução CONAMA 396/2008 (CONAMA 2008) Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências e dita legislação exige o monitoramento de esses parâmetros para acompanhamento da qualidade de águas.

A remoção de P para o SZRT foi de 11,60%, Faria et al. (2019) observou remoção de fósforo de 53% a 83%, utilizando o método por bateladas para tratar o esgoto com a espécie taboa (*Typha domingensis*), sendo superior ao obtido neste trabalho no efluente da SZRT, diferente na tecnologia avaliada, mas ambos se enquadram em sistemas de tratamento biológicos.

A eficiência de remoção geral que compara o EB e a EET de Fe foi de 45,4% para DQO de e 72,5 % (Tabela 10), menores aos obtidos por TORRES et al. (2017), que foi de 66,67% de Fe em sistemas de tratamento biológicos usando microalgas e 95,1% para DQO em efluentes de esgotos domésticos.

O pH no EB foi de 6,9 reduzindo para 6,3 na ESZR, aumentando novamente na saída dos SZR, que, embora não apresentou diferença significativa, a tendência foi de elevação do pH no efluente dos SZRP: 7,2, SZRT: 7,1, SZRA: 7,5, e, após o armazenamento da mistura composta dos SZRs e SnC em um reservatório de 5000 L e posteriormente parte transferido para outro de 1000 L (ETEirri), de onde captou-se para a irrigação, o pH se elevou para 7,4 (Tabela 11). O pH influencia diretamente no processo de tratamento do esgoto, sendo que a condição de neutralidade

propicia um tratamento mais estável. O pH no SZR variou entre 7,1 e 7,5, faixa que favorece a precipitação química de P associado a compostos de cálcio (Metcalf & Eddy, 1991). Já que o P no EB foi de 9,35 mg L⁻¹ sendo diferente estatisticamente ao P nas seguintes etapas de tratamento, associado a uma concentração de 28,63 mg L⁻¹ de Ca²⁺ (Tabela 11).

TABELA 11. Valores de pH, P, K, Ca e Fe em diferentes locais da ETE, no solo e na parte aérea do girassol e eficiência.

| Dinâmica de atributos | | | | | | | | | |
|-------------------------|--------|-------------------------|--------|--------------------------------------|--------|--------------------------|--------|--|--------|
| ETE | | | | | | | | | |
| | pH | P (mg L ⁻¹) | Ef (%) | K ⁺ (mg L ⁻¹) | Ef (%) | Fe (mg L ⁻¹) | Ef (%) | Ca ²⁺ (mg L ⁻¹) | Ef (%) |
| EB | 6,9 ab | 9,35 a | - | 12,14 ab | - | 28,91 a | - | 28,63 b | - |
| ESZR | 6,3 b | 5,33 b | 41,00 | 16,54 a | -66,00 | 25,85 ab | 6,88 | 25,45 bc | 1,79 |
| SnC | 7,3 a | 6,03 ab | 12,32 | 15,66 a | 33,80 | 20,75 bc | 44,21 | 17,36 bc | 51,37 |
| SZRP | 7,2 a | 5,70 ab | 20,85 | 12,7 a | 48,98 | 14,9 c | 61,71 | 15,96 bc | 57,39 |
| SZRT | 7,1 a | 6,65 ab | 11,60 | 14,36 a | 45,94 | 15,38 c | 62,42 | 13,93 c | 64,53 |
| ZSRA | 7,5 a | 6,34 ab | 16,80 | 14,71 a | 44 | 18,63 bc | 52,65 | 20,20 bc | 48 |
| EETirri | 7,4 a | 6,10 ab | 34,33 | 10,15 b | 37,88 | 15,63 c | 45,40 | 41,72 a | 39,82 |
| LVA | | | | | | | | | |
| | pH | P (g kg ⁻¹) | | K (cmolc dm ⁻³) | | Fe (mg L ⁻¹) | | Ca (cmolc dm ⁻³) | |
| AIS | 5,9 a | 4,25 b | - | 1,59 a | - | 71,10 c | - | 4,53 a | - |
| AcSA | 5,1 c | 6,63 a | - | 0,19 c | - | 667,53 ab | - | 3,30 b | - |
| AcCA | 5,3 b | 6,90 a | - | 0,31 bc | - | 716,86 a | - | 3,93 ab | - |
| EETSA | 5,3 b | 6,80 a | - | 0,54 bc | - | 605,96 b | - | 3,60 b | - |
| EETCA | 5,3 b | 6,76 a | - | 0,81 b | - | 673,70 a | - | 3,86 ab | - |
| Parte aérea do girassol | | | | | | | | | |
| | pH | P (mg L ⁻¹) | | K (mg L ⁻¹) | | Fe (mg L ⁻¹) | | Ca (mg L ⁻¹) | |
| AcSA | - | 32,17 d | - | 359,75 c | - | 5,07 a | - | 116,25 a | - |
| AcCA | - | 36,25 b | - | 397,00 bc | - | 4,18 b | - | 117,25 a | - |
| EETSA | - | 40,55 a | - | 472,25 ab | - | 5,36 a | - | 113,50 b | - |
| EETCA | - | 34,32 c | - | 428,75 a | - | 4,42 b | - | 111,25 c | - |

EB: esgoto bruto coletado antes da entrada do primeiro TS; ESZR: efluente do sistema de zona de raízes, que corresponde a saída dos TS; AIS: análise inicial do solo presente nos vasos de cultivo; nos tratamentos AcSA, AcCA, EETSA e EETCA, tanto no solo como na parte aérea do girassol foi analisado também no final do ciclo das plantas. LVA: Latossolo vermelho amarelo; EET: efluente de esgoto tratado utilizado na irrigação e -: não realizado

O pH do solo no início do experimento foi de 5,9, porém no final do experimento, variou entre 5,1 e 5,3, não havendo diferença entre os tratamentos com EET e Ac. Tal Comportamento também foi observado por Silva e Nascimento (2019), ao avaliarem os impactos da salinidade de 3 tipos de água, duas delas sendo esgotos tratados, não observando alterações no pH do solo cultivado com girassol.

A média do teor de P no EB foi de 9,35 mg L⁻¹, considerado elevado, porém na ESZR reduziu para 5,33 mg L⁻¹, com Ef de 41,10% nos TS. A eficiência e teores médios dos SZR e do

SnC foram de: SnC : 12,32%, (6,03 mg L⁻¹); SZRP: 20,85% (5,70 mg L⁻¹); SZRT: 11,60% (6,65 mg L⁻¹) e SZE: 16,80% (6,34 mg L⁻¹) (Tabela 11), respectivamente, sendo que na saída de cada SZR a tendência do P foi de elevação quando comparado com o afluente do SZR, mas houve redução da eficiência geral da EET se comparado com o afluente e efluente do esgoto bruto no sistema.

A remoção de P no SZR ocorre pela precipitação química, pela adsorção, pela assimilação das macrófitas e biofilmes formados no substrato e no sistema radicular das espécies vegetais. O P solúvel é facilmente absorvido pelos sistemas radiculares das plantas aquáticas, já a fração pouco solúvel associa-se ao ferro, ao alumínio e ao cálcio, tornando-se pouco assimilável pela planta, bem como pelos microrganismos. À medida que aumenta o tempo de operação do SZR, a tendência do sistema é tornar-se saturado de compostos de fósforo e, conseqüentemente, ocorre à diminuição da eficiência de remoção. Provavelmente, essa diminuição deve-se à saturação do substrato (brita).

A eficiência geral da EET foi de 34,3%, 20,85 do SZRP; 11,60 do SZRT e 16,80 do SZRA para o P (Tabela 11), inferiores à eficiência máxima obtida por Avelar (2019) que relata eficiências médias de remoção de P total nos SZR utilizando brita como meio suporte e cultivada com a espécie *Mentha aquáticas*, entre 12,8 a 58,3%. Para este autor, cada espécie vegetal e microbiana apresenta capacidade limitada de absorção de nutrientes, a qual exerce forte influência na eficiência de remoção de nutrientes, principalmente nos sistemas cultivados. Assim, atingindo-se a capacidade máxima de absorção, o aumento no aporte de nutrientes não aumentará, proporcionalmente, a absorção destes, reduzindo-se, portanto, a eficiência de sua remoção da água residuária no tratamento.

Segundo Von Sperling (2005), a remoção de P em SZR para tratamento de esgoto doméstico é inferior a 35%, assim nos SZR são considerados satisfatórios no que se refere à eficiência total de remoção de P que foi de 34,3%. Silva (2018) observou remoção média de P durante o inverno de 44,1% e na primavera a redução de 38,9% em SZR com a brita como material de suporte e usando as macrófitas emergentes *Typha* sp, maior o obtido no SZRT (11,60%).

O teor de P no efluente utilizado na irrigação foi de 6,10 mg L⁻¹, já na parte aérea do girassol variou de acordo com o tipo de tratamento. Assim, o tratamento AcSA foi de 32,17 mg L⁻¹, para AcCA de 36,25 mg L⁻¹, para EETSA de 40,55 mg L⁻¹ e para EETCA de 34,32 mg L⁻¹, portanto, EETSA foi o que mais absorveu P, diferindo estatisticamente dos outros tratamentos e concordando com os dados de fitomassa fresca da parte aérea e do capítulo que foram maiores (Tabela 6). Trabalho realizado por VORPAGEL (2010) demonstrou que a extração dos nutrientes do solo não ocorreu nas mesmas proporções durante os vários estádios de crescimento do girassol, sendo que as maiores exigências da cultura se referem ao N e K, seguidos do Ca, Mg e P.

Andrade et al. (2017) avaliaram o teor de P e K em plantas de girassol ornamental (*Helianthus annuus* L., cv. Sol Noturno) adubadas com esterco bovino e fertilizada com EET doméstico, onde sua aplicação não alterou o teor de P e K das plantas de girassol em comparação com água de abastecimento, com valores médios de 0,95 g kg⁻¹ para P com água de abastecimento e de 1,0 g kg⁻¹ para EET doméstico e de 40,95 g kg⁻¹ de K com água de abastecimento e de 44,15 g kg⁻¹ de K para EET doméstico, muito inferiores aos obtidos neste trabalho. Os teores de P foram de 2,45 mg L⁻¹ para Ac e de 6,10 mg L⁻¹ para EET, enquanto Andrade et al. (2017) observou com ausência de P na água de abastecimento e de 3,66 mg L⁻¹ para EET.

Andrade Filho et al. (2017) observaram interação significativa entre os fatores de estudo para a concentração de P aos 70 dias após emergência e apresentaram incrementos de 27,8, 39,0, 37,3 e 40,11% comparados ao tratamento controle, para o N, P e K nas folhas da cultura de algodão, cv 8H em dois tipos de solos irrigado com EET doméstico, enquanto neste trabalho observou-se aumento de P somente no EETSA com 40,55 mg L⁻¹

O P disponível no LVA foi de 4,25 g kg⁻¹ no início do experimento e aumentou para 6,63 g kg⁻¹ no AcSA, para 6,90 g kg⁻¹ no AcCA, para 6,80 g kg⁻¹ no EETSA) e 6,76 g kg⁻¹ no EETCA no final do ciclo do girassol (Tabela 11) nos quatro tratamentos houve um incremento na concentração de P. Schmidt et al. (2020) avaliaram a possível retenção e posterior liberação no solo de P e K provenientes de adubação orgânica e mineral em pesquisa com água residuária de suinocultura (ARS) em hidrogel. Ao analisar as profundidades (0-10 e 10-20 cm), levando-se em consideração todos os tratamentos e tempos, constataram que as concentrações de N, P e K diferiram significativamente nas profundidades estudadas, com valores de P de 41,6 mg kg⁻¹ (0,0416 g kg⁻¹) no final do experimento na profundidade de 0-10 cm, inferior aos observados neste trabalho, e, valores de K de 14,52 cmolc dm⁻³ no solo no final do experimento, superiores ao observados.

O processo de remoção química mais importante no solo é a absorção, resultando em retenção em curto prazo e imobilização em longo prazo de vários tipos de contaminantes. Outro processo importante dentro dos SZR é a adsorção, que se refere à união de íons às partículas do solo por meio de trocas catiônicas na superfície das partículas de argila e da matéria orgânica do solo; o fósforo, por sua vez, apresenta reações de adsorção-precipitação com minerais de alumínio, ferro, cálcio e argila, além de uma parte que consome a planta (ARTEAGA-CORTEZ et al., 2019).

Costa et al. (2009) verificaram a influência da textura, onde solos com maior teor de argila apresenta menor coeficiente de difusão de P, este fluxo difusivo menor pode ser explicado, em parte, por sua maior capacidade de adsorção de P, em grande parte atribuída à presença e reação com óxidos de Fe. O P desenvolve papel crucial no metabolismo das plantas, importante na

transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese (Melo e Mendonça, 2019). No LVA houve altos índices de Fe o que pode explicar a maior absorção de P nos 4 tratamentos ao comparado com AIS (Tabela 11).

O K^+ no EB foi de $12,14 \text{ mg L}^{-1}$, reduzindo para $16,54 \text{ mg L}^{-1}$ na ESZR com uma Ef. negativa de -66%, ou seja, houve elevação, onde os valores foram de: SnC = 33,8%, ($15,66 \text{ mg L}^{-1}$), SZRP = 48,98% ($12,70 \text{ mg L}^{-1}$), SZRT = 45,94% ($14,36 \text{ mg L}^{-1}$) e SZRA = 44% ($14,71 \text{ mg L}^{-1}$) (Tabela 5) e eficiência total do sistema de 37,8%. A eficiência geral do sistema avalia a concentração de entrada do atribuo ao comparado com a concentração final Da mistura dos 3 leitos de SZR. Já o SZR P foi o melhor com eficiência de 48,98 %.

Avelar (2019) observou remoções médias de K^+ entre 20,4 a 63,3% em SZR de escoamento horizontal Subsuperficial (SAC-EHSS) cultivados com *Mentha aquática*. As remoções de K^+ são, em geral, muito baixas, já que esses cátions apresentam grande solubilidade na água residuária e pequena associação com o material orgânico, o que os tornam pouco retidos no substrato, remoção similares somente no SZRP.

Fia et al. (2017) tratando água residuária da suinocultura (ARS), observaram remoção de 15 a 27% de K^+ utilizando as espécies de taboa (*Typha latifolia*) e o capim tifton-85 (*Cynodon* spp.), sendo inferiores os obtidos no SZRT que foi de 45,94%.

Schiavon et al. (2018) avaliou o acúmulo de macro e micronutrientes nos tecidos vegetais da cultura do girassol (cv. *Charrua*), verificando que o pico de acúmulo de K^+ ocorreu aos 30 DAE (dias após a emergência), tanto nas folhas como no caule, seguido de uma queda constante até aproximadamente 60 DAE, em que, a partir desse momento, houve estabilização na concentração de K^+ até a última avaliação, onde consideraram também a translocação de K^+ das folhas e caule para os órgãos reprodutivos. Destacam ainda que o K^+ se acumulou em maior proporção no caule em relação às folhas, com valores de 30 kg ha^{-1} ($0,0115 \text{ g kg}^{-1}$), aos 30 DAE no caule.

O K^+ disponível no LVA foi de $1,59 \text{ cmolc dm}^{-3}$ no início do experimento e reduziu para $0,19 \text{ cmolc dm}^{-3}$ para (AcSA), $0,31 \text{ cmolc dm}^{-3}$ (AcCA), $0,54 \text{ cmolc dm}^{-3}$ (EETSA) e de $0,81 \text{ cmolc dm}^{-3}$ (EETCA) no final do ciclo do girassol (Tabela 11). Reduzindo menos nos tratamentos irrigados com EETCA, possivelmente influenciados pelo aporte irrigado ($10,15 \text{ mg L}^{-1}$) e o aporte do adubo.

Schmidt et al. (2020) avaliaram a retenção e posterior liberação no solo por hidrogel de K^+ provenientes de adubação orgânica e mineral em tratamentos com ARS, obtendo valores de $14,52 \text{ cmolc dm}^{-3}$ no final do experimento, quando usaram ARS, superiores ao observados neste trabalho.

Andrade Filho et al. (2017) relatam que em Latossolo, aos 70 dias após emergência, os tratamentos que receberam 25% de esgoto tratado apresentam valores maiores de K^+ em relação

ao irrigado com água de abastecimento e adubação mineral, chegando a $21,2 \text{ g kg}^{-1}$, incremento de 41% se comparado com água de abastecimento com adubação, favorecido pelas características químicas e física do solo e a quantidade de nutriente aplicado no esgoto.

O teor de K^+ na parte aérea do girassol no final do ciclo (70 DAS) no tratamento AcSA foi de $359,75 \text{ mg L}^{-1}$, no AcCA de $397,00 \text{ mg L}^{-1}$, no EETSA de $472,25 \text{ mg L}^{-1}$ e no EETCA de $428,75 \text{ mg L}^{-1}$, ou seja, aumento nos tratamentos usando EET. Andrade et al. (2017) irrigaram com água de abastecimento e do EET, com concentrações de K^+ de $5,43 \text{ mg L}^{-1}$ na água de abastecimento e de $30,4 \text{ mg L}^{-1}$ e relatam um incremento de $40,95 \text{ mg L}^{-1}$ de K^+ para tratamentos com água de abastecimento e de $44,15 \text{ mg L}^{-1}$ para tratamentos com EET na parte aérea do girassol no final do ciclo, e foram inferiores aos obtidos neste trabalho.

Schiavon et al. (2018) avaliaram o acúmulo de macro e micronutrientes nos tecidos vegetais da cultura do girassol (cv. *Charrua*), verificando que o pico de acúmulo de K^+ ocorreu aos 30 DAE (dias após a emergência), tanto nas folhas como no caule, seguido de uma queda constante até aproximadamente 60 DAE, em que, a partir desse momento, houve estabilização na concentração de K^+ até a última avaliação, onde consideraram também a translocação de K^+ das folhas e caule para os órgãos reprodutivos. Destacam ainda que o K^+ se acumulou em maior proporção no caule em relação às folhas, com valores de 30 kg ha^{-1} ($0,0115 \text{ g kg}^{-1}$), aos 30 DAE no caule.

O teor de Fe total no EB foi $28,91 \text{ mg L}^{-1}$ e Ef nos TS de 6,88%, enquanto que no efluente do SnC a Ef foi de 44,21% ($20,75 \text{ mg L}^{-1}$), no SZRP de 61,71% ($14,9 \text{ mg L}^{-1}$), no SZRT de 62,42% ($15,38 \text{ mg L}^{-1}$) e no SZRA de 52,65% ($18,63 \text{ mg L}^{-1}$), já no EET, o teor de Fe total foi de $15,63 \text{ L}^{-1}$, redução de 45,40% após o armazenamento podendo ter ocorrido a precipitação no interior dos depósitos no armazenamento em relação a mistura do efluente dos SZRs e SnC (Tabela 5), possivelmente influenciados pelo adubo. Torres et al. (2017) relatam remoção de 66,67% de Fe em sistemas de tratamento biológicos usando microalgas e 95,1% para DQO em efluentes de esgotos domésticos. A eliminação de Fe entre outras metais em SZR pode variar devido à presença das espécies aquáticas, composição e características da atividade microbiana, além de características físicas e hidrodinâmicas, como profundidade, localização e temperatura (Wang et al., 2017).

Observa-se baixa concentração de Fe na Ac com $0,97 \text{ mg L}^{-1}$ e $15,68 \text{ mg L}^{-1}$ e teores consideráveis no EET (Tabela 11), mesmo assim, não houve efeito significativo na parte aérea do girassol, possivelmente devido aos efeitos da adição de adubação ao solo e baixa necessidade deste nutriente pelas plantas, ficando retido no solo.

O teor de Fe total no LVA no início do experimento foi 73,4 mg L⁻¹ e de 667,53 mg L⁻¹ no final, no tratamento AcSA, 716,86 mg L⁻¹ no AcCA, 605,96 mg L⁻¹ no EETSA e 673,6 mg L⁻¹ no tratamento EETCA. sendo estatisticamente superior os tratamentos com adubação seguidos do Tratamento EETSA. Costa et al. (2009) verificaram que a influência da textura do solo, onde os solos com maior teor de argila apresentam menor coeficiente de difusão de P, este fluxo difusivo menor pode ser explicado, em parte, por sua maior capacidade de adsorção de P, em grande parte atribuída à presença e reação com óxidos de Fe. No LVA houve altos índices de Fe o que pode explicar a maior absorção de P nos 4 tratamentos quando comparados com AIS (Tabela 5). Já Sandri e Rosa (2017) verificaram que os tratamentos utilizando EET doméstico com elevado teor de Fe e fertirrigação convencional com Fe adicionado na água de irrigação, também favoreceram elevação do teor de Fe no LVA ao utilizar o gotejamento superficial na irrigação da cultura da bananeira.

O teor de Fe total na parte aérea do girassol no tratamento AcSA foi de 5,07 mg L⁻¹, no AcCA de 4,18 mg L⁻¹, no EETSA de 5,36 mg L⁻¹ e no EETCA de 4,42 mg L⁻¹, sendo estatisticamente superior no tratamento EETSA e no AcSA tratamentos sem adubação. (Tabela 5). Marin-Riveira et al. (2019) avaliaram a eficácia de zonas úmidas subsuperficiais de fluxo vertical na remoção de Fe e Mn provenientes das águas residuais de estações de tratamento de água potável, usando como exemplo uma zona úmida a escala piloto com fluxo ascendente, leito de cascalho e dois tipos de plantas, *C. esculenta* e *P. australis*, com porcentagem de remoção de Fe de 90%, Fe dissolvido de 97% e Mn de 98%; muito superior aos obtidos neste trabalho.

O Ca²⁺ no EB foi de 28,63 mg L⁻¹, reduzindo para 25,45 mg L⁻¹ no ESZR e Ef de 1,79% nos TS, enquanto que no SnC a Ef foi de 51,37% (17,36 mg L⁻¹), no SZRP de 57,39% (15,96 mg L⁻¹), no SZRT de 64,53% (13,93 mg L⁻¹) e no SZRA de 48% (20,20 mg L⁻¹), enquanto que no SZR, após armazenamento em depósito de 5000 L e depois em outro 1000 L foi de 39,8% (18,00 mg L⁻¹) (Tabela 5), demonstrando maior redução nos teores de Ca²⁺ nos SZR em relação ao SnC, o mesmo foi observado por Fia et al. (2017), que observaram em Taboa Ef de 52,2% com teor de 22 mg L⁻¹ de Ca²⁺; em capim tifton-85 Ef de 43,00% e teor de 27 mgL⁻¹.

Como o Ca²⁺ é essencial para às plantas, em valor absoluto, os SZR removeram mais em relação ao SnC, entretanto, houve diferença significativa somente no SZRT em relação ao SnC. O teor de Ca²⁺ no LVA no início do experimento foi de 4,53 cmolc dm⁻³ e no final de 3,30 cmolc dm⁻³ para o tratamento AcSA, 3,93 cmolc dm⁻³ para o AcCA, 3,60 cmolc dm⁻³ para o EETSA e de 3,86 cmolc dm⁻³ para o EETCA, ou seja, houve redução em todos os tratamentos, motivado pela absorção do girassol, mesmo assim, com maiores teores nos tratamentos que receberam adubação sintética.

Sandri e Rosa (2017) observaram variação na concentração de Ca^{2+} no solo entre os tratamentos com EET aplicado por gotejamento na camada de LVA de 0 a 0,2 m de 60 a 200% de variação ao comparado com tratamentos irrigados com água de poço. Os teores do Ca^{2+} não diminuiriam e são divergentes aos reportados por Souza et al. (2020), onde observaram que houve incrementos nos valores do coeficiente dispersivo-difusivo com aumento das diluições do efluente da indústria de laticínios em LVA cultivado com capim *Panicum maximum*, o que possivelmente está relacionado com as concentrações dos íons presentes na água de diluição, uma vez que apresentou teores dissolvidos de 13 e 6,5 mg L^{-1} de Ca^{2+} e K^+ , respectivamente.

O Ca^{2+} na parte aérea do girassol no tratamento AcSA foi de 116,25 mg L^{-1} , no AcCA de 117,25 mg L^{-1} , no EETSA de 113,5 mg L^{-1} e ETCA de 111,25 mg L^{-1} , no entanto, observa-se a presença de Ca^{2+} na Ac de 50,91 mg L^{-1} e no EET de 41,72 mg L^{-1} , porém, houve diferença significativa na parte aérea do girassol e no LVA (Tabela 5). No LV SA teve maior concentração de Ca^{2+} nos tratamentos adubados (CA) nos dois tipos de água ao comparados com o (SA). Na parte aérea de planta a maior concentração de Ca foi para os tratamentos irrigados com Ac. O aumento de sódio na fase adsorvida do solo causa o deslocamento de íons divalentes (Ca^{2+} e Mg^{2+}), que precipitam no solo como $\text{Ca Mg} [(\text{CO}_3)^2]_2$, resultando na formação de espessuras cimentadas em sua superfície (CAMACHO-BALLESTEROS et al., 2020).

5.3.2 Correlação de Pearson (r) dos atributos no efluente do SZR e SnC

A DQO apresentou correlação de Pearson (r) positiva, ou seja, a medida que aumenta o teor deste, também elevou-se o teor de NO_3^- , bem como do NO_2 em relação ao Na, caracterizada como moderada (0,49) e correlação negativa com a CE (-0,64), demonstrando que a medida que diminuiu a DQO elevou-se a CE, que de acordo com a categorização sugerida por JACQUES-CALLEGARI (2007), $r = 0$, nula; 0 a 0,30, fraca; 0,3 a 0,6 moderada; 0,6 a 0,9, forte; 0,9 a 1, muito forte e 1, perfeita. Já a turbidez apresentou r positivo forte com relação ao Na (0,61) e a RAS. Em sua maioria, os atributos avaliados apresentam correlação de Pearson positiva e negativa fraca, demonstrando que os atributos avaliados pouco se correlacionaram (Tabela 12).

TABELA 12. Correlações de Pearson dos valores médios dos atributos analisados no efluente dos SnC, SZRP, SZRT e SZRA.

| Atributos | DQO | Turbidez | CE | NO ₃ ⁻ | NO ₂ | Na | Mg | RAS |
|------------------------------|-------|----------|-------|------------------------------|-----------------|------|------|------|
| DQO | 1,00 | | | | | | | |
| Turbidez | -0,45 | 1,00 | | | | | | |
| CE | -0,64 | -0,04 | 1,00 | | | | | |
| NO ₃ ⁻ | 0,50 | -0,38 | 0,04 | 1,00 | | | | |
| NO ₂ | 0,11 | 0,21 | -0,49 | 0,29 | 1,00 | | | |
| Na | 0,05 | 0,61 | -0,55 | -0,31 | 0,49 | 1,00 | | |
| Mg | 0,26 | 0,07 | -0,40 | -0,40 | -0,18 | 0,34 | 1,00 | |
| RAS | -0,48 | 0,63 | 0,34 | -0,45 | -0,31 | 0,13 | 0,28 | 1,00 |

5.4 Parâmetros morfológicos das plantas de girassol

A AP do girassol foi maior no tratamento EETCA aos 15, 25, 35 e 70 DAS, com média de 6,82, 17,98, 55,58 e 86,54 cm, respectivamente (Tabela 13), inferiores aos apresentados por Raj et al. (2017) aos 30, 60 e 90 DAS que observaram valores de 84,4; 184,5; 224,7 cm, respectivamente, quando intercalado com a aplicação de uma irrigação com água do córrego dois com efluente da indústria de bebidas. SOARES et al. (2016) avaliaram o efeito da adubação nitrogenada e fosfatada e observaram valores médios de AP de girassol cultivar Embrapa 122, de 122 e de 22,5 cm, no período de junho à setembro de 2011, não sendo influenciados pelas doses de N, mas apresentou resposta linear e positiva às doses de P. Sendo que as interações entre água e nutrientes afetam diretamente o crescimento e a rendimento das culturas (KHODAEI-JOGHAN et al., 2018)

TABELA 13. Altura da planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro do caule (DC) e área foliar (AF) das plantas de girassol ornamental Sunflower aos 15, 25, 35, 55 e 70 dias após semeadura (DAS) irrigado com EET e Ac em solo com adubação (CA) e sem adubação química sintética (SA).

| Variáveis | DAS | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | 15 | | 25 | | 35 | | 55 | | 70 | | |
| | SA | CA | SA | CA | SA | CA | SA | CA | SA | CA | |
| AP (cm) | Ac | 4,45 Bb | 5,39 Ab | 12,09 Bb | 14,67 Ab | 48,95 Ba | 45,5 Ab | 57,91 Ab | 61,64 Ab | 71,33 Bb | 79,04 Ab |
| | EET | 6,17 Ba | 6,82 Aa | 16,07 Ba | 17,98 Aa | 50,87 Ba | 55,58 Aa | 65,58 Aa | 64,45 Aa | 81,74 Ba | 86,54 Aa |
| | CV | 4,57 | | 5,39 | | 4,08 | | 6,89 | | 3,05 | |
| DC (cm) | Ac | 0,5 Bb | 0,656 Ab | 2,52 Bb | 3,31 Ab | 6,48 Bb | 7,62 Ab | 7,67 Bb | 8,58 Ab | 10,18 Aa | 10,37 Ab |
| | EET | 0,738 Ba | 0,845 Aa | 4,25 Ba | 5,21 Aa | 8,11 Aa | 8,32 Aa | 9,56 Aa | 9,74 Aa | 10,78 Ba | 11,75 Aa |
| | CV | 3,02 | | 5,19 | | 6,93 | | 7,27 | | 6,40 | |
| NF (cm) | Ac | 2,00 Ab | 2,00 Ab | 7,95 Bb | 9,45 Ab | 8,83 Bb | 10,43 Ab | 12,16 Bb | 13,41 Ab | 18,08 Aa | 17,50 Ab |
| | EET | 3,33 Ba | 4,10 Aa | 10,35 Ba | 11,06 Aa | 11,24 Ba | 12,37 Aa | 14,25 Ba | 15,61 Aa | 18,79 Ba | 20,76 Aa |
| | CV | 6,15 | | 5,93 | | 3,50 | | 5,22 | | 5,63 | |
| AF (cm ²) | Ac | 4,52 Ab | 4,03 Ab | 46,7 Ab | 66,68 Ab | 288,67 Ba | 141,95 Ab | 407,7 Bb | 598,46 Ab | 1074,2 Ab | 1180,2 Ab |
| | EET | 12,91 Ba | 20,7 Aa | 85,8 Ba | 118,03 Aa | 275,96 Aa | 283,5 Aa | 851,0 Ba | 1104,8 Aa | 2533,8 Ba | 3646,7 Aa |
| | CV | 37,14 | | 25,02 | | 20,48 | | 12,60 | | 12,33 | |

Letras maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si dentro de cada DAS. CV: = Coeficiente de variação (%).

O DC aos 15, 25 e 35 DAS foi maior nos tratamentos EETCA quando comparado aos tratamentos irrigados com Ac, bem como os tratamentos CA foram superiores ao SA para o EET e Ac, que se deve ao aporte de nutrientes pelo EET presentes em maior concentração em relação a Ac, especialmente o nitrogênio e cálcio (Tabela 13). Já aos 70 DAS, o DC foi maior no tratamento EETCA (11,75 mm) em relação ao EETSA (10,78 mm), similares aos obtidos por Silva e Nascimento (2019) ao utilizarem EET na irrigação de Girassol Anão de Jardim (*Helianthus annuus L.*) (10,95 mm). OLIVEIRA et al. (2017) constataram que com o aumento das dosagens de 0, 25, 50, 75 e 100% de EET diluídos em água de abastecimento, resultou em maiores índices no DC do girassol ornamental cv. Anão de Jardim.

O NF aos 70 DAS foi maior no tratamento EETCA chegando a 21 folhas, já no tratamento EETSA foi de 19 folhas e no AcCA 18 folhas (Tabela 14), por sua vez SILVA E NASCIMENTO (2019) não observaram diferença no NF e OLIVEIRA et al. (2017) constataram que que aos 35 dias após o desbaste (DAD), na concentração de 75% de EET proporcionou maior NF, Constataram também que o aumento das dosagens (0, 25, 50, 75 e 100%) de EET diluídos em água de abastecimento, resultou em maiores índices DC, NF, MFPA, MSPA, DIC, DEC MFC e MS,

que para Cruz et al. (2019), o uso de EET melhora a composição química e física do solo devido à adição de matéria orgânica, proporcionando, respectivamente, maior disponibilidade de nutrientes associados à maior capacidade de retenção de água do solo, por meio da cimentação de partículas edáficas.

O AF nos tratamentos irrigados com EET foram maiores em relação a Ac aos 15, 25, 55 e 70 DAS, com valores de 20,74; 118,03; 1104,75 e 3646,73 cm², respectivamente, da mesma forma, o uso de LVA CA foi maior em relação ao SA, demonstrando que a associação de LVA irrigado com EET e adubação química proporcionaram maiores AF. Segundo ALVES (2019), a deficiência de nutrientes, principalmente N, P, K e Ca impactam severamente no DC já que são os principais responsáveis da formação estrutural das plantas, como na formação de folhas e em consequências na área foliar das plantas de girassol, como comprovado neste trabalho, em que os tratamentos irrigados com Ac e SA apresentaram AF menores aos demais tratamentos (Tabela 13).

A análise estatística dos parâmetros morfológicos do girassol é apresentada na Tabela 14.

TABELA 14. Análise estatística do diâmetro interno do capítulo (DIC), diâmetro externo do capítulo (DEC), número de pétalas (NP), dias pós colheita (DPC), fitomassa fresca e seca da parte aérea (FFPA e FSPA) e do capítulo (FFCA e FSCA) de plantas de girassol ornamental Sunflower no estágio R6 (floração final).

| | GL | Quadrado médio | | | | | | | |
|------------------|----|----------------|----------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|
| | | DEC (mm) | DIC (mm) | NP (unid.) | DPC (dias) | FFPA (g) | FSPA (g) | FFCA (g) | FSCA (g) |
| Água | 1 | 1621,27 | 402,37 | 29,00 | 60,96 | 6687,23 | 220,98 | 7890,63 | 61,95 |
| Adubação | 1 | 64877,00 | 644,54 | 33,00 | 34,44 | 1952,52 | 36,14 | 3168,07 | 26,92 |
| Água x Irrigação | 1 | 16,33 | 22,19 | 0,37 | 12,39 | 431,10 | 0,003 | 436,71 | 2,23 |
| Erro | 20 | 4,49 | 20,49 | 0,99 | 0,76 | 37,14 | 0,68 | 20,72 | 0,65 |
| CV | | 1,73 | 7,64 | 2,99 | 9,35 | 8,18 | 5,80 | 5,96 | 6,77 |
| Média geral | | 122,70 | 59,25 | 34 | 9,36 | 74,54 | 14,27 | 76,36 | 11,93 |
| Tipo de água | | | | | | | | | |
| Ac | | 114 b | 55,16 b | 32 b | 7,77 b | 57,84 b | 11,23 b | 58,23 b | 10,33 b |
| EET | | 130 a | 63,35 a | 35 a | 10,95 a | 91,23 a | 17,30 a | 94,49 a | 13,54 a |
| Tipo de adubação | | | | | | | | | |
| SA | | 117 b | 54,07 b | 32 b | 8,16 b | 65,52 b | 13,04 b | 64,87 b | 10,88 b |
| CA | | 127 a | 64,44 a | 36 a | 10,50 a | 83,55 a | 15,49 a | 87,85 a | 12,99 a |

* significativo a 5% de probabilidade; CV - coeficiente de variação (%)

O tratamento EETCA apresentou maior DEC e DIC, com média de 135,29 mm e 67,57 mm, respectivamente, o mesmo ocorreu com o NP que foi de 36 pétalas. Os DPC foram de 12,87 dias (Tabela 8), diferido dos resultados obtidos por Barros et al. (2019), que não verificou efeito

significativo ($p < 0,05$) entre NP, DIC e DEC do girassol em função do tipo de água de irrigação (EEF) e da adubação inorgânica no cultivo de girassol cv. Catissol 01.

Observa-se que o DIC, DEC, NP, DPC, FFPA, FSPA, FFCA e FSCA, nos tratamentos irrigados com EET foram maiores em relação a Ac e o CA foi maior ao SA (Tabela 14). Os maiores índices da fitomassa em tratamentos com EET se deve à atividade da matéria orgânica, com contribuição de substâncias húmicas, o que propicia melhores condições para o sistema radicular se desenvolver, com conseqüente melhora na capacidade de absorção de nutrientes disponíveis no solo

Tratando; se de produção de flores, os autores relatam que o número de pétalas e a fitomassa são variáveis importantes, uma vez que uma maior densidade de pétalas aumenta a beleza do vaso, além de proporcionar maior atratividade para os consumidores.

A fim de garantir a qualidade do girassol ornamental para comercialização Veiling Holambra, dispõe de um catálogo de classificação dos principais parâmetros como base para produtores. O padrão é determinado pela uniformidade do lote. Enquanto ao comprimento da haste o girassol classifique-se como padrão 80 nos tratamentos EETCA e EETSA (86,5cm e 82,7cm respectivamente). Para o diâmetro do botão com flor aberta sem rede, os tratamentos do ETT obtiveram maior diâmetro classificando-os dentro do padrão 80,90 (Tabela 14).

Outros parâmetros avaliados por Veiling Holambra são o ponto de abertura dentro do maço que não ocorram irregularmente entre as flores e falta de pétalas, no experimento não ocorreu abertura irregular nem falta de pétalas nos 4 tratamentos avaliados.

Um último fator para comercialização é a ausência de defeitos especificamente danos de doenças e danos de pragas, rachadura da haste e queima por fitotoxicidade, tais defeitos não foram apresentados em nenhum dos tratamentos avaliados.

5.5 Análise de Componentes Principais (PCA) de macronutrientes e micronutrientes na parte aérea das plantas de girassol

A análise dos componentes principais (PCA) pode ser usada para extrair informações importantes de um conjunto de dados, expressando essas informações em poucas variáveis conhecidas como componentes principais (CP). Essas novas variáveis correspondem a uma combinação linear dos dados originais, assim, o objetivo do PCA é identificar as direções (ou componentes principais) ao longo das quais existe maior variação nos dados. O PCA reduz a dimensionalidade de dados para dois ou três componentes principais ou dimensões (eixos x, y, z), que podem ser visualizados graficamente, objetivando perder o mínimo de informações. Com esse

propósito foi realizada a análise dos componentes principais dos macros e micronutrientes na parte apera do girassol.

O biplot PCA representa a relação da absorção de nutrientes pelas plantas e o efeito dos diferentes tratamentos de água irrigadas (Figura 13). Observa-se que os dois primeiros componentes foram responsáveis por 76,24% (53,59% nos PC1 + 22,65% no PC2) da variação total de teor de nutrientes nos diferentes tratamentos. O que permite determinar as inter-relações entre o teor dos nutrientes e caracterizar o impacto ou a falta da influência de algum deles.

No PC1, os teores de B e S são altamente dependentes uns dos outros (coeficiente de correlação superior, $r = 0,91$), o mesmo é observado para o P e K ($r = 0,87$), indicando que o aumento de absorção de um deles resulta em aumento da absorção do outro, porém, o Ca apresentou correlação negativa ($r = -0,63$), já no PC2 existe uma maior correlação positiva entre o N e Zn ($r = 0,83$).

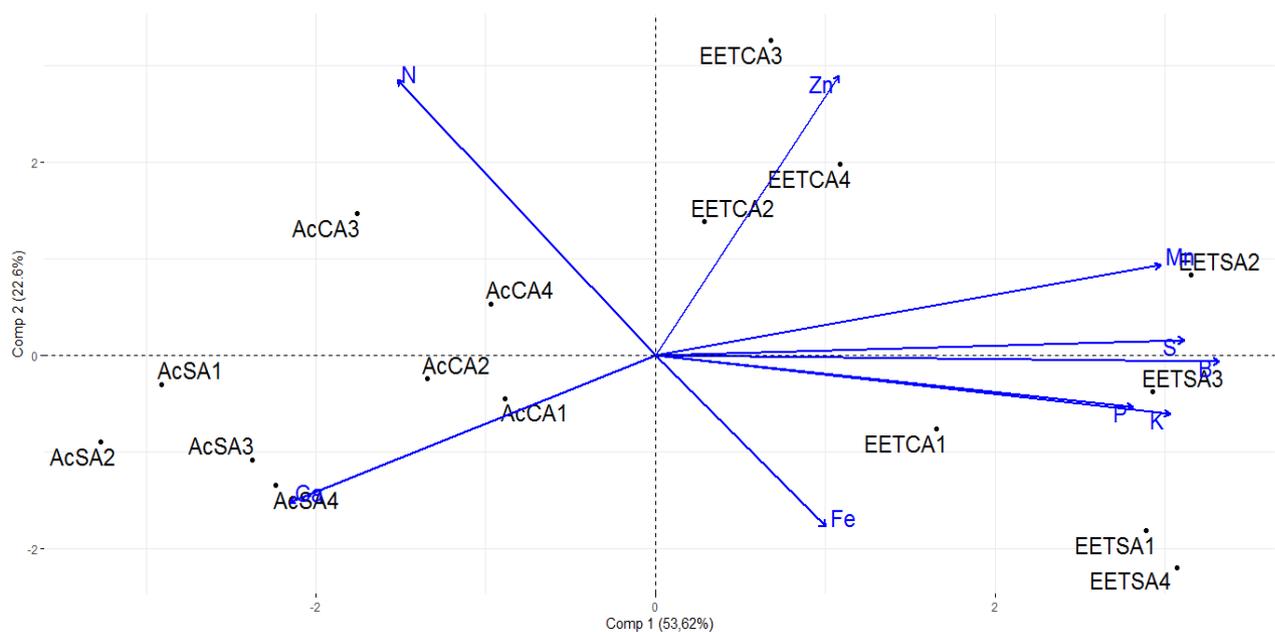


FIGURA 13. Biplot – Análise de componentes principais (PCA) e teores de macro (N, P, K, Ca, S) e micronutrientes (B, Fe, Mn, Zn) no girassol e suas correlações entre os diferentes tratamentos.

O tratamento EETSA contribuiu para uma maior absorção de P, K, S, B e Mn pelas plantas de girassol, enquanto o tratamento AcSA influenciou no maior acúmulo de teores de Ca. As plantas do tratamento AcCA, por outro lado, acumularam maiores quantidades de N e maiores teores de Zn foi observado no tratamento EETCA (Figura 13).

A ausência de correlação entre o teor de N e os teores de P e K ($r = -0,26$) foram também observados por MATHEYARASU et al. (2017) nas culturas de girassol, canola, alfafa, milho após a aplicação de diferentes lâminas de irrigação de águas residuais. No entanto teores de P e K foram altamente correlacionados ($r = 0,83$) nas diferentes culturas testadas, similares aos encontrados neste trabalho.

Percebe-se uma maior absorção de nutrientes nas plantas de girassol submetidas aos tratamentos EETSA e EETCA isto pode ser explicado à maior presença de íons da solução do solo, sendo um dos indicadores a CE de $1090 \mu\text{S cm}^{-1}$ no EETirri. Da mesma forma LI e ZHANG (2019) ao irrigar plantas de girassol com diferentes tipos de água com uma variação de CE de 60 a 1390 mS cm^{-1} , observaram o maior acúmulo de nutrientes na solução do solo dos sistemas de irrigação com maior CE.

A demanda de macro e micronutrientes para as plantas é muito importante, mas na prática regular e rotineira, os macronutrientes são complementados convencionalmente e ao observar o teor de N no PC2, a maior absorção ocorreu no tratamento AcCA, e, por sua vez JAKUBUS et al. (2019) constataram que fertilização solúvel baseada em N resulta em concentrações elevadas de nutrientes nas culturas. Esses autores comentam que esse fenômeno pelo fato de aumentar a fertilização com N resulta em uma alocação aprimorada de estruturas ricas em N, aumentando a capacidade de fotossíntese das plantas e, portanto, e, da mesma forma as necessidades de nutrientes. LI e ZHANG (2019) constataram que os processos de assimilação de C e N nas folhas de girassol, diminuíram constantemente no aumento de salinidade, motivo pelo qual o tratamento EETCA não resultou em maiores teores de N nas plantas de girassol.

6 CONCLUSÕES

O teor de P foi reduzido em 41% após passar por três TS em série e se elevou no efluente do SnC, SZRT, SZRP e SZRA. O teor de K^+ , Fe total e Ca^{2+} reduziram-se no efluente em relação ao afluente do SnC, SZRT, SZRP e SZRA. A SZRP apresentou maior remoção em Fe e K, já o SZRT apresentou maior remoção do Ca^{2+} .

Considerando o valor médio do efluente do SnC, SZRT, SZRP e SZRA, a turbidez apresentou correlação de Pearson forte em relação ao Na (0,61) e a RAS, porém, a maioria dos atributos avaliados apresentam correlação fraca, seja positiva ou negativa.

A altura das plantas foi maior no tratamento EETCA aos 15, 25, 35 e 70 DAS e o DC ao 15, 25 e 35 DAS no tratamento EETCA em comparação com o tratamento Ac. A FN foi maior no tratamento EETCA aos 70 DAS e IAF aos 15, 25, 55 e 70 DAS em comparação aos tratamentos irrigados com Ac.

A altura de plantas foi 8 % maior no tratamento EETCA em relação ao ACCA.

O DIC, DEC, NP, DPC, FFPA, FSPA, FFCA e FSCA, nos tratamentos irrigados com EET foram maiores em relação a Ac e adubados maior em relação ao sem adubação.

O tratamento EETSA foi o que mais contribuiu com os componentes principais na absorção de P, K, S, B e Mn na parte aérea do girassol, enquanto o tratamento AcSA apresentou maior influência no acúmulo de Ca^{2+} , o tratamento AcCA no acúmulo de N e o EETCA no acúmulo de Zn.

O pH, Ca e K no solo no final do experimento diminuíram em todos os tratamentos enquanto o P e Fe aumentaram. A análise PCA mostra que um número pequeno de componentes (PC1 e PC2) conseguiram explicar maior variabilidade nos dados originais (76,24%) e, no tratamento EETSA houve maior absorção de nutrientes explicada da PC1 e maior acúmulo de N observado no tratamento AcCA explicado na PC2. As concentrações foliares dos macronutrientes P, K, foram as que mais se correlacionaram em áreas de cultivo submetidos ao tratamento EETSA da mesma forma foram observadas correlações positivas nas concentrações foliares dos micronutrientes B e S.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, J. F. **Consumo hídrico da cultura do girassol irrigada na região da Chapada do Apodi-RN**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- AGEITEC – **Agência Embrapa de Informação tecnológica**, disponível em:<
<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/pimenta/arvore/CONT000gn0jdxdz02wx5ok0liq1mq926zww.html>> Acesso 2018
- ARAUJO, J.: R. E. **Efecto de la ventilación natural en filtros percoladores en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales en aguas residuales– Marian–Huaraz–2021**. 2022.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Rome: FAO, 1998, 297p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56.
- ALMEIDA, O. A. de. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 228 p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n. 6, p.711-728 (published online January 2014).
- ANDERS, C.R.; MELO, M.R.S.; DIAS, N.S.; SOUZA, A.C.M.; PORTELA, J.C.; JUNIOR, F.S.S. Caracterização das águas de estações de tratamento na mesorregião do oeste potiguar, brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 3, p. 1430-1437, 2017.
- ANDRADE FILHO, J., BEZERRA-DO-NASCIMENTO, I., SOUSA-NETO, O.N.; SILVA-DIAS, N., CHIPANA-RIVERA, R.; CRUZ-PORTELA, J., DUNGA-DA-COSTA, J. Contenido foliar de N, P y K en algodón fertirrigado con efluente de alcantarillado tratado. **Dyna**, 84 (202), 147-154, 2017.
- ANDRADE NETO, C. O.; ALÉM S. P.; SOUZA MELO, H. N. de; AISSE, M. M., 1999, “Decanto-Digestores”. **In:** Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo, Programa PROSAB, capítulo 5, Rio de Janeiro, ABES-RJ
- ANDRADE, L. O., GHEYI, H., DIAS, N.S., NOBRE, R.G., DIAS, N.S. Teor de macronutrientes em girassol ornamental sob doses de esterco e efluente doméstico. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 12, 607-611, 2017,

- ANDRADE, L.O.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; NOBRE, R. G.; SOARES, F. A. L.; NASCIMENTO, E. C. S. Qualidade de flores de girassol ornamental irrigada com água residuária e doses de esterco. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 142 – 149, 2014
- ANDREOLI, C. V. **Lodo de fossa e tanque séptico: Caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 388p.
- APHA. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**, 22nd Ed. American Public Health Association, American Water Works Association, **Water Environment Federation**. Washington, DC. 2012.
- ARAUJO, M. C. de; OLIVEIRA, M. B M. de. Monitoramento da qualidade das águas de um riacho da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 3, p. 247-257, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 7229. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. 1992. 15p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 9898. **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores**. 1987. 22p.
- AVELAR, F.; MATOS, A.T.D.; MATTOS. M.P. (2019) Remoção de contaminantes do esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com *Mentha aquática*. **Eng. San. e Amb.** N. 24, v. 6, p.1259-1266. 2019.
- ÁVILA, R. O. de. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte**. 2005. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- AYERS R. S.; WESTCOST, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 29, revisado 1).
- AYERS, R. S.; WESTCOOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p.
- AZEVEDO, A., de, G., FIALHO, E., de, E. y BERGAMIM, J. Acúmulo de nutrientes por forrageiras cultivadas em sistema de escoamento superficial para tratamento de esgoto doméstico. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. 9 (1): 97-108, 2014. [Fecha de consulta: 7 de junio de 2018]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92830124010>.
- BARROSO, L.B.; WOLFF, D.B. Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. **Engenharia Ambiental**, v. 8, n.3, p. 225-236, 2011.

- BATISTA, O. R.; SOUZA, R. J. A.; FERREIRA, C. D. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Ceres**, Viçosa, v. 57, n.1, p. 018-022, jan/fev, 2010.
- BECKMANN-CAVALCANTE, MÁRKILLA ZUNETE et al. Condutividade elétrica da solução nutritiva para o cultivo do crisântemo em vaso. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. Viçosa, v. 34, n. 3, p. 747-756, June 2010.
- BIANCHINI, R. A.; PISSINATO, T. R.; CAMPOS, A. P.; MOREIRA, W. M. Q.; RAMOS, M. H. C. Efeitos da adubação de plantas no manejo de pragas. **Revista Fafibe On-Line**, Bebedouro SP, v.8, n1, p. 108-120, 2015.
- BORGES, M. E. Rendimento, qualidade e precocidade de gladiolo irrigado no Recôncavo Baiano. Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Bahia, **Centro de Ciências Agrárias e Ambientais II**. 2005. p 64.
- BRAGA, B. A.; LIMA, P. E.C. **reúso de água na agricultura**. 1ª edição Brasília. D.F.: EMBRAPA, 2014.
- BRASIL. CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente**. Resolução n.357 de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, 2005. 23p.
- BRASIL. CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente**. Resolução n.430 de 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, 2011. 8p.
- BRASIL. CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente**. Resolução n. 54, de 28 de novembro de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, 2015. 3p
- BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução CONAMA, nº. 54. Brasília, 2005. Diário Oficial da União, 09 mar. 2006
- BRASIL. Lei nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, seção 1, p. 470, v. 135, n. 6, 09 de janeiro de 1997.
- BRASIL.Ministério do Desenvolvimento Regional - MDR (Brasil). Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021 / **Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional**. – Brasília/ DF, 2021.
- BRATTI, E. F.; YARA, B.C.J.; SILVA, E.F.; ROSA, J.E.J.; ZARATE, N.A.H.; BISCARO, G.A.; DEREK, B.C.J. Cultivo de gladiolos em função das doses de calcário e potássio. **Hortic. Bras.**, Vitória da Conquista, v. 30, n. 3, p. 397-402, set. 2012.
- BREMNER, J.M. (1996) **Nitrogen-Total**. In: **Methods of Soil Analysis**. Part 3, Chemical Method, SSSA, ASA, Madison, 1085-1122.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. (2007). Bioestatística: Princípios e aplicações. Artmed Editora.

- CAÑETE e COELEMU. Manual técnico cultivo de ocho especies de flores de corte aster-crisantemo-fresia- gipsofila-iris- **AUSIÓN STATICE- SOLIDAGO**. Chile, 2002.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Campinas Fundação Cargill. 326p. 1980.
- CASTIGLIONI, V. B. R. et al. **Fases de desenvolvimento da planta de girassol**. Londrina: Embrapa-CNPSo, 1997. (Embrapa-CNPSo, Documentos, 58).
- CASTRO, C. A. M.; BOARO, F. C. S.; RODRIGUES, D. J.; ERIG, C. Composto de lixo urbano e lodo de esgoto na produção de crisântemo para flor de corte cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**. v. 12, n.2, p. 97-102, 2007.
- CASTRO, C. et al. Acúmulo de matéria seca, exportação e ciclagem de nutrientes pelo girassol. **In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE GIRASSOL**, 16., 2005, Londrina. Anais... Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 2005.
- CERQUEIRA. L. L.; FADIGAS. F. DE S; PEREIRA, F. A.; GLOAGUEN, T. V.; COSTA, J. A. Desenvolvimento de Heliconia psittacorum e Gladiolus hortulanus irrigados com águas residuárias tratadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.12, n.6, p.606–613, 2008 Campina Grande, PB, UAEAg/UFCG – <http://www.agriambi.com.br>
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). **Reúso da água**. São Paulo. SP.
- CONAMA. CONSEJO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 396, 3 de abril 2008**– Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: [RESOLUÇÃO CONAMA nº 396.pdf \(ana.gov.br\)](#)
- CONERH. **Resolução Conselho Estadual de Recursos Hídricos nº 75**, de 29 de julho de 2010 – Estabelece procedimentos para disciplinar a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e/ou florestal. Diário Oficial. Salvador – BA, Sábado e Domingo 31 de julho e 1º de agosto de 2010. Ano · XCIV · Nºs 20.331 e 20.332.
- CONNOR, J. D.; HALL, A. J. Sunflower physiology. **In: SCHNEITER, A. A. (Ed.). Sunflower technology and production**. Madison: American Society of Agronomy, 1997. p. 113-181.
- CONTE, A.; SATO, O.; DOS, K.; AGUIAR, R.; BIRELLO, S.; BUENO, G. Adubação mineral e orgânica no desenvolvimento de crisântemo. *Semina: Ciências Agrárias*. v.31, n.1, p.93-99, 2010.
- COOPERATIVA, VEILING HOLAMRA. **Productos- criterios de classificação de produtos**. 2013. Disponível em <<http://www.veiling.com.br/produtos/>> Acesso: 30 de junho 2018.

- COSTA, A.C.A.; CHIBA, H.S.A. Caracterização das práticas de produção utilizadas por produtores de flores e plantas ornamentais na Amazônia. **Revista Espacios**. 2017
- CRESPI, R., SOLER, C., SOLER, E., PUGLIESE, M., 2018. Evaluación de humedales artificiales.
- CUBA, R. S.; CARMO, J.R.; SOUZA, C.F.; BASTOS, R.G. Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v.10, n.3, p.574-586, 2015.
- CUNHA, A. H. N.; SANDRI, D.; VIEIRA, J. A.; ALVES, J. A. A.; CUNHA, I. N. **Uso de efluente para complementação de nutrientes no cultivo de Sweet Grape**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA, 43, 2014. Anais... Campo Grande: Centro de Convenções Arquiteto Rubens Gil de Camilo', Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2014.
- DAMASCENO, L. M. O., ANDRADE JUNIOR, A. S., CHEYI, H. R., DIAS, N. S., SILVA, C. O., 2011. Composição nutricional foliar da gérbera irrigada com efluente doméstico tratado. *Revista Caatinga*, v. 24, n. 2, p. 121-128, 2011.
- DANTAS, D. L.; SALES, C. A. W. Aspectos ambientais, sociais e jurídicos do reúso da água. **Revista de Gestão Social e Ambiental** set.- dez. 2009, V.3, N°3, p. 4-19 www.gestaosocioambiental.net.
- DOS, J. y FIDELES, J. CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO EM ALGODÃO IRRIGADO COM ÁGUA DE ESGOTOS SANITÁRIOS TRATADOS. **Revista Caatinga**. v. 28, n.2, p.36-45, 2015.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Serviço nacional de levantamento e conservação de solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2º ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Girassol. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1om7kf02wyiv802hvm3jaupb6fn.html>.
- ENRÍQUEZ, J.; VELÁSQUEZ, B.; VALLEJO, A.; VELASCO, V. Nutrición de plantas de ESTEVES, F. **Fundamentos de limnología**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.
- excreta use in aquaculture. Geneva: World Health Organization, 2006.

- FATTA-KASSINOS, D.; KALAVROUZOTIS, I.K.; KOUKOULAKIS, P.H.; VASQUEZ, M.I. The risks associated with wastewater reuse and xenobiotics in the agroecological environment. **Science of the Total Environment**, 409: 3555-3563, 2011.
- FERREIRA, D.F. SISVAR (Software Estatístico): **Sistema de análise de variância para dados balanceados**, versão 5.7, Lavras: DEX/UFLA, 2018.
- FERREIRA, L.S. **Avaliação de desempenho de wetlands construídos para o tratamento de efluente de reator UASB: Estudo de caso da ETE Vog Ville**. 74f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2013.
- FONTSERÉ, A. C.; PAHI, L. R. El cultivo de la hortênsia. Horticultura global: revista de indústria, distribuição u socioeconômica hortícola. **Espanha**, n.16, p.7- 15, 1984.
- FRANČIŠKOVIĆ-BILINSKI S.; CUCULIĆ V.; BILINSKI H.; HÄUSLER H.; STADLER Ph. Geochemical and stable isotopic variability within two rivers rising under the same mountain, but belonging to two distant watersheds. **Chemie der Erde-Geochemistry**, v. 73, p. 293–308, 2013.
- FREITAS, C. A. S. de et al. Efluente de esgoto doméstico tratado e reutilizado como fonte hídrica alternativa para a produção de cana-de-açúcar. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 727-734, July 2013.
- GARCÍA, L. M., MONTAÑO, S. BORJA., MELGAREJO M. J. “La recuperación de costes de la depuración y reutilización de aguas en España”. **En**: Melgarejo Moreno, Joaquín (ed.). Congreso Nacional del Agua Orihuela. Innovación y Sostenibilidad. Alacant: Universitat d’Alacant. ISBN 978-84-1302-034-1, pp. 469-480, 2019.
- GARZÓN, J., RODRÍGUEZ, J. M., GÓMEZ, C. **Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible**. Em: Univ. Salud 19 (2), p. 309, 2017.
- GRECHI, S.Q. **Avaliação da eficiência de métodos rápidos usados para detecção de coliformes totais e coliformes fecais em amostras de água, em comparação com a técnica de fermentação em tubos múltiplos** [dissertação]. Araraquara: Faculdade de Ciências Farmacêuticas, 2005.
- GUEVARA, L.P.B.; ARIAS, C.E.C.; PLATA, D.P.; CALDERÓN, D.F.F. Construcción y evaluación de la eficiencia de dos prototipos de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de la universidad el Bosque. **Revista Colombiana de Bioética**. v.15, n.2, 2016.

- HU, Y.Y. Molecular typing of ctx-m-producing *Escherichia coli* isolates from environmental water, swine feces, specimens from healthy humans, and human patients. **Appl Environ Microbiol.** 2013; 79(19):5988-96.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). **Panorama do Saneamento Rural no Brasil.** Censo Demográfico 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em 01 nov. 2018.
- IBRAFLOR - **Instituto Brasileiro de Floricultura.** Disponível em http://www.ibraflor.com/ns_mer_interno.php Acesso em: 14 de março de 2018.
- IBRAFLOR - **Instituto Brasileiro de Floricultura.** Disponível em http://www.ibraflor.com/ns_mer_interno.php Acesso em: 14 de março de 2018.
- ITRC – Interstate Technology e Regulatory Council. **Technical and regulatory guidance document for constructed treatment wetlands.** New Jersey: ITRC, 2003. 199 p.
- JAKUBUS, M., BAKINOWSKA, E. Varied macronutrient uptake by plants as an effect of different fertilisation schemes evaluated by PCA. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science.** p. 1-13. 2019.
- JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Mercado interno para os produtos da floricultura brasileira: características, tendências e importância sócio-econômica recente. **Ornamental Horticulture**, v.14, n.1, 2008.
- KHODAEI-JOGHAN, A.; GHOLAMHOSEINI, M.; AGHA-ALIKHANI, M.; HABIBZADEH, F.; SOROOSHZADEH, A.; GHALAVAND, A. Response of sunflower to organic and chemical fertilizers in different drought stress conditions. *Acta agriculturae Slovenica*, v.111, n.2, 2018.
- KURPEL, K., SOUZA, K. V. DE, & BONETE, I. P. Pós-tratamento de efluentes da indústria de panificação e confeitaria por wetlands construídas considerando diferentes tempos de detenção hidráulica. *Revista AIDIS De Ingeniería Y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo Y práctica*, v.15, n.3, p.1370–1389, 2022.
- LEITE, F. A. M. Reúso de água na gestão integrada de recursos hídricos. Dissertação de Mestrado – Universidade Católica de Brasília/ Faculdade planejamento e gestão ambiental ,2003. 120p.
- LI, C.; ZHANG, Z. Effects of ionic components of saline water on irrigated sunflower physiology **Water. Agricultural Water Management.** v.11, n. 2019.
- LIMA (2005) **VIABILIDADE ECONÔMICA PARA PRODUÇÃO DE ROSAS EM CASA DE VEGETAÇÃO**, NUNES, D. C¹.; DE FRANÇA, P. C¹.; REZENDE, R. C². Acesso 06 Junho. 2018.

- LIRA, M. A.; CARVALHO, H. W. L.; CHAGAS, M. C. M.; BRISTOT, G.; DANTAS, J. A.; LIMA, J. M. P. **Avaliação das potencialidades da cultura do girassol, como alternativa de cultivo no semiárido nordestino**. Documentos 40. EMPARN. 40 p. Natal – RN, 2011.
- LIRA, P.R. **Avaliação do cultivo do girassol na fronteira oeste do rio grande do sul fertirrigado com água residuária** / Patrícia da Rosa Lira. 50 p. 2017
- LUCAS, A. A. T.; MOURA, A. S. A; NETTO, A de O. A; FACCIOL, G. G; SOUSA, I. F. Qualidade da água no riacho Jacaré, Sergipe e Brasil usada para irrigação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 8, n. 2, p. 98-105, 2014.
- MALDANER, I.C., HELDWEIN, A.B., LOOSE, L.H., LUCAS, D.D.P., GUSE, F.I., BORTOLUZZI, M.P. Modelos de determinação não-destrutiva da área foliar em girassol. *C. Rural*. 39(5):1356- 1361. 2019.
- MARTINEZ, M. Plantas Ornamentais. Disponível em: <http://www.infoescola.com/biologia/plantas-ornamentais>. Acesso em jun. 2018.
- MASSIGNAM, A. M. **Determinação de temperaturas base, graus-dia e influência de variáveis bioclimáticas na duração de fases fenológicas de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.)**. 1987. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987
- MATHEYARASU, R.; SESHADRI, B.; KUMAR, P.; SHILPI, S.; BOLAN, N.S. The effect of wastewater irrigation rate on dry matter yield of selected field crops. *Int J Water Wastewater Treat*. v. 3, n. 3, 2017.
- METCALF; EDDY. “Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse”. McGraw-Hill International Editions, 3rd ed., New York, 1991
- METCALF; EDDY. **Wastewater engineering treatment disposal reuse**. 4. ed. Revised by G. Tchobanoglous, F. Burton e D. Stensel. New York: McGraw Hill Book, 2003.
- MUYEN, Z.; MOORE, G.A.; WRIGLEY, R.J. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agricultural Water Management*. v.99, p.33-41, 2011.
- NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D.A. **Trickles Irrigation for crop Production**. U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, U. S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona - U. S. A. p.383, 1986.
- NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. *Irrigation Science*. v.12, p.187-192, 1991.
- NETO, A. S. M. (2010). **Caracterização e viabilidade econômica do sistema produtivo de flores tropicais do Rio de Janeiro**. 86 p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Rio de Janeiro.

- NOGUEIRA, S.F. **Balço de nutrientes e avaliaço de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas para o tratamento do esgoto**. Piracicaba, SP: CENA/USP, 2003. 137p.
- OLIVEIRA, L. D. de. **AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE NITRIFICAÇÃO EM UM FILTRO BIOLÓGICO AERADO SUBMERSO ALIMENTADO COM EFLUENTE DE RALF**. 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, 2012.
- OLIVEIRA, R.; ALVES, A.; BATISTA, D.; MEDEIROS, J.; MENDES, A. Remoção de sólidos suspensos e totais em biofiltros operando com esgoto doméstico primário para reúso na agricultura. **Revista Ceres**. v.60, n.1, p.7-15, 2013.
- OLIVEIRA, R.; BEZERRA, F.; SILVA, H.; DA, D.; DE, M. Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação por gotejamento. **Revista Caatinga**. v.24, n.4, p.137-144, 2011.
- PEREIRA, J.R.D.; CARVALHO, J.A.C.; PAIVA, P.D.O.P.; SILVA, D.J.S.; SOUZA, A. M. G.; SOUZA, K. J. Crescimento e produção de hastes florais de gládio cultivado sob diferentes tensões de água no solo. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 965-970, Aug. 2009. access on 07 Nov. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542009000400004>.
- PIÑEIRO DI BLASI, J. I.; MARTÍNEZ, T. J.; GARCÍA N. P. J.; FERNÁNDEZ, J. R. A.; MUÑIZ, C. D.; TABOADA, J. Analysis and detection of outliers in water quality parameters from ‘different automated monitoring stations in the Miño river basin (NW Spain)’. **Ecological Engineering**, v. 60, p. 60–66, 2013.
- PLASTICULTURA, Ciência agrícola para o produtor rural. Os números do mercado mundial de flores e plantas ornamentais. 2017. Disponível em: <<http://revistaplasticultura.com.br/vejaos-numeros-do-mercado-mundial-de-flores-e-plantas-ornamentais/>>. Acesso em 06 de junho, 2018.
- POCAS, D.C. **Utilização da tecnologia de wetlands para tratamento terciário: controle de nutrientes**. Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2015.
- PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; ELBANA, M.; DURAN-ROS, M.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F.; LAMM, F. R. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. **Agricultural Water Management**, v.97, p.883-891, 2010.
- REIS, A. P. **Tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes espécies de macrófitas no tratamento de esgoto**. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília/ Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2016. 78p.

- REZENDE, G.B.M.; BRITO, A.L.C.; FREITAS, L.S. **A Prática do ecodesign na construção civil e a busca pelo direito fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado.** HOLOS, Natal, v. 33, n. 4, p. 266-281, 2017.
- RICHARDS, S.; PATERSON, E.; WITHERS, P. J. A.; STUTTER, M. Septic tank discharges as multi-pollutant hotspots in catchments. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 542, p.854-863, jan. 2016. Elsevier BV.
- SAMMIS, T. W.; PICCHIONI, M.G.; SAUCEDO, D. **Management model for land application of wastewater.** Disponível em:<http://www.irrigationtoolbox.com/ReferenceDocuments/TechnicalPapers/IA/2004/IA041031.pdf>.> Acesso abril 2018.
- SANCHEZ, G.; PILISSAR, C.; TREIN, C.M.; MOHEDANO, R.A.; SEZERINO, P.H. “Desempenho de fitoextração da macrófita cyperus papyrus em wetland construído vertical com fundo saturado empregado no tratamento de esgoto” conferência dictada en el 2º **Simposio brasileiro sobre wetlands construídos.** Universidade Tecnológica Federal de Paraná, 11-13 de junho de 2015.
- SANTIAGO, A.F.; CALIJURI M.L.; LUIS, P.G. Potencial para utilização de sistemas de wetlands no tratamento de águas residuárias; uma contribuição à sustentabilidade dos recursos hídricos no Brasil. **Revista Natureza & Desenvolvimento**, v.1, n.1. p 29-29,2005.
- SANTOS, B. S.; COSTA, P.F.; EYNG, E.; CAMARA, C.D. Avaliação da Eficiência de Um Sistema de Tratamento por Wetland Construído Aplicado ao Efluente de um Frigorífico de Suínos. Seminário: **Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 37, n. 2, p.13-22, 2016
- SANTOS, G. O. **Aplicação de efluente de tratamento de esgoto, via aspersão, no solo e em Brachiaria.** 198 p. 2015. Tese de Doutorado em Engenharia Ciências Agrárias e veterinárias. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Jaboticabal – SP. 2015.
- SANTOS, R. A. de A. **Influência do período de repouso na capacidade de percolação de esgoto tratado em solo arenoso.** 2016. 13f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.
- SANTOS, R. MARIA FERREIRA, ROSTON, D. M. (2015). Desempenho de alagados construídos (constructed wetlands) de fluxo vertical no pós-tratamento de esgoto sanitário: potencial para o reúso agrícola. **Revista Engenharia Na Agricultura**, v. 23, n.6, p.517.

- SCHIAVON, N. C., LIMA, R. C., AGUIAR, V. F., SANTOS, V. K. S., PEREIRA, G. A. M., BARROS, E. S., FERREIRA, E. A. Marcha de absorção de nutrientes em plantas de girassol (*Helianthus annuus*). **Revista de Ciências Agrônômicas**, v. 27, n. 2, p. 236-250, 2018.
- SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequena Empresa. Flores e plantas ornamentais do Brasil. Vol. 01. Série Estudos Mercadológicos. Sebrae 2015. 44p..
- SHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente e Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 17-32, 2014.
- SILVA e SILVA, A. N. (2004). **Reúso de água no Distrito Federal: Verificação dos efeitos da irrigação com efluentes de estações de tratamento de esgotos no cultivo da Dália Anã Sortida (*Dahlia pinnata*)**. Dissertação de Mestrado, Publicação PTARH.DM - 02 / 04, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 193 p.
- SILVA JÚNIOR, W. R. da. **Atributos químicos do solo fertirrigado com efluente de esgoto tratado e fenometria de cultura do pimentão**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2016, 51 p. Dissertação de Mestrado.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa, Brasília, v. 2, 1999. p. 70.
- SILVA, J. dos S. **Remoção de matéria orgânica em tanque séptico com biomassa aderida**. 2018. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.
- SILVA, L.P, da.; MANASSÉS, M.S.; CORREA, M.M.; SOUZA, F.C.D.; SILVA, E.F.F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.16, n.5, p.480–486, 2012.
- SILVA, M.V.T.; LIMA, R. M. S.; OLIVEIRA, F.L.; CHAVES, S.W.P.; MEDEIROS, J.F. CE e RAS do extrato de saturação do solo sob diferentes níveis de salinidade e doses de nitrogênio no cultivo da abobora. **Revista Verde (Pombal – PB - Brasil)**, v 9., n. 2, p. 277 - 284, abr-jun, 2014.
- SILVA, S.C.; BERNARDES, R.S.; RAMOS, M.L.G. Remoção de matéria orgânica do esgoto em solo de wetland construído. **Eng Sanit Ambient** | v.20 n.4 | out/dez 2015 | 533-542. Brasília.
- SOUZA, S.A.M; CARVALHO, S.S; CARVALHO, S.R; DOS SANTOS, H.B; MACHADO, C.A; DANTAS, A.I.L; FACCIOLI, G.G. Qualidade da água e água residuária proveniente do

- sistema de lagoas de estabilização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.9, nº.1, p. 24 - 31, 2015.
- SOUZA, T.J.; CEBALLOS, O.S. B.; HENRIQUE, N.I.; DANTAS, P.J.; LIMA, S.M.S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob Cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Sci. Agron.** Maringá, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2006.
- TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency). **Guidelines for water reuse**. EPA/625/R-92/004. Washington, 1992.
- USEPA. **Free water surface wetlands for wastewater treatment: A technology assessment**. Washington, Office of Water, 1999 e 2002.
- USEPA. United States Environmental Protection Agency, 40 CFR, Part 136. 1992.
- van GENUCHTEN, M. Th., F. J. Leij, and L. J. Lund (eds.). 1991. Proc. Int. **Workshop, Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils**. Univ. California, Riverside (in press).
- van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 44:892-898, 1980.
- VARGAS, L.C. Filtracion lenta, Manual I Teoria e Evaluacion, **CEPIS/OPAS**, Lima, Peru 1992.
- VIANA, E.P.T.; CARVALLO, H.O.G.; GARÓFALO, L.H.C.; SOUZA, J.A. ONTOGÊNESE E PRODUÇÃO DE GIRASSOL SUBMETIDO A DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO E ADUBAÇÃO NITROGENADA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 12, n. 1, p. 2305-2314, 2018.
- VIANA, P.F.A., CAMILLO, J., JUNQUEIRA, A.M.R. **Flores de corte de clima temperado. Floricultura no Distrito Federal**. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. 75p.:il.;21cm- (Floricultura no Distrito Federal; v.2). 2017.
- VIANA, P.F.A.; CAMILLO, J.; JUNQUEIRA, A.M.R. **Flores de corte de clima temperado. Floricultura no Distrito Federal**. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2017. 75p.:il.;21cm- (Floricultura no Distrito Federal; v.2).
- VILLELA, J.L.V.E.; ARAÚJO, J.A.C.; FACTOR, T.L. Efeito da utilização do efluente de biodigestor no cultivo hidropônico do meloeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 7: 72-79, 2003.

- von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.1)
- von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. v. 1. 3. ed. DESA. Belo Horizonte – MG: Editora da UFMG, 2005.
- von SPERLING, M. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: lodos ativados**. Minas Gerais: UFMG, 1997.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO. 2006. 213p.
- WHO – World Health Organization. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Technical Report Series. 778. Geneva: World Health and Organization, 1989. 74p.
- WHO. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. V.3. Wastewater and
- WOOD, R. B.; McATAMNEY, C. F. “Constructed wetlands for wastewater treatment: the use of laterite in the bed medium in phosphorus and heavy metal removal”. **Hidrobiologia**, v. 340, p. 323-331, 1996.
- ZOBIOLE, L. H. S.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Marcha de absorção de macronutrientes na cultura do girassol. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 34, p. 425-433, 2010.