

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
ENGENHARIA AMBIENTAL**

MARINA HOMAIED LIMA

**REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA DE EFLUENTE SECUNDÁRIO EM
WETLAND CONSTRUÍDO UTILIZANDO MACRÓFITAS DO CERRADO E
RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Uberlândia – MG
2022

MARINA HOMAIED LIMA

**REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA DE EFLUENTE SECUNDÁRIO EM
WETLAND CONSTRUÍDO UTILIZANDO MACRÓFITAS DO CERRADO E
RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Sueli Moura Bertolino

MARINA HOMAIED LIMA

**REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA DE EFLUENTE SECUNDÁRIO EM
WETLAND CONSTRUÍDO UTILIZANDO MACRÓFITAS DO CERRADO E
RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Ambiental da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Ambiental

Uberlândia, 01 de dezembro de 2022

Dra. Sueli Moura Bertolino
Universidade Federal de Uberlândia

Dra. Bruna Faria de Oliveira
Universidade Federal de Uberlândia

Dr. Lucas Carvalho Basilio de Azevedo
Universidade Federal de Uberlândia

“Quem caminha sozinho pode até chegar mais rápido, mas aquele que vai acompanhado, com certeza vai mais longe.”
(Clarisse Lispector)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida durante a pesquisa sendo esta essencial para o desenvolvimento do projeto. À FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) por conceder minha primeira bolsa de Iniciação Científica.

À Universidade Federal de Uberlândia, ao Instituto de Ciências Agrárias, à toda equipe do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária pela oportunidade de realizar esta pesquisa bem como pelo aprendizado que adquiri ao longo do curso.

Ao laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA), laboratório de Hidrologia (HIDRO) e laboratório de tecnologia ambiental (LATEC) cujas instalações foram cedidas para a realização da pesquisa. Aos técnicos Glaicom Florisbelo e Marcia Regina Batistela, e aos professores, Hudson de Paula e Roberto Atarassi, pela orientação e ensinamentos. Agradeço ao professor Lísias Coelho por conceder um espaço na casa de vegetação que foi essencial para a instalação do projeto.

À minha orientadora Sueli Moura Bertolino pelos ensinamentos, auxílio e orientação que colaboraram na elaboração desse trabalho bem como no meu desenvolvimento pessoal e profissional. À professora Adriana Rodrigues da Silva da FAMAT (Faculdade de Matemática), pelas lições, conselhos, inspiração, pelo carinho e amizade e por me instigar na busca por arte e conhecimento.

Aos meus pais, Euclides e Soraia, pelo suporte e orientação, à minha irmã Luiza pelo amparo, amizade e encorajamento, ao meu irmão Pablo pelos conselhos e à minha irmã Julia pelo apoio. Agradeço aos meus primos Bruno e Yasmin pelo ânimo e companheirismo. À Raquel pelo acolhimento, assistência e incentivo.

À Geissielen, pela oportunidade de juntas desenvolvermos a pesquisa, pela parceria, amizade, ensinamentos, incentivo e alegrias. À Nathália, pelo auxílio, encorajamento e pelas risadas, à Thaís pelo apoio e companheirismo. Agradeço à Geissi, Nath e Thaisinha por me acompanharem na jornada acadêmica, por toda motivação, ânimo e carinho.

Agradeço aos professores pelos ensinamentos e a todos que em algum momento da minha caminhada me incentivaram, apoiaram e acreditaram em mim.

RESUMO

No presente trabalho, foi avaliada a eficiência de remoção de matéria orgânica de duas unidades de tratamento de efluentes secundários sintéticos em escala piloto, a unidade U-Planta, um *wetland* construído de fluxo vertical (WC-FV) com macrófita do cerrado (*Eleocharis acutangula*), e U-Filtro um filtro de fluxo vertical (FVV) sem planta. A estrutura do leito filtrante das duas unidades foi constituída de areia média/grossa e resíduos de construção civil cerâmico (RCCC), dispostos em granulometria de brita 0 e 1. A alimentação dos sistemas foi por bateladas, com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 7 dias, e variando matéria orgânica aplicada, na fase 1 com 70mg/L e na fase 2 com 300mg/L, medida em termos de Demanda Química de Oxigênio (DQO). Além da medida da DQO, os parâmetros de pH, condutividade, sólidos dissolvidos totais (SDT) e turbidez foram monitorados na entrada e saída das unidades. Os resultados de remoção da turbidez alcançaram valores superiores à 90% e, em relação ao pH, constata-se que foi estabilizado pelos sistemas entre os valores de 5 a 9 que estão em conformidade com a CONAMA 430/2011. As eficiências de remoção da matéria orgânica nas unidades não obtiveram valores significantes na fase 1, foram dados negativos que representam que a DQO de saída foi maior do que a de entrada, provavelmente pela comunidade microbiana incipiente no processamento bioquímico da MO. Na fase 2, os resultados de remoção para a DQO total na U-Planta foram de 53% e na U-Filtro foi 62% e para a DQO filtrada, na U-Planta foi de 70% e na U-Filtro foi 68%. Ainda, não houve diferença estatística entre as eficiências de remoção de MO da U-Planta e da U-Filtro, observando-se que a presença da planta não afeta a remoção.

Palavras-chave: *Eleocharis acutangula*, Demanda Química de Oxigênio (DQO), remoção de matéria orgânica, *Wetlands* Construídos de Fluxo vertical (WC-FV). Resíduos de construção civil cerâmicos.

ABSTRACT

In the present work, the organic matter removal efficiency of two pilot-scale synthetic secondary effluent treatment units was evaluated, the U-Plant unit, a constructed vertical flow wetland (WC-FV) with Cerrado macrophyte (*Eleocharis acutangula*), and U-Filter a vertical flow filter (FVV) without plant. The filter bed structure of the two units was composed of medium/coarse sand and ceramic construction waste (CCCR), arranged in gravel 0 and 1 granulometry. The feeding of the systems was by batches, with hydraulic detention time (HDT) of 7 days, and varying organic matter applied, in phase 1 with 70mg/L and in phase 2 with 300mg/L, measured in terms of Chemical Oxygen Demand (COD). In addition to the measurement of COD, the parameters pH, conductivity, total dissolved solids (TDS), and turbidity were monitored at the inlet and outlet of the units. The results of turbidity removal reached values higher than 90% and, in relation to pH, it was stabilized by the systems between the values of 5 to 9, which are in accordance with CONAMA 430/2011. The efficiencies of organic matter removal in the units did not obtain significant values in phase 1, were negative data that represent that the output COD was higher than the input, by the incipient microbial community in the biochemical processing of MO. In phase 2, the removal results for total COD in U-Plant were 53% and in U-Filter was 62% and for filtered COD, in U-Plant was 70% and in U-Filter was 68%. Also, there was no statistical difference between the removal efficiencies of MO from U-Plant and U-Filter, noting that the presence of the plant does not affect the removal.

Keywords: *Eleocharis acutangula*, Chemical Oxygen Demand (COD), organic matter removal, vertical flow constructed, *Wetlands* (WC-FV). Ceramic construction waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquema dos componentes de WC-FV

Figura 2: Registro fotográfico das Unidades experimentais, U-Planta e U-Filtro, mostrando a saída do efluente.

Figura 3: Ralo do sistema.

Figura 4: Estrutura com tela mosquiteiro.

Figura 5: Unidades U-Planta e U-Filtro e suas camadas constituintes.

Figura 6: Granulometria (a) nº1 e (b) nº0.

Figura 7: Quebra manual dos RC em granulometrias 0 e 1, alunas: Geissielen e Marina.

Figura 8: Manta geotextil colocada sobre o ralo

Figura 9: Coleta das macrófitas no Parque do Sabiá, alunas: Marina e Geissielen.

Figura 10: Macrófita *Eleocharis acutangula* plantada no sistema.

Figura 12: Coleta dos efluentes na casa de vegetação.

Figura 13: Termoreator (HACH DRB200) à esquerda e à direita o espectrofotômetro (HACH DR2800).

Figura 14: Multiparâmetro

Figura 15: Séries temporais dos valores de pH monitorados no afluente (esgoto sintético), U-Planta (U1) e U-Filtro (U2), durante 21 semanas.

Figura 16: Séries temporais dos valores de condutividade monitorados na U-Planta e U-Filtro e afluente, durante 21 semanas.

Figura 17: Séries temporais dos valores de sólidos dissolvidos totais monitorados na U-Planta e U-Filtro, durante 21 semanas.

Figura 18: Séries temporais dos valores de turbidez monitorados na U-Planta e U-Filtro e afluente, durante 21 semanas.

Figura 19: Gráfico da eficiência de remoção da turbidez na U-Planta (U1) e U-Filtro (U2).

Figura 20: BoxPlot da eficiência de remoção de turbidez na U-Planta (U1) e U-Filtro (U2).

Figura 21: Séries de concentração da DQO total, Aflu- Afluente, Eflu 1 (efluente da U-Planta) e Eflu 2 (efluente da U-Filtro) durante as 22 semanas monitoradas.

Figura 22: Séries de concentração da DQO filtrada, Aflu- Afluente, Eflu 1 (efluente da U-Planta) e Eflu 2 (efluente da U-Filtro) durante as 22 semanas monitoradas.

Figura 23: Séries de eficiência da DQO Total, Efic (%) U1 (da U-Planta) e Efic (%) 2 (da U-Filtro) durante as 22 semanas monitoradas.

Figura 24: BoxPlot da eficiência da DQO Total, U1=U-Planta e U2=U-Filtro.

Figura 25: Séries de eficiência da DQO filtrada, Efic (%) U1 (da U-Planta) e Efic (%) 2 (da U-Filtro) durante as 22 semanas monitoradas.

Figura 26: BoxPlot da eficiência da DQO Filtrada, U1=U-Planta e U2=U-Filtro.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes do esgoto sintético

Tabela 2 - Parâmetros a serem monitorados.

Tabela 3 - Estatística descritiva do pH, durante 21 semanas de monitoramento.

Tabela 4 - Estatística descritiva da Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), durante 21 semanas de monitoramento.

Tabela 5 – Estatística descritiva da Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) por fases. Aflu-Afluente, Eflu-Efluente.

Tabela 6 – Estatística descritiva dos Sólidos dissolvidos totais (SDT).

Tabela 7– Estatística descritiva dos Sólidos dissolvidos totais (SDT) por fases. Aflu-Afluente, Eflu-Efluente.

Tabela 8 – Estatística descritiva da Turbidez (UNT).

Tabela 9 – Estatística descritiva da Turbidez (UNT) por fases. Aflu-Afluente, Eflu-Efluente.

Tabela 10 – Estatística descritiva da eficiência de remoção da turbidez (%).

Tabela 11 – Estatística descritiva da eficiência de remoção da turbidez (%) por fases.

Tabela 12 – Estatística descritiva da DQO total, durante as 22 semanas monitoradas.

Tabela 13 – Estatística descritiva da DQO total por fases, durante as 22 semanas monitoradas. Aflu-Afluente, Eflu-Efluente.

Tabela 14 – Estatística descritiva da DQO filtrada, durante as 22 semanas monitoradas.

Tabela 15 – Estatística descritiva DQO filtrada por fases, durante as 22 semanas monitoradas. Afl-Afluente, Efl-Efluente.

Tabela 16 – Estatística descritiva das eficiências de remoção de DQO total (%).

Tabela 17 – Estatística descritiva da eficiência de remoção de DQO filtrada (%).

Tabela 18 – Mann-Whitney Test - DQO Total.

Tabela 19 – Mann-Whitney Test - DQO Filtrada.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
ETE – Estação de Tratamento de Efluentes
FVV – Filtro de Fluxo Vertical
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LAQUA – Laboratório de Qualidade Ambiental
MO – Matéria Orgânica
ONU – Organização das Nações Unidas
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
PREMEND – Programa de Monitoramento de Efluentes não Domésticos
Q – Vazão
RCC – Resíduos de Construção Civil
RCCC – Resíduos de Construção Civil Cerâmicos
SDT – Sólidos Dissolvidos Totais
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TAH – Tempo de Aplicação Hidráulica
TDH – Tempo de Detenção Hidráulica
U-Filtro – Unidade 2 de filtro com RCCC sem Macrófita do Cerrado
UFU – Universidade Federal de Uberlândia
U-Planta – Unidade 1 de WC-FV com RCCC e Macrófita do Cerrado
WC – *Wetlands* Construídos
WC-FH – *Wetlands* Construídos de Fluxo Horizontal
WC-FV – *Wetlands* Construídos de Fluxo Vertical

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	23
2. OBJETIVO.....	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivos Específicos	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 <i>Wetlands</i> Construídos (WC).....	15
3.2 Remoção de matéria orgânica em <i>wetlands</i> construído.....	17
3.3 Espécies vegetais em <i>wetlands</i> construídos.....	18
3.4 Meio Filtrante	20
3.5 Meio filtrante alternativo	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 Montagem das Unidades Experimentais.....	22
4.2 Meio Filtrante	24
4.3 Macrófita <i>Eleocharis acutangula</i>	26
4.4 Procedimento de alimentação das unidades.....	28
4.4.1 Alimentação com Esgoto Sintético.....	28
4.4.2 Coleta de Efluentes	29
4.4.3 Análises Físico-Químicas	29
4.4.4 Análise Estatística.....	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 Parâmetros de estabilidade dinâmica dos leitos.....	32
5.2 pH.....	32
5.3 Condutividade.....	34
5.4 Sólidos dissolvidos totais (SDT).....	36
5.5 Turbidez.....	38
5.6 Resultados da remoção de matéria orgânica.....	43
5.7 DQO total.....	43
5.8 DQO filtrada	46
5.9 Eficiência de Remoção da MO – DQO Total.....	48
5.10 Eficiência de Remoção da Matéria Orgânica – DQO Filtrada	50
5.11 Testes estatísticos.....	53
5.11.1 DQO Total	53
5.11.1 DQO Filtrada	54
6. CONCLUSÃO	55
7. REFERÊNCIAS.....	57
8. APÊNDICES	60
Apêndice 1: Dados dos parâmetros monitorados no sistema referentes ao período de julho a dezembro de 2020.	60
Apêndice 2: Estatística descritiva dos parâmetros monitorados no sistema referente ao período de julho a dezembro de 2020.	61
Apêndice 3: Dados de concentração da DQO total e filtrada monitorados no sistema referentes ao período de julho a novembro de 2020.....	62
Apêndice 4: Estatística descritiva da DQO total e filtrada referente ao período de julho a novembro de 2020.....	63

1. INTRODUÇÃO

O início do século XXI é marcado pelo crescimento disparado da população mundial, sendo a previsão da ONU (Organização das Nações Unidas) que para 2050 a população alcance 9,8 bilhões de pessoas. Ainda, segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em 2020, o Brasil possui cerca de 212 milhões de habitantes e em 2050, segundo a ONU chegará a 238 milhões. Com isso, prevê-se que uso de recursos naturais se tornará mais intenso, e sendo a água um destes recursos essenciais à vida, há a preocupação de como preservá-la e tratá-la a fim de que todos possam ter acesso à uma água de qualidade. No entanto, países em desenvolvimento como o Brasil não possuem sistemas de saneamento básico em todo seu território, tendo apenas 46,3 % do esgoto tratado (SNIS 2018), sendo o restante, destinado de modo impróprio aos corpos hídricos causando a piora da qualidade destes meios.

Para garantir que o efluente tratado adquira condições que não prejudiquem o ambiente no qual é destinado é necessário que por meio de algum tratamento alcance características ideais. No entanto, a tecnologia empregada apesar de avançada, muitas vezes apresenta altos custos de operação e manutenção. Assim, é neste contexto que o tratamento com *wetland* construído (WC), é considerado uma alternativa tecnológica viável a ser implementada, uma vez que geralmente produzem efluentes com características adequadas para seu lançamento com baixos custos.

Os efluentes de qualquer sistema de tratamento de esgotos no Brasil, devem se adequar aos padrões estabelecidos pelas legislações nacionais, estaduais e municipais. Portanto, as Resoluções do CONAMA N°357/2005 e 430/2011 estabelecem diretrizes e padrões para a proteção das águas superficiais no Brasil (BRASIL, 2005 e 2011). No município de Uberlândia, os efluentes classificados como não domésticos para serem lançados na rede coletora municipal, devem se ajustar aos padrões estabelecidos pelo Programa de Monitoramento de Efluentes não Domésticos (PREMEND) (UBERLANDIA, 2010). Ainda, considerando a possibilidade do reuso do efluente, é necessário que sua qualidade não proporcione riscos à saúde dos usuários, sendo que para este fim considera-se os padrões estabelecido na norma da ABNT n°13.969 de 1997 (ABNT, 1997).

Além disso, como explica Silva (2015) estas tecnologias são autossustentáveis, sendo seus benefícios econômicos e financeiros advindos tanto da redução de custos ao empregar meio suporte do próprio local, não gastando com transporte desse material, pelo uso reduzido

de energia elétrica, compostos químicos, geração de lodo, quanto pela comercialização da biomassa vegetal e/ou dos grãos produzidos conforme macrófita utilizada. Desse modo, aplicam-se os recursos arrecadados na própria administração e manutenção do sistema, e ainda, cita-se como benefícios ambientais, a redução da retirada de água dos rios para irrigação ou outros usos, bem como a não contaminação dos corpos d'água superficiais devido ao lançamento de efluentes com concentrações elevadas de matéria orgânica e poluentes, também como um benefício estético, há a possibilidade de as WC comporem o paisagismo local.

Outro potencial das WC é produzir um efluente para reuso, que pode ser aplicado em descargas sanitárias, limpeza de pátios, irrigação de jardins entre outras várias possibilidades, tudo a depender das suas características. O ponto negativo dos *wetlands* construídos é que necessitam de uma área superficial maior, em relação a outras formas de tratamento. Também, os WC não possuem parâmetros formatados em alguma norma ou documento específico. O arranjo varia, de acordo com a região e as características do efluente a ser tratado e do tipo de remoção que se deseja, sendo preciso mais pesquisas para se definir recomendações a fim de melhorar sua eficiência.

Para aperfeiçoar o desempenho destes sistemas é necessário levar em consideração variáveis como, presença ou ausência de etapas primárias e secundárias, alimentação contínua ou intermitente, material filtrante, carregamento hidráulico e orgânico, tipos de macrófita, condições climáticas locais, bem como as condições operacionais (MACHADO *et. al.*, 2017).

Este trabalho avaliou o desempenho de um sistema de *wetland* em escala piloto utilizando esgoto sintético produzido no laboratório de qualidade ambiental (LAQUA) da Universidade Federal de Uberlândia- MG (UFU), sendo definido duas unidades de tratamento, uma com a macrófita do cerrado *Eleocharis acutangula* (U-Planta) e outra sem que é um filtro (U-Filtro). Em relação à remoção de DQO, o desempenho das unidades foi feito considerando-se as hipóteses H_0 , que os dados não apresentavam diferença significativa e H_1 , que havia diferença significativa.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de remoção de matéria orgânica, proveniente de um efluente sintético, de um leito do tipo – *wetland* construído de fluxo vertical (WC-FV), plantado com macrófita do cerrado, *Eleocharis acutangula*, tendo como material filtrante alternativo resíduo de construção civil cerâmico (RCC) e comparar com uma unidade filtrante preenchida com o mesmo material RCCC.

2.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- Construir as unidades U-Planta e U-Filtro a partir de materiais alternativos;
- Avaliar a estabilização hidrodinâmica das unidades;
- Comparar as eficiências de remoção de matéria orgânica das unidades.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 *Wetlands* Construídos (WC)

Por definição as *wetlands*, quer dizer “terras úmidas” do inglês, compreendem ambientes naturais ou não, os quais permanecem molhados na maior parte do tempo e, desse modo, a degradação da matéria orgânica bem como a ciclagem de nutrientes ocorrem mediante à interação do solo, água, plantas e microrganismos, sendo alguns exemplos de *wetlands* naturais com estas características, os pântanos, brejos, mangues, várzeas e veredas (SEZERINO, 2002; KADLEC; WALLACE, 2009). Ainda, os *wetlands* artificiais ou construídos (WC), também chamados de jardins filtrantes, referem-se à simulação do ecossistema destes ambientes em condições controladas e constituem alternativas de tratamento de efluentes, isto porque, possuem baixos custos de implantação e operação além de serem menos suscetíveis à variação de carga na entrada (LEAL, 2019).

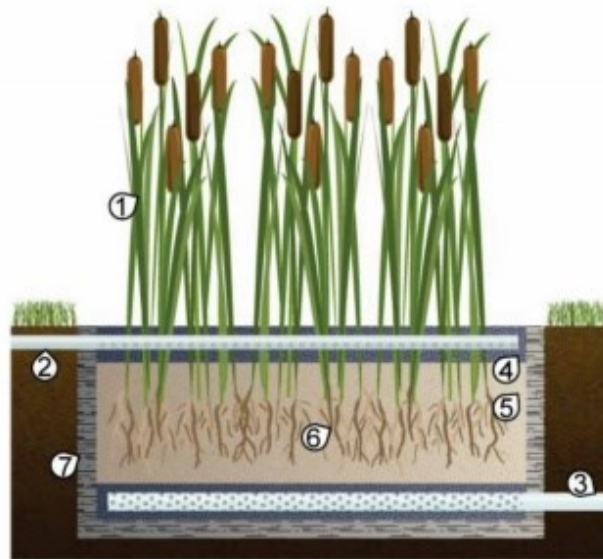
Os WC têm sido amplamente estudados desde os anos 90, com destaque para a remoção de nitrogênio amoniacal no tratamento de efluentes secundários em ETEs de pequenos centros urbanos. Esse sistema, busca reproduzir as interações físicas, químicas e biológicas que ocorrem em ambientes alagados naturais, como nas veredas.

Em geral, classifica-se os WC conforme seu regime de escoamento e ao tipo de macrófita empregada. Para o regime de escoamento, considera-se o subsuperficial, quando o nível de água se encontra abaixo do leito filtrante, e o superficial, quando o nível de água é livre

na superfície e ainda, este segundo tipo é dividido em fluxo vertical (FV) e fluxo horizontal (FH). No que diz respeito à macrófita utilizada, suas tipologias variam em plantas submersas, emergentes e flutuantes. Também, denomina-se wetlands construídos híbridos, os sistemas que combinam um tipo de WC com outro sistema de tratamento de efluentes (LEAL, 2019).

A Figura 1, apresenta um esquema de *wetland* construído de fluxo vertical (WC-FV), cujos componentes estão indicados por: 1) Macrófitas, 2) Tubulação de entrada perfurada, 3) Tubulação de coleta perfurada, 4) camada de brita na superfície e no fundo, 5) Areia no leito filtrante, 6) Raízes e Rizomas e por fim, 7) Impermeabilização da lateral e do fundo.

Figura 1: Esquema dos componentes de WC-FV



Fonte: Rodrigues, 2016 (adaptado de Olijnyk, 2008).

O tratamento do efluente na *Wetland* começa com a aplicação do efluente no leito, seja por batelada, por aplicação contínua ou intermitente (Figura 1:2). Então, pela ação da gravidade e qualidade porosa do filtro, o líquido penetra vagarosamente no material filtrante que pode conter areia e brita ou outros materiais, expresso por (4) e (5) até atingir o fundo do leito onde há a tubulação de saída (3). Em geral, o material filtrante é justaposto de modo que a maior granulometria se encontre na zona de entrada e o tamanho das partículas decresce conforme as camadas se aprofundam (SEZERINO, 2002) ainda, a zona de saída pode ser saturada com água, ou seja, alagada (TREIN et al., 2015).

Desse modo, na medida que o efluente penetra no sistema, suas partículas são depositadas nos poros do material filtrante e assim ficam retidas, diminuindo a quantidade de

sólidos suspensos e até de patógenos, ou ainda, interagem com a rizosfera (6) da macrófita (1) e em meio aos processos biológicos que ocorrem, sua composição é alterada de modo a reduzir a matéria orgânica e os nutrientes uma vez que estes são aproveitados pelas plantas, fungos e bactérias presentes. No WC a água residual deve ser distribuída uniformemente pela superfície do leito, possibilitando entre cada carga, a entrada do oxigênio nos poros do meio filtrante, o que irá promover os processos microbianos aeróbios, como a nitrificação.

Ainda, nas raízes e rizomas das plantas que os biofilmes, definidos como o conjunto de matéria particulada, bactérias, protozoários, fungos e animais, desempenham uma relação simbiótica com o vegetal, e auxiliam para espalharem o fluxo da água residuária evitando as “zonas mortas”. As plantas também liberam oxigênio, compostos de carbono orgânico além de nutrientes para os microrganismos entre suas raízes, desse modo permitem a ocorrência de processos anóxicos e aeróbios os quais resultam na remoção de nutrientes como a amônia e o nitrato presente nos efluentes (SEZERINO, 2002).

Neste sentido, o Wetland Construídos (WC) torna-se uma alternativa promissora, pois possibilita a remoção de matéria orgânica remanescente, além dos nutrientes, com boa eficiência a baixos custos.

3.2 Remoção de matéria orgânica em *wetlands* construído

Nos esgotos domésticos, a matéria orgânica (MO) é encontrada em solução, expressa pelos sólidos orgânicos dissolvidos, os quais são degradados rapidamente, e em suspensão, constituído por sólidos suspensos no meio líquido cuja biodegradação é lenta (MOREIRA & SIQUEIRA, 2002). A remoção da matéria orgânica nas WC, ocorre pela ação de microrganismos, que podem ser aeróbios, facultativos e anaeróbios, os quais retiram dela a energia que precisam para realizar seus processos essenciais de respiração e síntese celular e, desse modo, transformam os compostos orgânicos, mineralizam nutrientes que são importantes para as plantas, ou geram as substâncias húmicas do solo que também favorecem as condições de desenvolvimento da macrófita (SILVA, 2015).

Em Silva (2015), a WC estudada utilizou solo natural (Latossolo Vermelho-Amarelo) misturado com areia média como meio filtrante, e como planta, o arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) além da unidade sem planta (controles). O intuito foi avaliar a remoção de DBO dos esgotos domésticos pelos processos de imobilização do carbono da biomassa microbiana e da respiração basal, referente à atividade microbiana. Como resultado, verificou-se que os solos

foram capazes de reduzir as concentrações de DBO dos afluentes significativamente, com eficiência de remoção variando entre 97 e 99%. Ainda, observou-se que a atividade microbiana dos decompositores aumentou proporcionalmente à taxa de aplicação de esgoto, quando estas eram muito elevadas, indicaram tendência à inibição dessa atividade.

Marcelino (2019), avaliou o desempenho de três WC-FV operados em batelada, empregando-se a macrófita *Pistia* ou alface d'água, preenchidos com diferentes substratos: argila expandida (WC-A), argila expandida e porcelanato (WC-AP) e tijolo (WC-T) no tratamento de efluente sintético simulando esgoto sanitário pré-tratado (baixa carga orgânica < 250 mg L⁻¹). Ao comparar certos parâmetros do afluente e efluente, ao longo de 188 dias de operação, verificou-se que o sistema WC-AP foi mais eficiente na remoção de matéria orgânica (DQO) com 75%.

Ainda, Forgiarini e Rizzi (2016) compararam a eficiência na remoção da matéria orgânica biodegradável do esgoto doméstico em um sistema descentralizado de tratamento utilizando diferentes macrófitas em clima subtropical, dentre elas: *Typha sp.*, *Colocasia esculenta*, *Pennisetum purpureum*. Os autores operaram 4 (quatro) tanques de WC-FV, onde plantaram três indivíduos de cada espécie de macrófitas em cada um, sendo uma destas unidades sem macrófita (testemunha). Os resultados indicaram eficiência de remoção de DBO média de 53% para a *Typha sp.*, que apresentou maior resistência ao frio, 52% para a *Pennisetum purpureum*, 32% para a *Colocasia esculenta*; e 28% para a Testemunha. As diferenças foram significativas no teste de ANOVA e, o de Tukey indicou que as macrófitas *Typha sp.* e *Pennisetum purpureum* se distinguíram quanto à diminuição da DBO e ainda, a eficiência do tratamento foi influenciada por temperaturas mais frias.

3.3 Espécies vegetais em *wetlands* construídos

As macrófitas compreendem as plantas aquáticas, pertencentes do reino *Plantae*, e constituem seres autótrofos e fotossintetizantes, o que significa que são capazes de transformar energia solar em química e armazená-la na forma de matéria orgânica, a qual serve de fonte de energia para seres heterótrofos como fungos e bactérias (BRIX, 1997). Rousso (2017) afirma que para as *wetlands* as macrófitas são a base da cadeia trófica, desempenham papel relevante para a manutenção do equilíbrio ecológico dos naturais e das construídas, sendo para a segunda, importante para seu funcionamento e operação.

Dentre as funções desempenhadas pelas macrófitas em WC, pode-se citar que auxiliam na remoção de nutrientes dado seu requerimento nutricional, além de exudarem compostos de carbono orgânico e nutrientes para os microrganismos promovendo processos anóxicos e aeróbios (SEZERINO, 2002). Também, servem como meio suporte para o desenvolvimento do biofilme o qual encontra-se aderido às raízes e rizomas da planta e comporta os microrganismos, além disso, promovem a aeração da rizosfera, porção de solo que interage com a raiz, e com isso aumentam a evapotranspiração, ainda, colaboram com o embelezamento paisagístico (LEAL, 2019). Ademais, são importantes na infiltração pois além de estabilizar o meio filtrante, auxiliam na distribuição e redução da velocidade do fluxo, diminuindo riscos de erosão e o aparecimento de zonas mortas (BRIX, 1997).

É importante salientar que para escolher a macrófita a ser utilizada no sistema de WC de preferência considera-se as que pertencem à região em que será implementado o sistema, isto é, devido à maior disponibilidade, baixo custo e adaptabilidade que faz melhorar a eficiência do sistema construído. Também, é preciso avaliar seu caráter ecológico, se suporta altas concentrações de carga orgânica ou se sobrevive em meio à determinados poluentes (ROUSSO, 2017), bem como em ambientes saturados ou não, sendo que as macrófitas para conseguirem se estabelecer nos sistemas WC, necessitam de um período de adaptação (LEAL, 2019). A região do Cerrado possui as veredas como exemplo importante de ambiente natural de *wetland*, desse modo é de se esperar que as plantas desses locais apresentem potencial uso em WC, no entanto, há poucos estudos da aplicação dessas espécies.

A *Eleocharis acutangula* é uma alternativa de macrófita presente em veredas do Cerrado para uso em WC, conforme apresentado por Faxina et. al (2017), cujo estudo avaliou um efluente bruto de uma central de processamento de alimentos vegetais, tratado em WC-FV em escala experimental em Uberlândia-MG, com TDH (tempo de detenção hidráulica) de 3 dias, aplicação em batelada e utilizando-se de cascalho como meio filtrante. Os resultados obtidos foram satisfatórios na remoção de fósforo (87,9%), de nitrogênio (80,8%) e de (DQO) (92,69%).

Leal (2019), concluiu que a *Eleocharis acutangula*, também é muito eficiente no tratamento de WC quando comparada com a macrófita convencional *Typha*. O estudo realizado avaliou um efluente secundário de um condomínio empresarial em Uberlândia- MG, cujo sistema WC continha 2 unidades de tratamento, ambas com TDH de 3 a 4 dias, denominadas U-Planta, com *Eleocharis acutangula*, e U-Filtro com *Typha*, assim, os resultados obtidos eram

estatisticamente similares, sendo na última fase do experimento, que U-Planta e U-Filtro alcançaram valores de remoção de turbidez superiores a 90%.

3.4 Meio Filtrante

Nos sistemas de wetlands construídos, os materiais filtrantes, tradicionalmente utilizados são areia grossa, cascalho, pedregulho e brita (SILVA, 2015). Este componente, atua como suporte para a macrófita e contribui na remoção dos nutrientes, da matéria orgânica e de patógenos do efluente, uma vez que ele pode retê-los em seus poros (SILVA, 2007; LEAL, 2019).

Sezerino (2002) recomenda utilizar mais de um tipo de material filtrante, desde que inertes, pois o efluente ao longo do escoamento tem suas características alteradas, e que a escolha destes materiais considere o tipo de efluente tratado, características físicas como porosidade, condutividade hidráulicas para garantir a adsorção dos elementos presentes no efluente além de proporcionar uma filtração dos sólidos suspensos presentes sem a ocorrência da colmatação no sistema, como também explica Leal (2019).

Entende-se por colmatação, o entupimento do material filtrante que resulta na diminuição da condutividade hidráulica intrínseca gerando fluxo superficial e o aparecimento de lâmina d'água e poças. Este entupimento ocorre ao longo do processo de percolação, em que o líquido passa no material poroso, deixando passar a parte solúvel, mas a parte sólida de maior granulometria fica retida nos espaços vazios do meio filtrante. Então, na medida em que se dispõe o efluente no sistema, sua parte sólida retida começa a se acumular nos poros concomitante ao crescimento do biofilme ao longo do tratamento e, desse modo ocorre o entupimento denominado colmatação (SEZERINO, 2002; MONTEIRO, 2009; LEAL, 2019).

Desse modo, Monteiro (2009) recomenda que o preenchimento do meio filtrante seja organizado de modo que a granulometria do material seja maior na entrada e menor na saída, isto porque é logo no início que se encontram as maiores concentrações do material orgânico favorável à decomposição, o qual favorece o crescimento do biofilme e contém mais sólidos suspensos. Assim, a alternância dos tamanhos granulométricos reduz a necessidade de manutenção e possibilita distribuição uniforme do afluente, uma melhor condutividade hidráulica, proporciona área superficial ideal para crescimento de biofilme, além de potencializar o efeito de filtração, o armazenamento de fósforo e a sorção de poluentes.

3.5 Meio filtrante alternativo

A busca por materiais alternativos, como os resíduos cerâmicos (RC) para constituir o meio filtrante dos *wetlands* construídos, possui respaldo na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), expressa pela Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010. Isto porque, em seu Art. 7º, estabelece como prioridade para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos respectivamente, a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e por fim, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Assim, o uso de RC nos sistemas de *wetlands* construídos, é uma forma de reutilização destes materiais.

A Resolução CONAMA Nº 307, de 5 de julho de 2002, define os resíduos de construção civil (RCC), como sendo àqueles oriundos de construções, demolições de obras de construção civil, reformas, reparos, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, azulejos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

Leal (2019) apresenta como benefícios do uso dos RC em sistemas WC, os menores custos quando comparados aos materiais convencionais como a brita, uma vez que se trata de um resíduo e, portanto, de um subproduto da indústria e da construção civil, são um tipo de RCC, ainda, se aproveitados no local de origem, configuram maiores vantagens econômicas minimizar os custos de transporte. No entanto, os conhecimentos dessa aplicação e seus benefícios no Brasil ainda é restrita pois há poucos estudos relacionados a este material em sistemas de *wetlands* construídos.

Venske (2017) verificou que os resíduos cerâmicos possuem uma competência satisfatória em leitos filtrantes de WC, o estudo realizado em escala piloto utilizando RC como material filtrante para tratamento de água cinza sintética objetivando reuso, empregando-se regime de batelada e fluxo horizontal (FH), identificou a remoção de 86% de DQO e 20% de fósforo. Contudo, foi observado um aumento de sólidos totais de 117%, devido a abrasão do material, que por ser reutilizado sofre perdas três vezes maiores do que o convencional. Também, foi constatado que quanto maior o TDH maior a perda de material filtrante.

Como exemplo de regime de fluxo vertical (WC-FV), o estudo de Leal (2019), realizado em escala piloto, com dois tratamentos U-Planta, com material filtrante parcial de resíduo cerâmico com areia, e U-Filtro com brita e areia, apresentou resultados similares em ambos os

tratamentos na remoção de fósforo (89%) e nitrogênio de 61% em U-Planta e 77% em U-Filtro. Assim, concluiu-se que tanto utilizando material convencional como alternativo, que os resultados foram bons, e que o alternativo é mais viável economicamente.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em duas unidades experimentais, sendo U-Planta um *Wetland* Construído de Fluxo Vertical (WC-FV) com o cultivo de macrófita típica do cerrado, *Eleocharis acutangula*, e U-Filtro, um Filtro de Fluxo Vertical (FVV). Foi utilizado um efluente sintético para simular as características de um efluente secundário, ou seja, que já passou pelo tratamento primário o qual objetiva remover os sólidos em suspensão sedimentáveis, materiais flutuantes e parte da MO em suspensão, tal tipo de efluente tem sido estudado para aplicação dos WC desde os anos 2000 (LEAL et al., 2019). As unidades foram construídas com meio filtrante de areia e resíduo de cerâmica (RCCC) que são os azulejos quebrados. O fluxo foi em batelada e o TDH de 7 dias e o volume de esgoto sintético inserido em cada unidade era de 5L, ou 23,8 L/m² pois a área superficial de cada unidade era de 0,21 m². O experimento foi dividido em duas fases, em que o efluente sintético alimentado na fase 1, de 02/07/2020 até 23/10/2020, continha 70 mg DQO/L (1666 mg DQO/ m²) e na fase 2, de 30/10/2020 até 18/12/2020, continha 300mg DQO/L (7140 mg DQO/ m²).

As unidades experimentais foram construídas no LATEC (Laboratório de Tecnologia Ambiental) e dispostas na casa de vegetação do campus Umuarama no bloco 4N. O esgoto sintético introduzido no sistema foi produzido no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA), localizado no bloco 2B, sala 135, na Universidade Federal de Uberlândia, no campus Umuarama.

4.1 Montagem das Unidades Experimentais

A estrutura das unidades de tratamento foi montada com materiais alternativos, o que fez com que a construção fosse mais sustentável e de baixo custo, utilizou-se recipientes de polietileno tereftalato (PET) (Figura 2), com um diâmetro de 26 cm, altura do leito de 25cm e com cerca de 17L de volume útil. Para coleta do efluente nas unidades, em cada recipiente conectou-se um cano de ½” de 15 cm de comprimento, e nele interligou-se a uma torneira simples com função de extravasar o sistema e assim coletar as amostras.

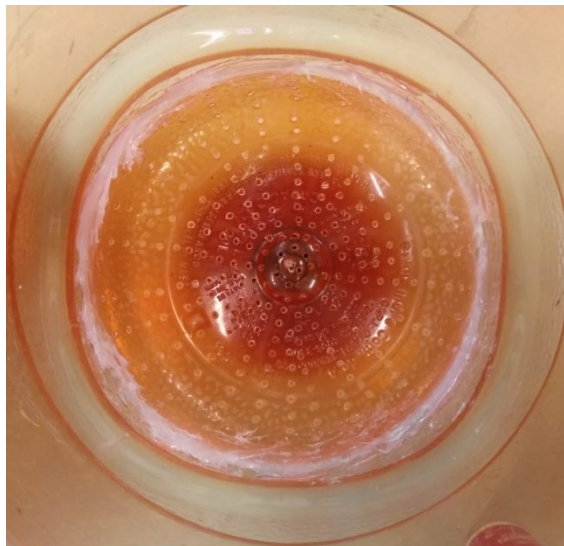
Figura 2: Registro fotográfico das Unidades experimentais, U-Planta e U-Filtro, mostrando a saída do efluente.



Fonte: Autoral.

Além disso, as unidades também possuíam um sistema de drenagem feito com o fundo removido do recipiente de PET que serve para formar uma zona anaeróbia e líquida para que ocorra as reações finais de degradação da matéria orgânica bem como para evitar a perda de material filtrante (Figura 3).

Figura 3: Ralo do sistema.



Fonte: Autoral.

Para impedir a ação de agentes externos, tais como a proliferação de larvas de mosquito, foi feita uma estrutura com tela e canos de PVC. Esta estrutura auxiliou a planta no controle destes agentes ao permitir uma proteção contra insetos que poderiam causar danos a ela e prejudicar seu desenvolvimento (Figura 4).

Figura 4: Estrutura com tela mosquiteiro.

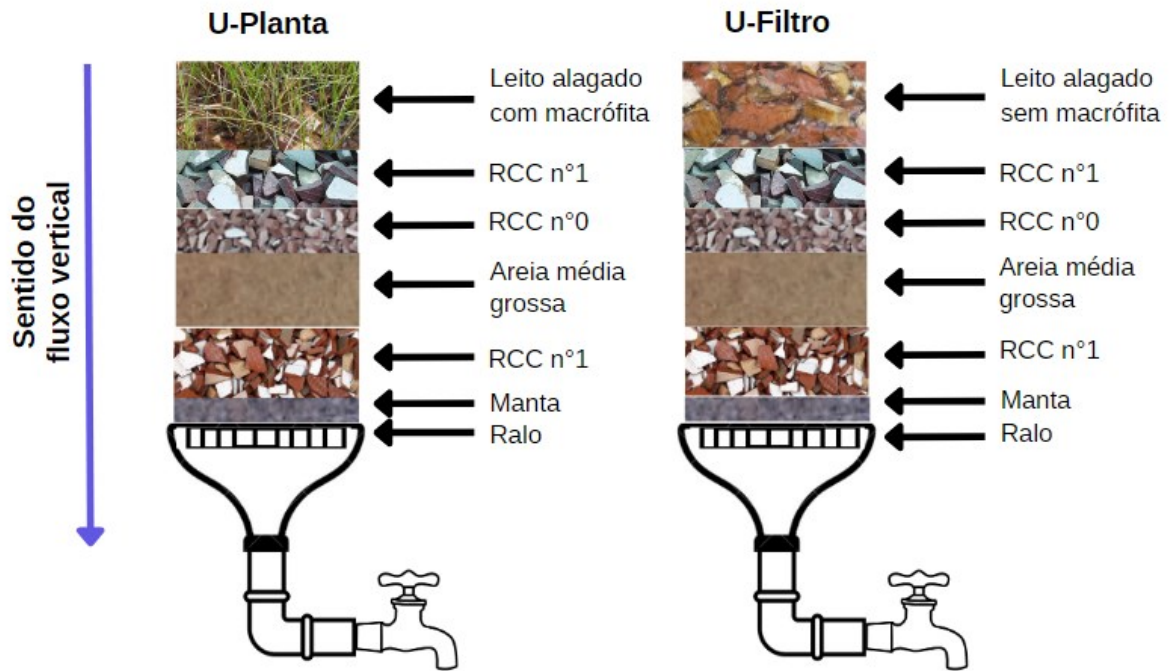


Fonte: Autoral.

4.2 Meio Filtrante

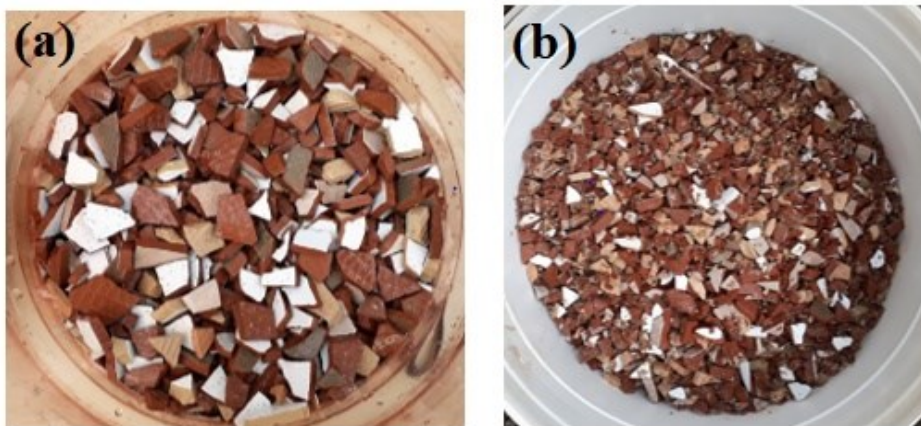
As unidades de tratamento têm suas camadas ilustradas na Figura 5, de cima para baixo, a primeira camada consiste no leito alagado, com macrófita na U-Planta e sem macrófita na U-filtro, as camadas seguintes são iguais para as duas unidades. Abaixo do leito alagado, encontra-se respectivamente a faixa de RCC nº1, de RCC nº0, de areia, de RCC nº1 e abaixo desses preenchimentos tem-se a manta geotêxtil que antecede o ralo. A camada de areia é preenchida com areia média/grossa, as de resíduos de construção civil cerâmicos, azulejos quebrados manualmente (Figura 6 e 7), possuem granulometria de brita do tipo 0 (12,5 mm) e 1 (19,5 mm) (ABNT 7211, 2007), denominando as faixas de RCC nº0 e nº1, e compreendem uma mistura entre azulejos base vermelha e branca. A manta geotêxtil (Figura 7) auxilia na redução da perda do material filtrante e encontra-se apoiada sobre o ralo feito a partir do fundo do PET utilizado na montagem do sistema (Figura 3).

Figura 5: Unidades U-Planta e U-Filtro e suas camadas constituintes.



Fonte: Autoral.

Figura 6: Granulometria (a) nº1 e (b) nº0.



Fonte: Autoral.

Figura 7: Quebra manual dos RC em granulometrias 0 e 1, alunas: Geissielen e Marina.



Fonte: Autoral.

Figura 8: Manta geotêxtil colocada sobre o ralo.

Fonte: Autoral.

4.3 Macrófita *Eleocharis acutangula*

A macrófita do cerrado típica de vereda, *Eleocharis acutangula*, foi coletada no Parque do Sabiá na lagoa de frente à entrada do zoológico, no dia 28/11/2019 no município de Uberlândia-MG. A coleta (Figura 9) foi realizada no período da tarde com o auxílio da Professora Sueli Bertolino que ajudou na identificação da macrófita. Além disso, para que essa ação fosse feita foi necessário a autorização da FUTEL (Fundação Uberlandense do Turismo, Esporte e Lazer). A Figura 10 apresenta a macrófita logo após o plantio na Unidade 1 do sistema.



Figura 9: Coleta das macrófitas no Parque do Sabiá, alunas: Marina e Geissielen.



Fonte: Autoral.

Figura 10: Macrófita *Eleocharis acutangula* plantada no sistema.



Fonte: Autoral.

4.4 Procedimento de alimentação das unidades

4.4.1 Alimentação com Esgoto Sintético

O esgoto sintético, adaptado de Araújo (2006), foi produzido de modo a simular as características do esgoto secundário, assim, contém carbono e nutrientes além de um remanescente de matéria orgânica, simulando o efluente de uma unidade de tratamento secundário. Na formulação do esgoto foi utilizado os compostos nas concentrações apresentadas na Tabela 01. Além disso, utilizou-se água da potável para a produzir este efluente e alimentar o sistema.

Também, considerou-se os valores de referência de Santos (2017) que para um esgoto secundário a quantidade de nitrogênio varia de 35 a 60 mg/L e de fósforo de 4 a 15mg/L, e assim incluiu-se esses nutrientes na forma de Ureia e Fosfato de Potássio (Tabela 01). Ademais, cita-se a adição de metais cobre e zinco, na concentração de 20mg/L cada (Tabela 01), na forma de nitrato de cobre e nitrato de zinco, para que em outros estudos a eficiência de remoção destes metais pelo sistema fosse avaliada.

Ainda, variou-se a quantidade de matéria orgânica inserida, modificando-se a concentração da sacarose (Tabela 1), sendo assim, o sistema foi alimentado na fase 1, de 02/07/2020 a 23/10/2020, com 70mg DQO/L e na fase 2, de 30/10/2020 a 18/12/2020, com 300 DQO mg/L.

Tabela 1 - Componentes do esgoto sintético.

Composto	Quantidade (g/L)
Sacarose	0,069 (fase 1); 2,14 (fase 2)
Amido	0,114
Extrato de carnes (comercial)	0,208
Óleo de soja	0,020/ 1 gota
NaCl	0,250
MgCl ₂ 6H ₂ O	0,008
CaCl ₂ 2H ₂ O	0,0045
NaHCO ₃	0,200
CO(NH ₂) ₂	0,320
KH ₂ PO ₄	0,18
Cu (NO ₃) ₂ 6H ₂ O	0,02
Zn (NO ₃) ₂ 3H ₂ O	0,02

Fonte: Araújo (2006) adaptado.

4.4.2 Coleta de Efluentes

Na casa de vegetação, a cada 7 dias (TDH) coletou-se todo o efluente das unidades U-Planta e U-Filtro (Figura 12), sendo o volume em cada unidade próximo à 5L. Após a coleta era feita a alimentação do sistema por batelada.

O efluente coletado de cada unidade era levado para o laboratório para monitorar os parâmetros de pH, condutividade, SDT, turbidez e DQO.

Figura 12: Coleta dos efluentes na casa de vegetação.



Fonte: Autoral.

4.4.3 Análises Físico-Químicas

O procedimento de amostragem do afluente (esgoto sintético) e do efluente, preservação e determinações analíticas dos parâmetros foi feito conforme as orientações e métodos do Standart Methods for Examination of Water and Wastewater.

As amostras foram preparadas em triplicatas para realizar a leitura dos parâmetros apresentados na Tabela 2, os quais serão comparados com os valores máximos permitidos para lançamento de efluentes em corpos de água classe 2 (CONAMA 430/2011), além dos valores do Programa de Recebimento de Efluente não Domésticos (PREMEND) do município de Uberlândia e pela norma técnica da ABNT NBR nº 13969/1997 para reuso de água.

Tabela 2 - Parâmetros a serem monitorados.

Parâmetro	Unidade	Metodologia
pH		SMWW 22nd edition, 2012 Method 4500 H+B
Turbidez	UNT	SMWW 22nd edition, 2012 Method 2130 B
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	SMWW 22nd edition, 2012 Method 2540 C
DQO	mg/L	SMWW 22nd edition, 2012 Method 5220 D

Fonte: Leal (2019) adaptado.

A demanda química de oxigênio (DQO) é utilizada para água e esgoto a fim de determinar de forma indireta a quantidade de matéria orgânica, uma vez que indica a quantidade de oxigênio que seria consumido através das reações químicas de oxidação de diversos compostos orgânicos presentes sem a intervenção de microrganismos, ou seja, seu resultado é a quantidade de oxigênio que seria consumido e este indica a quantidade de oxidante requerido.

Para determinação da DQO, primeiramente, homogeneizou-se as amostras, vertendo-se o frasco até obter uma aparência uniforme, para transferir de seu conteúdo 2,5mL para o tubo rosqueável com o auxílio de uma pipeta de 5mL. Depois, acrescentou-se com cautela ao tubo, 1,5mL da solução digestora e 3,5mL do reagente ácido sulfúrico/sulfato de prata. Então, tampou-se os tubos e os agitou até ficarem homogeneizados e em seguida com um papel absorvente limpou-se a parte externa cuidadosamente para não os arranhar.

Em seguida, colocou-se os tubos no termoreator (HACH DRB200) por 2h a 150°C, transcorrido o tempo, esperou-se os tubos resfriarem à temperatura ambiente, então, inverteu-se os tubos 3 vezes e esperou-se a sedimentação de quaisquer sólidos. Por fim, a leitura foi realizada no espectrofotômetro (HACH DR2800) a 600nm e os dados obtidos comparados com a curva de calibração previamente preparada. A Figura 13 apresenta os equipamentos utilizados:

Figura 13: Termoreator (HACH DRB200) à esquerda e à direita o espectrofotômetro (HACH DR2800).



Fonte: Autoral.

A determinação dos parâmetros pH, turbidez, condutividade, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) foi realizada por meio do multiparâmetro HANNA HI 9829 (Figura 14)

Figura 14: Multiparâmetro HANNA HI 9829.



Fonte: Autoral

4.4.4 Análise Estatística

A interpretação dos dados foi realizada a partir das séries temporais de eficiência de remoção da MO e pela análise estatística básica de cada parâmetro com o auxílio do programa do Von Sperling e do software Action Stat da plataforma operacional do @Excel, sendo toda a análise estatística com 95% de significância.

Foram comparados os desempenhos da U-Planta e da U-Filtro em relação a eficiência de remoção de MO, tanto pela DQO Total quanto pela DQO Filtrada. Para comparação do desempenho entre a unidade com planta WC-FV (U-Planta) e a unidade sem planta FFV (U-Filtro) em relação à DQO, considerou-se H_0 que os dados não apresentavam diferença significativa e H_1 que havia diferença significativa.

Para verificar a distribuição normal utilizou-se o teste Shapiro-Wilk. Para os testes de dados independentes, utilizou-se o teste não paramétrico equivalente ao Teste-T, que é o Teste de Whitney, pois os dados não cumpriam com os pressupostos do Teste-T, de distribuição normal e homogeneidade., desse modo, foram adotadas as seguintes hipóteses:

- H_0 : não há diferença estatística nos resultados de remoção de MO entre U-Planta e U-Filtro, mediana das eficiências de U-Planta = mediana das eficiências de U-Filtro, $p > 0,05$.
- H_1 : há diferença estatística nos resultados de remoção de MO entre U-Planta e U-Filtro, mediana das eficiências de U-Planta \neq mediana das eficiências de U-Filtro, $p \leq 0,05$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

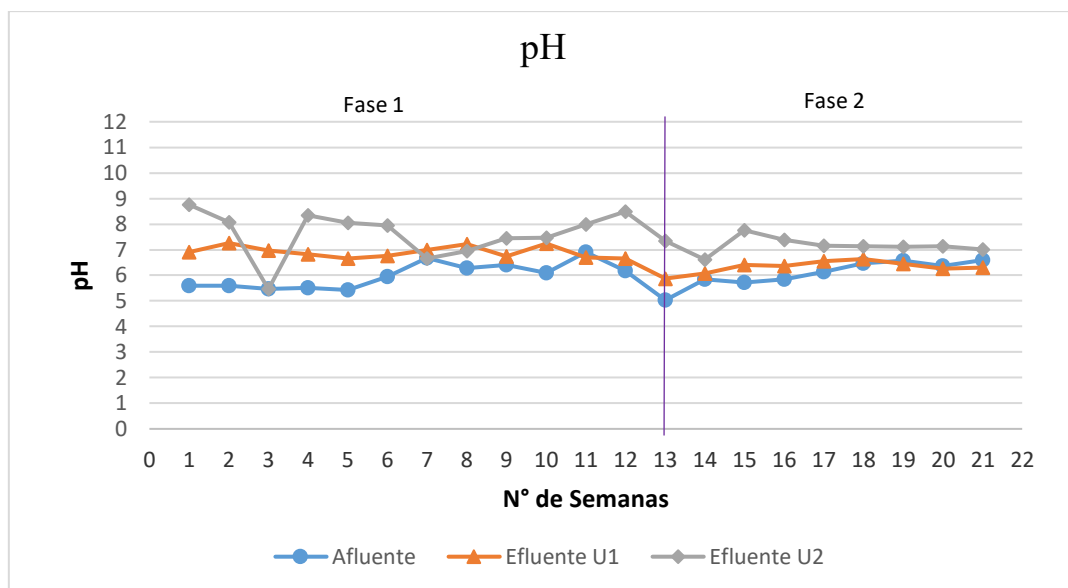
5.1 Parâmetros de estabilidade dinâmica dos leitos

Os parâmetros pH, condutividade, sólidos dissolvidos totais (SDT) e turbidez foram monitorados durante os meses de julho a dezembro de 2020, e seus dados brutos estão dispostos no Apêndice 1 e a estatística descritiva no Apêndice 2. Estes parâmetros foram monitorados com o intuito de observar a estabilidade dinâmica das unidades.

5.2 pH

A Figura 15 apresenta o gráfico da série temporal dos valores de pH do afluente e dos efluentes de cada unidade e a Tabela 3 apresenta a estatística descritiva deste parâmetro.

Figura 15: Séries temporais dos valores de pH monitorados no afluente (esgoto sintético), U-Planta (U1) e U-Filtro (U2), durante 21 semanas.



Fonte: Autoral.

Tabela 3 – Estatística descritiva do pH, durante 21 semanas de monitoramento.

Parâmetro da Estatística	Afluente	Efluente U-Planta	Efluente U-Filtro
Mínimo	5,0	5,9	5,5
Máximo	6,9	7,3	8,8
Média	6,0	6,7	7,4
Desvio Padrão	0,5	0,4	0,7
Coefficiente de variação	0,08	0,06	0,10

Fonte: Autoral.

Ao analisar os valores de pH, verifica-se que para o afluente, os valores ficaram entre 5 e 6,9 e que a sua média foi de $6,0 \pm 0,5$ e coeficiente de variação de 0,08, para o efluente da U-Planta, os valores ficaram entre 5,9 e 7,3; sua média em $6,7 \pm 0,4$ e coeficiente de variação de 0,06, para o efluente da U-Filtro os valores ficaram entre 5,5 e 8,8; sua média em $7,4 \pm 0,7$ e coeficiente de variação de 0,10. Nota-se que com o tratamento da U-Planta e da U-Filtro o pH aumentou, e ao observar as médias dos efluentes, constata-se que o pH do leito U-Planta ficou um pouco mais ácido que o da unidade U-Filtro. Isto pode ser explicado pela presença da macrófita na U-Planta, pois uma vez que as folhas da vegetação caem no leito, ocorre a decomposição desta matéria orgânica, liberando ácidos no processo (Travaini, 2011), sendo que

na U-Filtro não há presença de vegetação. Além disso, a U-Planta manteve o pH mais estável do que a U-Filtro, nota-se pelo menor valor do desvio padrão e coeficiente de variação da U-Planta em relação a U-Filtro.

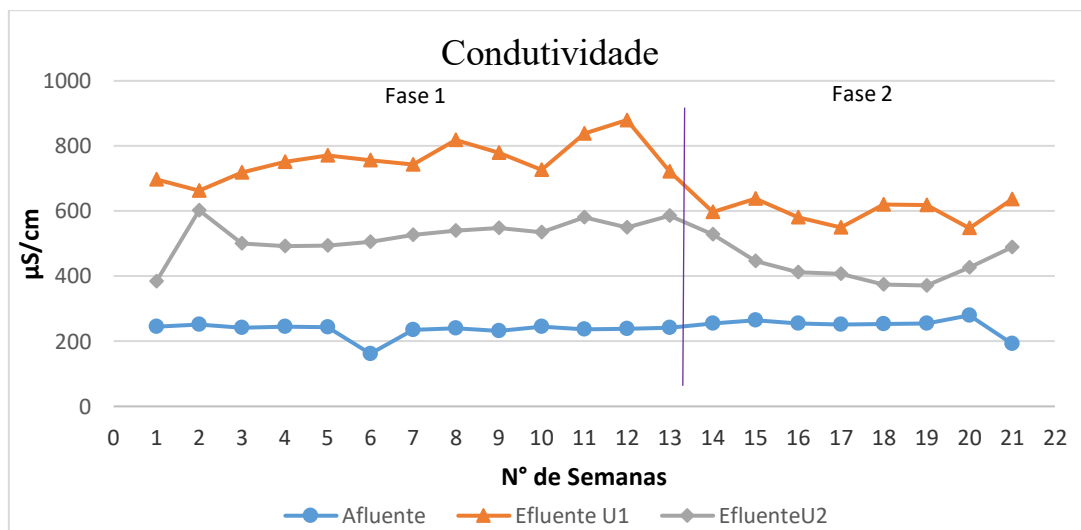
Travaini (2011) explica que a queda das folhas da macrófita no leito proveem maior quantidade de substrato aos microrganismos decompositores, os quais liberam dióxido de carbono durante a respiração, aumentando a concentração de CO_2 no sistema os quais se transformam em ácido carbônico nos WC. Desse modo, pode-se compreender a maior acidez do pH na U-Planta, com a macrófita, em relação a U-Filtro, sem macrófita.

Ademais, os valores de pH encontrados nos efluentes estão em conformidade com o intervalo definido pela Resolução CONAMA 430/2011 que é de 5 a 9, para lançamento de efluentes em corpos hídricos.

5.3 Condutividade

Em relação ao parâmetro de condutividade, a Figura 16 apresenta a série temporal e a Tabela 4 a estatística descritiva geral dos resultados obtidos.

Figura 16: Séries temporais dos valores de condutividade monitorados na U-Planta (U1) e U-Filtro (U2) e afluente, durante 21 semanas.



Fonte: Autoral.

Tabela 4 – Estatística descritiva da Condutividade ($\mu\text{S/cm}$), durante 21 semanas de monitoramento.

Estatística descritiva	Afluyente	Efluente U-Planta	Efluente U-Filtro
Mínimo	161,8	547,3	371,3
Máximo	279,7	879,7	602,5
Média	241,1	697,6	490,4
Desvio Padrão	24,3	94,5	71,4
Coefficiente de variação	0,10	0,14	0,15

Fonte: Autoral.

Após examinar os resultados na série temporal (Figura 16) e na Tabela 4, nota-se o evidente aumento do valor médio da condutividade dos efluentes quando comparados com o do afluyente, sendo essa elevação de cerca de 200% para ambas as unidades. A condutividade no afluyente ficou entre 161,8 e 279,7 $\mu\text{S/cm}$ e seu valor médio de $241,1 \pm 24,3$ $\mu\text{S/cm}$ com coeficiente de variação de 0,10, para o efluente da U-Planta, os resultados variaram entre 547,3 e 879,7 $\mu\text{S/cm}$, a média foi de $697,6 \pm 94,5$ $\mu\text{S/cm}$ e coeficiente de variação de 0,14 enquanto na U-Filtro, os dados oscilaram entre 371,3 e 602,5 $\mu\text{S/cm}$ com média de $490,4 \pm 71,4$ $\mu\text{S/cm}$ e coeficiente de variação de 0,15. Desse modo, verifica-se que a condutividade foi maior na U-Planta, com macrófita, do que na U-Filtro, sem macrófita, e essa diferença foi de 29,7% no valor médio comparando-se a U-Planta com a U-Filtro.

De acordo com Souza (2015), o aumento da condutividade nos efluentes pode ser resultado do acúmulo de sais no meio filtrante, como cálcio, potássio e sódio, os quais liberam íons no sistema resultando de modo direto na elevação da condutividade elétrica. A origem desses nutrientes no sistema além do efluente sintético, provavelmente foi liberada pelo meio filtrante composto de RCCC. Outro fator que pode ter colaborado é o alto TDH empregado no sistema, de 7 dias, em que o aumento da condutividade sinaliza a perda de material suporte.

A diferença encontrada no valor médio da condutividade dos efluentes dos leitos pode ser explicada pelo fato de que na U-Planta, devido à presença da macrófita, o seu pH é levemente mais ácido do que na U-Filtro, e isso faz com que na U-Planta haja maior lixiviação das partículas solúveis carregadas de íons do meio filtrante e assim, com mais íons liberados maior a condutividade em relação a U-Filtro, sem planta.

A Tabela 5 apresenta a estatística descritiva da Fase 1 e da Fase 2 do parâmetro de condutividade.

Tabela 5– Estatística descritiva da Condutividade ($\mu\text{S/cm}$) por fase, Aflu-Afluente, Efl-efluente.

Estatística descritiva	Fase 1			Fase 2		
	Aflu	Efl U-Planta	Efl U-Filtro	Aflu	Efl U-Planta	Efl U-Filtro
Mínimo	161,8	663,0	384,0	192,3	547,3	371,3
Máximo	250,8	879,7	602,5	279,7	637,7	527,7
Média	235,2	758,6	526,5	250,7	598,4	431,8
Desvio Padrão	22,6	59,4	55,5	25,4	36,0	54,2
Coefficiente de Variação	0,10	0,08	0,11	0,10	0,06	0,13

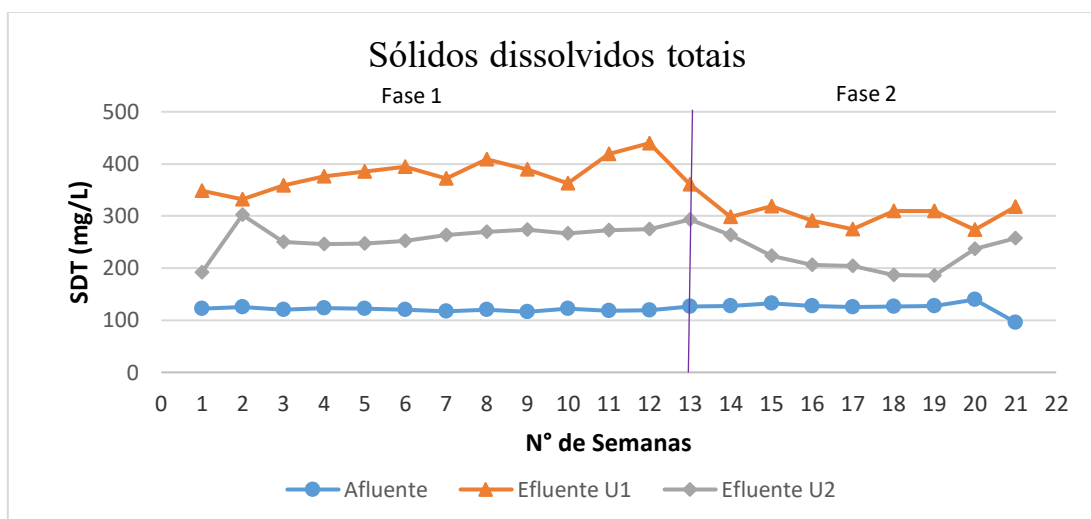
Fonte: Autoral.

Ao observar a série temporal da Figura 16 do comportamento da condutividade, nota-se que da fase 1 para a fase 2 houve uma mudança no desempenho dos efluentes, em que seus valores diminuíram. Verifica-se na Tabela 06 que o valor médio do efluente da U-Planta, na fase 1 foi 758,6 $\mu\text{S/cm}$ e na fase 2 foi 598,4 $\mu\text{S/cm}$, houve uma redução de 21,1% de uma fase para outra, enquanto para o efluente da U-Filtro, na fase 1 foi de 526,5 $\mu\text{S/cm}$ e na fase 2 foi de 431,8 $\mu\text{S/cm}$, desse modo observa-se uma redução de 18% da fase 1 para a 2 do efluente da U-Filtro.

5.4 Sólidos dissolvidos totais (SDT)

Quanto aos sólidos dissolvidos totais (SDT), a Figura 17 apresenta a evolução temporal de suas concentrações e a Tabela 6 sua estatística descritiva.

Figura 17: Séries temporais dos valores de sólidos dissolvidos totais monitorados na U-Planta (U1) e U-Filtro (U2), durante 21 semanas.



Fonte: Autoral.

Tabela 6– Estatística descritiva dos Sólidos dissolvidos totais (SDT), durante 21 semanas de monitoramento.

Estatística descritiva	Afluente	Efluente U-Planta	Efluente U-Filtro
Mínimo	96,0	273,7	185,7
Máximo	139,7	439,7	302,0
Média	122,8	349,6	246,1
Desvio Padrão	8,2	47,9	34,2
Coefficiente de variação	0,07	0,14	0,14

Fonte: Autoral.

Para o afluente, os SDT oscilaram entre 96 e 139,7 mg/L, com média de $122,8 \pm 8,2$ mg/L e o coeficiente de variação de 0,07; para o efluente da U-Planta, os valores variaram entre 273,7 e 439,7 mg/L, com valor médio de $349,6 \pm 47,9$ mg/L e coeficiente de variação de 0,14; para o efluente da U-Filtro, os resultados encontrados estão entre 185,7 e 302,0 mg/L, com valor médio de $246,1 \pm 34,2$ mg/L e coeficiente de variação de 0,14.

O comportamento do SDT é similar ao da condutividade uma vez que as concentrações de SDT dos efluentes de ambos os leitos foram cerca de 200% maiores do que a encontrada no afluente. Sendo a diferença dos valores médios da U-Planta em relação à U-Filtro de 29,6% a mais para U-Planta, tal diferença é bem próxima à obtida em relação à condutividade.

Conforme Leal (2019), uma explicação para o aumento da concentração SDT nos efluentes das unidades, é devido ao material filtrante composto pelos resíduos de construção

civil cerâmicos, os quais contêm grande quantidade de material pulverulento, que são partículas finas capazes de se dispersarem no efluente com o passar dos dias, ocasionando a elevação dos SDT. Sendo que o TDH de 7 dias, considerado alto, também pode ter colaborado para o aumento da dispersão do material pulverulento e com isso ajudou no aumento dos SDT.

A Tabela 7 apresenta a estatística descritiva da Fase 1 e da Fase 2 do parâmetro de sólidos dissolvidos totais.

Tabela 7– Estatística descritiva dos Sólidos dissolvidos totais (SDT) por fase. Afl-Afluente, Efl-Efluente.

Estatística descritiva	Fase 1			Fase 2		
	Afl	Efl U-Planta	Efl U-Filtro	Afl	Efl U-Planta	Efl U-Filtro
Mínimo	115,7	331,7	191,7	96,0	273,7	185,7
Máximo	126,7	439,7	302,0	139,7	319,0	263,7
Média	121,2	380,6	261,8	125,3	299,3	220,6
Desvio Padrão	3,1	29,9	26,9	12,7	18,0	30,1
Coefficiente de variação	0,03	0,08	0,10	0,10	0,06	0,14

Fonte: Autoral.

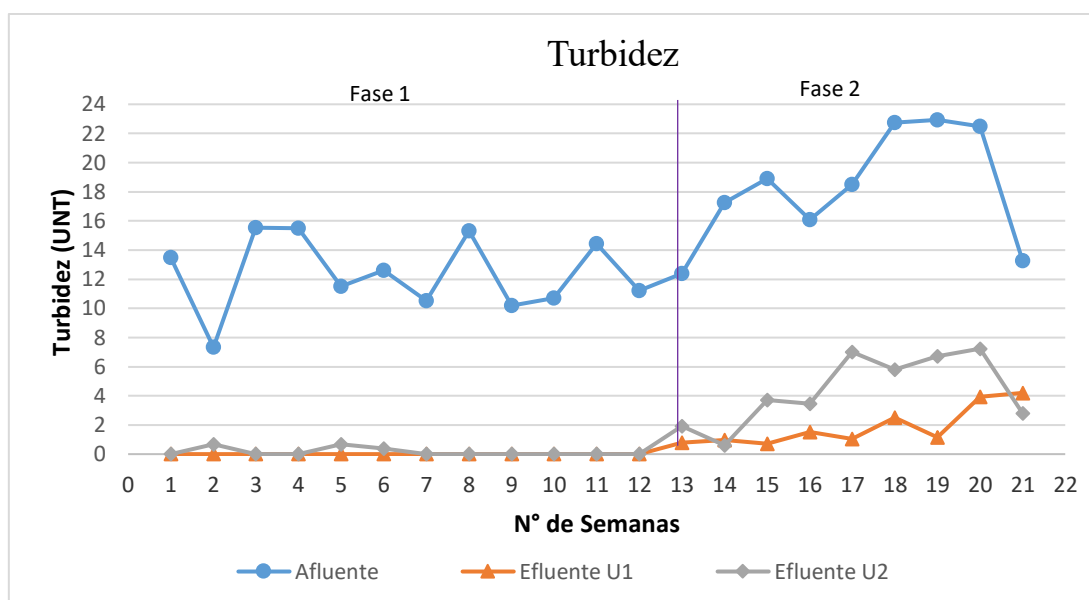
Em relação às diferenças da fase 1 e da fase 2, pelo gráfico da Figura 17 nota-se uma redução dos valores das concentrações dos SDT da fase 1 para a 2. Na Tabela 7 constata-se os valores médios dos efluentes, respectivamente da fase 1 para a fase 2, da U-Planta de 380,6 para 299,3 mg/L, redução de 21,4%, e da U-Filtro, de 261,8 para de 220,6 mg/L, redução de 15,7%.

Desse modo, a partir da fase 2, nota-se que o declínio da condutividade de modo similar à queda da concentração dos SDT, ou seja, observa-se a diminuição do potencial de transferência de cargas na mesma proporção em que menores quantidades dos SDT foram lixiviados.

5.5 Turbidez

O monitoramento da turbidez pode ser observado por sua evolução temporal na Figura 18 e pela Tabela 8 e Tabela 9 que apresentam a estatística descritiva.

Figura 18: Séries temporais dos valores de turbidez monitorados na U-Planta (U1) e U-Filtro (U2) e afluente, durante 21 semanas.



Fonte: Autoral.

Tabela 8– Estatística descritiva da turbidez (UNT).

Estatística descritiva	Afluente	Efluente U-Planta	Efluente U-Filtro
Mínimo	7,3	0,0	0,0
Máximo	22,9	4,2	7,2
Média	14,9	0,8	1,9
Desvio Padrão	4,4	1,3	2,6
Coefficiente de variação	0,29	1,60	1,35

Fonte: Autoral.

Tabela 9– Estatística descritiva da turbidez (UNT) por fases. Afl-Afluente, Efl-efluente.

Estatística descritiva	Fase 1			Fase 2		
	Afl	Efl U-Planta	Efl U-Filtro	Afl	Efl U-Planta	Efl U-Filtro
Mínimo	7,3	0,0	0,0	13,3	0,7	0,6
Máximo	15,5	0,8	1,9	22,9	4,2	7,2
Média	12,4	0,1	0,3	19,0	2,0	4,7
Desvio Padrão	2,5	0,2	0,6	3,5	1,4	2,4
Coefficiente de variação	0,20	3,61	2,00	0,18	0,69	0,51

Fonte: Autoral.

O comportamento da turbidez observado na série temporal (Figura 18), indica que os tratamentos da U-Planta (WC-FV) e da U-Filtro (FFV), foram eficientes na redução do parâmetro turbidez, que é caracterizado pela remoção de substâncias em suspensão no efluente líquido. Como apresentado na Tabela 8, verifica-se que durante o monitoramento das 22 semanas, o valor médio do afluente foi de 14,9 UNT, e da U-Planta foi de 0,8 UNT e da U-Filtro de 1,9 UNT.

Ainda, ao observar a série temporal da turbidez (Figura 18), nota-se que um aumento dos valores do afluente e dos efluentes da fase 1 para a fase 2, sendo o aumento da turbidez do afluente relacionada ao acréscimo de matéria orgânica na receita do esgoto sintético, em que a DQO da fase 1 era de 70mg/L e na fase 2 foi elevada para 300mg/L. Como apresenta a Tabela 9, na fase 1, o valor médio da turbidez do afluente foi 12,4 UNT e dos efluentes U-Planta e U-Filtro foram 0,1 e 0,3 UNT. Na fase 2, a turbidez média do afluente foi 19,0 UNT, e dos efluentes U-Planta e U-Filtro de 2,0 e 4,7 UNT.

A Tabela 10 e a Tabela 11 apresentam a estatística descritiva da eficiência de remoção da turbidez nas unidades U-Planta e U-Filtro, na primeira tem-se os dados gerais e na segunda por fases.

Tabela 10– Estatística descritiva da eficiência de remoção da turbidez (%).

Estatística descritiva	Efic (%) U-Planta	Efic (%) U-Filtro
Mínimo	89,0	62,2
Máximo	100,0	100,0
Média	97,7	92,1
Desvio Padrão	3,7	11,4
Coefficiente de variação	0,04	0,12

Fonte: Autoral.

Tabela 11– Estatística descritiva da eficiência de remoção da turbidez (%) por fases.

Estatística descritiva	Fase 1		Fase 2	
	Efic (%) U-Planta	Efic (%) U-Filtro	Efic (%) U-Planta	Efic (%) U-Filtro
Mínimo	93,5	84,4	89,0	62,2
Máximo	100,0	100,0	96,3	96,5
Média	99,5	97,4	92,9	78,4
Desvio Padrão	1,8	4,9	3,0	12,4
Coefficiente de variação	0,02	0,05	0,03	0,16

Fonte: Autoral.

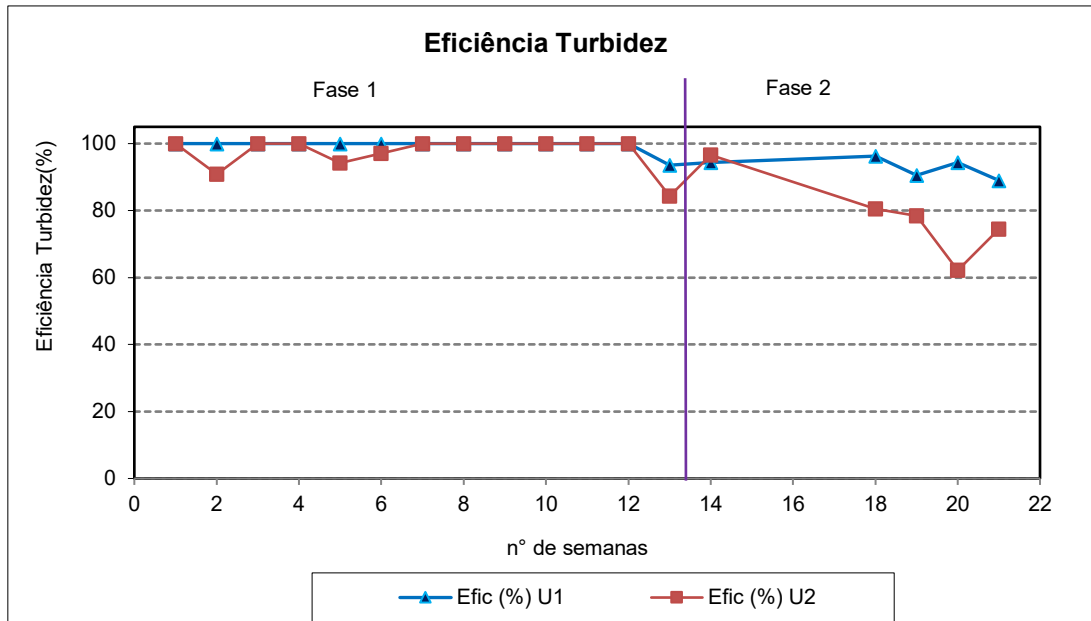
Ao observar a Tabela 10, nota-se que no geral o desempenho da U-Planta foi melhor do que da U-Filtro, a média da U-Planta foi maior que a da U-Filtro, que o valor máximo de eficiência de ambas as unidades foi de 100%. Na U-Planta, o valor médio foi de $97,7 \pm 3,7\%$, o valor mínimo de 89% e o coeficiente de variação foi 0,04, na U-Filtro, o valor médio foi de $92,1 \pm 11,4\%$, o valor mínimo de 62,2% e o coeficiente de variação foi 0,12. Desse modo, verifica-se que a U-Filtro obteve menor valor mínimo do que a U-Planta, e que tanto o desvio padrão quanto o coeficiente de variação da U-Planta foram menores do que os da U-Filtro, indicando que a U-Planta teve resultados mais homogêneos e com menos variações entre eles.

Ao avaliar os dados da Tabela 11, verifica-se que na fase 1, na U-Planta, o valor médio de eficiência de remoção de turbidez foi de $99,5 \pm 1,8\%$, o valor mínimo de 93,5% e o coeficiente de variação foi 0,02; na U-Filtro, o valor médio foi de $97,4 \pm 4,9\%$, o valor mínimo de 84,4% e o coeficiente de variação foi 0,05. Na fase 2, na U-Planta, o valor médio foi de $92,9 \pm 3\%$, o valor mínimo de 89%, valor máximo de 96,3% e o coeficiente de variação foi 0,03; na U-Filtro, o valor médio foi de $78,4,1 \pm 12,4\%$, o valor mínimo de 62,2% e o coeficiente de variação foi 0,16.

A análise dos resultados da Tabela 11 permite identificar que nas duas fases o desempenho da U-Planta foi melhor do que da U-Filtro, comparando-se a média, e que as duas unidades obtiveram melhores resultados na fase 1, com médias maiores, valor máximo de eficiência de remoção de 100% na U-Planta e U-Filtro, e com dados mais próximos e homogêneos devido aos menores valores de desvio padrão e coeficiente de variância do que na fase 2. Ainda, na fase 2 há maior diferença entre os valores médios da U-Planta e U-Filtro.

A Figura 19 apresenta o gráfico da eficiência de remoção da turbidez e reitera estas observações.

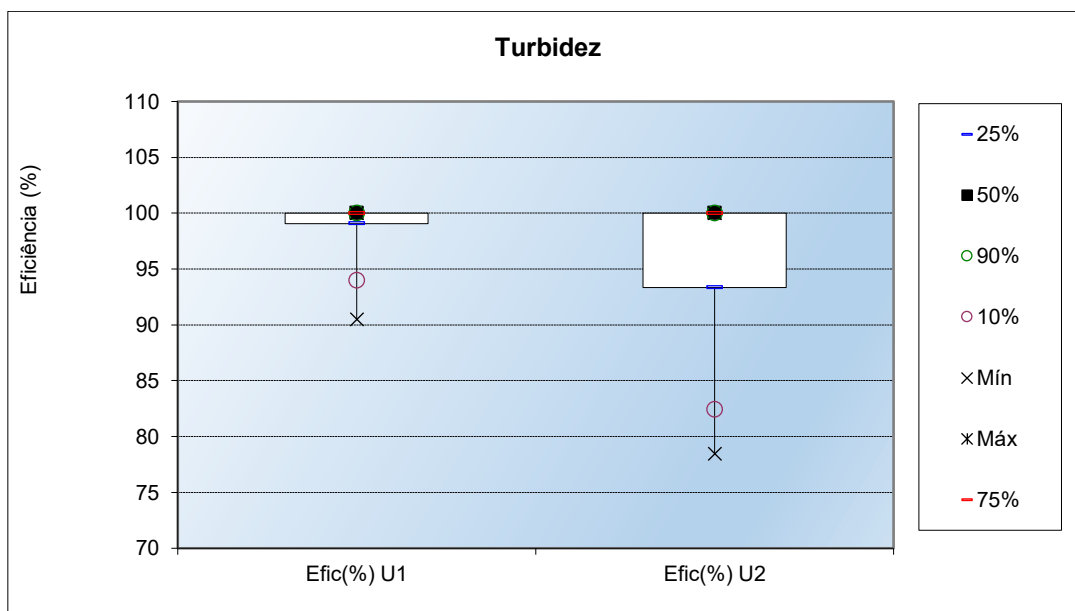
Figura 19: Gráfico da eficiência de remoção da turbidez na U-Planta (U1) e U-Filtro (U2).



Fonte: Autoral.

A Figura 20 a seguir apresenta o gráfico BoxPlot da eficiência de remoção da turbidez. O BoxPlot da eficiência de remoção da turbidez evidencia que os resultados da U-Planta se encontram em um intervalo menor e entre os valores de 90 a 100%, e da U-Filtro, há maior variação dos dados que ficam acima de 75 e atingem 100%. Isto evidencia o melhor desempenho da U-Planta em relação a U-Filtro.

Figura 20: BoxPlot da eficiência de remoção de turbidez na U-Planta (U1) e U-Filtro (U2).



Fonte: Autoral.

As duas unidades de tratamento obtiveram bons resultados na remoção da turbidez, com 90% dos dados das unidades com porcentagem de eficiência acima de 95%, como mostrado no BoxPlot da Figura 20. Tais resultados são similares aos obtidos por Vieira, Cavalcanti e Cavalcanti (2020) em um experimento para tratar águas cinzas utilizando WC, cuja eficiência média de remoção de turbidez foi de 92%.

Ademais, apesar da Resolução do CONAMA 430/2011 não apresentar um limite de turbidez para o controle de qualidade dos efluentes, a Deliberação Normativa Conjunta Nº 01 do COPAM-CERH de 2008 determina o limite de 40 UNT para água doce de classe 1 e 100 UNT para classe 2, portanto, os resultados obtidos neste experimento quanto às concentrações de turbidez após o tratamento, encontram-se dentro dos limites estabelecidos para água doce de classe 1.

5.6 Resultados da remoção de matéria orgânica

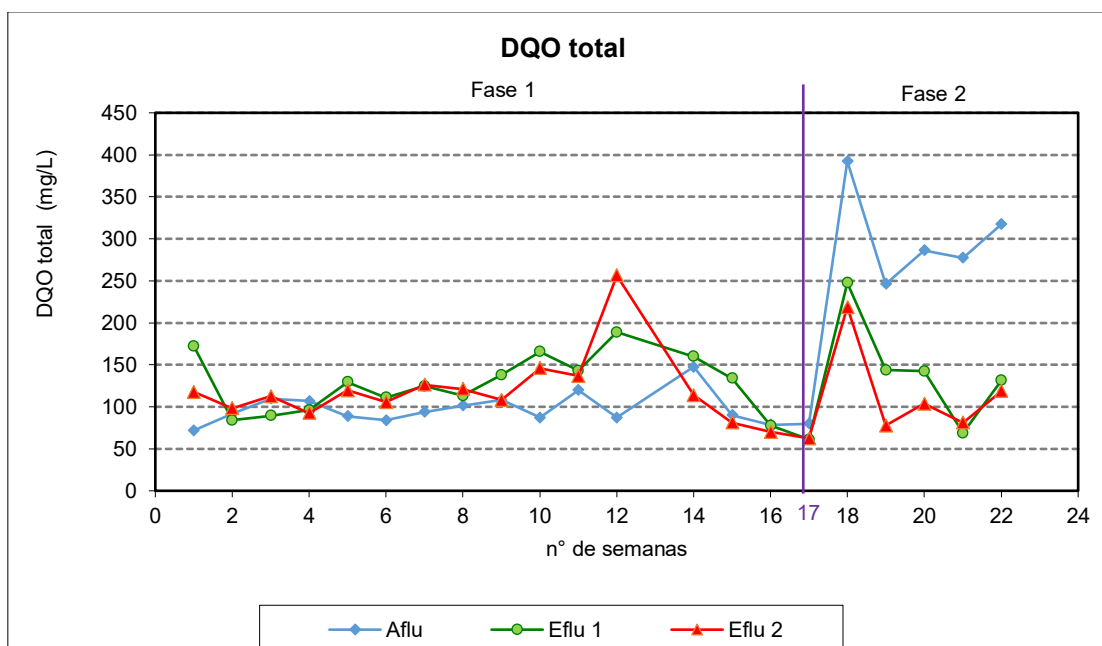
Os testes da demanda química de oxigênio (DQO) foram realizados durante os meses de julho a novembro de 2020, e seus dados brutos estão dispostos no Apêndice 3 e a análise descritiva no Apêndice 4.

Os resultados da DQO serão apresentados a seguir separados quanto à DQO total e filtrada e ao final, serão analisados os resultados dos testes de eficiência de remoção da DQO.

5.7 DQO total

A série temporal de concentração de DQO total está apresentada na Figura 21, e sua estatística descritiva está apresentada na Tabela 12 e Tabela 13.

Figura 21: Séries de concentração da DQO total, Aflu- Afluente, Eflu 1 (efluente da U-Planta) e Eflu 2 (efluente da U-Filtro) durante as 22 semanas monitoradas.



Fonte: Autoral.

Observando-se as séries temporais da DQO Total (Figura 21) tanto da U-Planta, quanto da U-Filtro, nota-se que na fase 1 os valores dos efluentes estiveram acima dos valores do afluente, indicando que nas duas unidades saiu mais MO do que entrou, além disso os dados do afluente e efluente estão mais próximos do que comparados na fase 2. Na fase 2, os valores de concentração dos efluentes das duas unidades estão abaixo dos do afluente, indicando que houve eficiência de remoção, saiu menos MO do que entrou, além disso, maior distância entre os dados dos efluentes em relação ao dos afluente, indicam maior eficiência do que na fase 1, entrou muita MO e saiu pouca, dada a distância dos valores do que entrou e saiu.

Tabela 12 – Estatística descritiva da DQO total, durante as 22 semanas monitoradas.

Estatística descritiva	Afluente	Efluente U-Planta	Efluente U-Filtro
Mínimo	72	61	63
Máximo	393	248	256
Média	146	130	118
Desvio Padrão	95	44	46
Coefficiente de variação	0,65	0,34	0,39

Fonte: Autoral.

Tabela 13 – Estatística descritiva da DQO total por fases, durante as 22 semanas monitoradas. Aflu-Afluente, Eflu-Efluente.

Estatística descritiva	Fase 1			Fase 2		
	Aflu	Efl U-Planta	Eflu U-Filtro	Aflu	Eflu U-Planta	Eflu U-Filtro
Mínimo	72	61	63	246	69	78
Máximo	148	189	256	393	248	219
Média	97	124	117	304	147	120
Desvio Padrão	19	37	43	56	64	58
Coefficiente de variação	0,19	0,30	0,37	0,18	0,44	0,48

Fonte: Autoral.

Quanto a DQO total, verifica-se pela Tabela 12, que no geral a concentração média no afluente aplicada nos sistemas foi de 146 ± 95 mg/L, e os valores variaram de 72 a 393 mg/L, nos efluentes, no leito U-Planta o valor médio foi de 130 ± 44 mg/L e os resultados oscilaram de 61 a 248mg/L, no leito U-Filtro a média foi de 118 ± 46 mg/L e os dados ficaram entre 63 e 256mg/L. Desse modo, constata-se que pelo valor médio, a eficiência geral de remoção de DQO total no leito U-Planta foi de 11,0% e do leito U-Filtro de 19,2%.

Nota-se que a DQO total, observando a Tabela 13, na Fase 1, teve valor médio de concentração afluente de 97 ± 19 mg/L, oscilando entre 72 e 148mg/L, enquanto os efluentes, no leito U-Planta, a média foi 124 ± 37 mg/L e os dados variaram entre 61 e 189mg/L, no leito U-Filtro, o valor médio foi de 117 ± 43 mg/L e os resultados ficaram entre 63 e 256mg/L. Assim, verifica-se pelo valor médio da Fase 1, que a eficiência da unidade U-Planta foi de -27,8% e da U-Filtro de -20,6%, ou seja, que as unidades não foram eficientes no tratamento, saiu mais MO dos sistemas do que entrou, sendo na U-Planta liberado mais MO do que na U-Filtro.

Na Fase 2, constata-se que a concentração de DQO total no afluente obteve valor médio de 304 ± 56 mg/L e variou de 246 a 393mg/L, e em relação aos efluentes, na U-Planta, a média foi de 147 ± 64 mg/L e os valores oscilaram entre 69 e 248 mg/L, na U-Filtro a concentração média foi 120 ± 58 mg/L e os resultados ficaram entre 78 e 219mg/L. Desse modo, a eficiência de remoção dos leitos U-Planta e U-Filtro, comparando-se a média da concentração, foram de 51,6% e 60,5%, logo, a melhor eficiência de remoção de MO foi da U-Filtro.

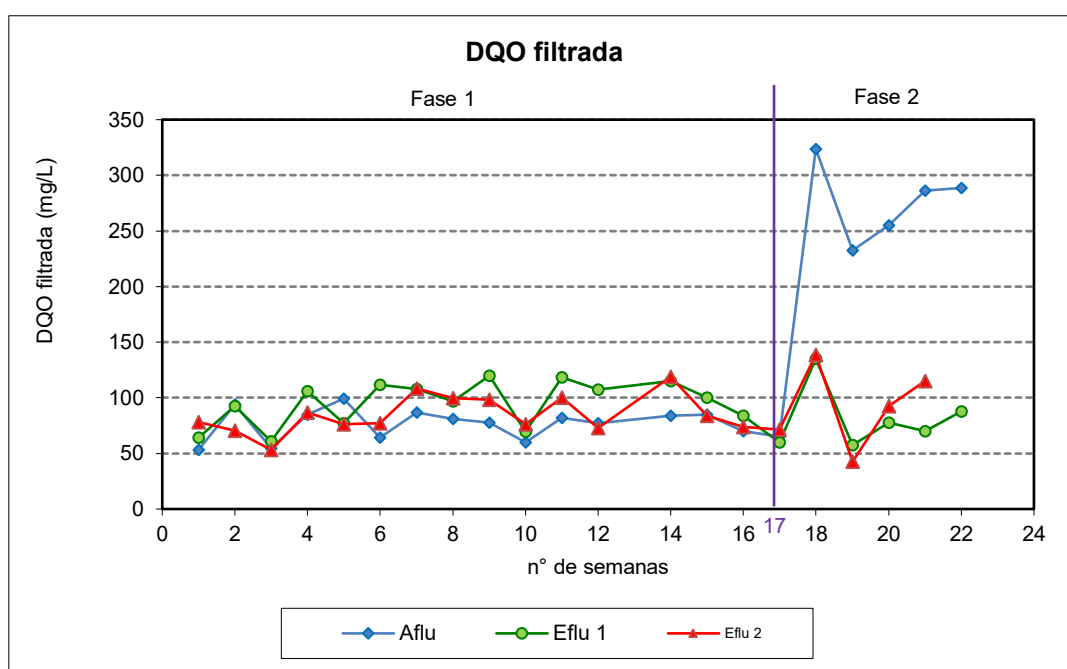
Ao analisar os dados da DQO total, verifica-se que a U-Filtro obteve melhor remoção de MO do que a U-Planta tanto no geral, quanto nas fases 1 e 2, ainda que as duas unidades

tenham obtido melhor eficiência na fase 2, quando foi aplicado maior quantidade de matéria orgânica. Nota-se que para valores baixos de MO inseridos no sistema, as unidades experimentais não foram eficientes, possivelmente devida a uma baixa formação da comunidade microbiana responsável pela degradação da MO, em função da concentração de DQO aplicada.

5.8 DQO filtrada

A série temporal de concentração da DQO filtrada está apresentada na Figuras 22 e sua estatística descritiva encontra-se na Tabela 14 e Tabela 15.

Figura 22: Séries de concentração da DQO filtrada, Aflu- Afluente, Eflu 1 (efluente da U-Planta) e Eflu 2 (efluente da U-Filtro) durante as 22 semanas monitoradas.



Fonte: Autoral.

Observando-se as séries temporais da DQO filtrada (Figura 22) tanto da U-Planta, quanto da U-Filtro, nota-se que o comportamento segue o mesmo padrão do obtido da DQO total, ou seja, na fase 1, com menor aplicação de MO, os valores de concentração de DQO dos efluentes foram maiores do que os do afluente, sendo estes resultados com valores próximos, enquanto na fase 2, com maior aplicação de MO, os dados de concentração de DQO dos efluentes foram menores do que os do afluente e essa diferença entre os dados foi maior do

que a da fase 1, indicando melhor eficiência na fase 2 do que na 1, sendo a fase 1 ineficiente visto que saia mais MO do que entrava no sistema.

Tabela 14 – Estatística descritiva da DQO filtrada, durante as 22 semanas monitoradas.

Estatística descritiva	Afluente	Efluente U-Planta	Efluente U-Filtro
Mínimo	53	58	43
Máximo	324	135	139
Média	124	91	86
Desvio Padrão	90	23	23
Coefficiente de variação	0,72	0,25	0,26

Fonte: Autoral.

Tabela 15 – Estatística descritiva DQO filtrada por fases, durante as 22 semanas monitoradas. Afl-Afluente, Efl-Efluente.

Estatística descritiva	Fase 1			Fase 2		
	Afl	Efl U-Planta	Efl U-Filtro	Afl	Efl U-Planta	Efl U-Filtro
Mínimo	53	60	53	233	58	43
Máximo	99	120	119	324	135	139
Média	76	93	84	277	86	91
Desvio Padrão	14	21	17	35	30	38
Coefficiente de variação	0,18	0,23	0,20	0,13	0,35	0,42

Fonte: Autoral.

Na Tabela 14 observa-se os valores da DQO filtrada, em que no geral, a concentração média do afluente foi de 124 ± 90 mg/l, e seus valores oscilaram entre 53 e 324 mg/L, em relação aos efluentes, na U-Planta, obteve-se valor médio de 91 ± 23 mg/L e seus resultados ficaram entre 58 e 135 mg/L, na U-Filtro, a média da concentração foi 86 ± 23 mg/L e seus dados variaram entre 43 e 139 mg/L. Assim, verifica-se pelo valor médio de concentração, que a eficiência de remoção da MO na U-Planta foi de 26,6% e na U-Filtro foi de 30,6%.

Na Tabela 15, nota-se que na fase 1 a concentração média da DQO filtrada obtida no afluente foi 76 ± 14 mg/L, e seus valores oscilaram entre 53 e 99 mg/L, nos efluentes, na U-Planta a média foi de 93 ± 21 mg/L e seus valores variaram entre 60 e 120 mg/L, na U-Filtro o valor médio foi 84 ± 17 mg/L e seus resultados ficaram entre 53 e 119 mg/L. Logo, pelos valores

médios de concentração de DQO, constata-se que a eficiência da U-Planta foi -22,4% e da U-Filtro de -10,5%.

Na fase 2, o afluente obteve concentração média da DQO filtrada de 277 ± 35 mg/L e seus valores oscilaram entre 233 e 324 mg/L, em relação aos efluentes, na U-Planta o valor médio foi de 86 ± 30 mg/L e seus dados variaram entre 58 e 135mg/L, na U-Filtro a média de concentração foi de 91 ± 38 mg/L e seus resultados ficaram entre 43 e 139mg/L. Desse modo, pelo valor médio de concentração da DQO filtrada, observa-se que a eficiência de remoção de MO na U-Planta foi de 69,0% e na U-Filtro de 67,1%.

Assim, em relação a DQO filtrada, nota-se que no desempenho geral, a U-Filtro foi melhor que a U-Planta, sendo a fase 1 de menor aplicação de MO, nota-se que os dois sistemas não foram eficientes, liberando mais MO na saída do que a quantidade que foi inserida nos leitos, e ainda, a U-Filtro liberou menos MO do que a U-Planta. Na fase 2, de maior aplicação de MO, a U-Planta obteve melhor eficiência de remoção do que a U-Planta, no entanto ambas com valores próximos e acima de 60%.

Comparando-se a DQO total e filtrada, nota-se que seus dados foram similares, que no geral a eficiência das unidades foram baixas, na fase 1 foram ruins, liberando mais MO do que tratando, e na fase 2 acima de 50%, sendo apenas na fase 2 da DQO filtrada que a U-Planta foi melhor que a U-Filtro.

5.9 Eficiência de Remoção da MO – DQO Total

Os resultados da eficiência de remoção da DQO total dos leitos U-Planta com a U-Filtro, estão apresentados na Tabela 16 com a estatística descritiva, na Figura 23 com a série temporal e na Figura 24 com o BoxPlot.

Tabela 16 – Estatística descritiva das eficiências de remoção de DQO total (%).

Estatística descritiva	Geral		Fase 1		Fase 2	
	U-Planta	U-Filtro	U-Planta	U-Filtro	U-Planta	U-Filtro
Mínimo	-140	-194	-140	-194	37	44
Máximo	75	71	23	23	75	71
Média	-12	-5	-32	-26	53	62
Desvio Padrão	56	60	48	53	15	10
Coefficiente de variação	-4,7	-11,5	-1,5	-2,0	0,3	0,2

Fonte: Autoral.

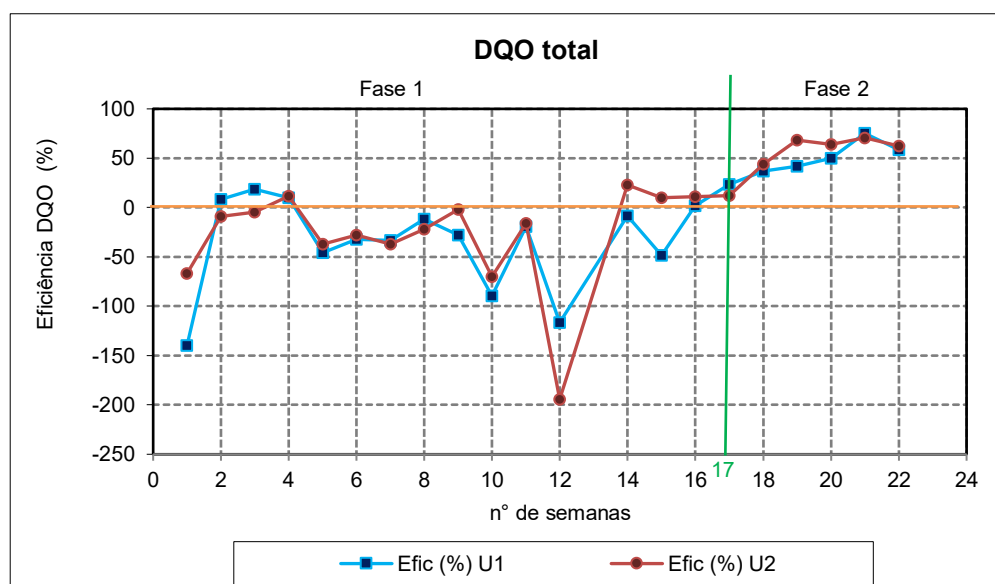
Durante a fase 1, as eficiências das unidades podem ser consideradas nulas, uma vez que, a DQO de saída foi maior que a DQO de entrada, informação expressada matematicamente

pelos valores negativos (Tabela 16). Como comentado anteriormente, este fato pode ter ocorrido devido à ausência de processos bioquímicos de degradação da MO, pela baixa comunidade microbiana (dados não monitorados). Contudo, já no final da fase 1, na U-Filtro, observa-se valores de saída de DQO menores aos de entrada (Figura 21). E ao aumentar a DQO de alimentação (Fase 2), foram observadas melhores eficiências de remoção de DQO nas duas unidades. Para U-Planta o valor médio da remoção de DQO foi de $53\pm 15\%$, e para U-Filtro uma remoção média de $62\pm 10\%$.

Desse modo, nota-se que no geral e na fase 1, as médias de eficiência de remoção de DQO total foram nulas, enquanto na fase 2 ao observar a média obtida, constata-se que o desempenho da U-Filtro foi melhor que o da U-Planta. Ainda, na fase 2 tem-se os menores valores de desvio padrão e coeficiente de variação, indicando que os sistemas estão mais próximos do estado de equilíbrio dinâmico.

Na CONAMA 430/2011 a remoção mínima de DBO (DBO 5 dias a 20°C) para que o efluente possa ser lançado diretamente no corpo receptor é de 60%, sendo possível reduzir esse valor caso haja estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. Ainda que diferentes, ao comparar a DQO com a DBO, nota-se que na fase 2 a remoção de DQO da U-Filtro estaria em conformidade com essa norma e a da U-Planta não, porém esta alcançou valor próximo ao mínimo permitido.

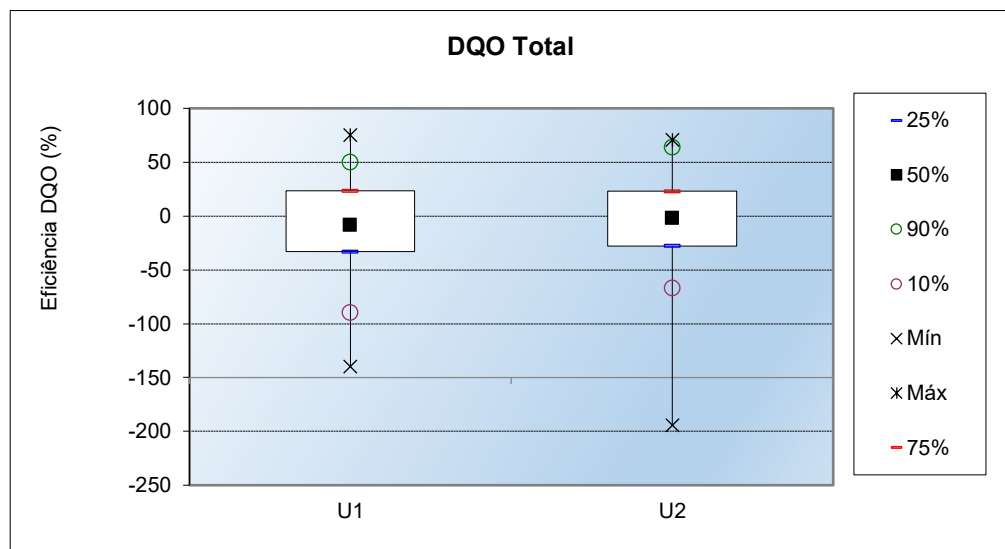
Figura 23: Séries de eficiência da DQO Total, Efic (%) U1 (da U-Planta) e Efic (%) 2 (da U-Filtro) durante as 22 semanas monitoradas.



Fonte: Autoral.

Ao analisar o gráfico da Figura 23, observa-se que as eficiências de remoção da DQO total das duas unidades são semelhantes, na fase 1 a maioria dos resultados estão abaixo de 0, indicando que saiu mais matéria orgânica das unidades do que entrou, ainda, que na maioria das semanas, os dados da U-Filtro são maiores do que os da U-Planta. Na fase 2, nota-se que as eficiências estão acima e 0% e a maioria próxima a 50%, e mais dados da U-Filtro estão acima da U-Planta. Desse modo, nota-se que a unidade do filtro FVV (U-Filtro) obtiveram resultados mais bem avaliados que a unidade WC-FV (U-Planta), em relação à DQO total.

Figura 24: BoxPlot da eficiência da DQO Total, U1=U-Planta e U2=U-Filtro.



Fonte: Autoral.

Observando-se o BoxPlot da Figura 24, constata-se que a eficiência de remoção de DQO total foi melhor na U-Filtro do que da U-Planta, pois apesar da variação de dados da U-Filtro ser maior do que da U-Planta, pela amplitude do BoxPlot, 90% dos resultados da U-Filtro estão acima de 50% e da U-Planta estão próximos de 50%, além de os 50% dos resultados da U-Planta estarem mais deslocados para valores abaixo de 0 do que os da U-Planta, que estão mais deslocados para cima.

5.10 Eficiência de Remoção da Matéria Orgânica – DQO Filtrada

Os resultados da eficiência de remoção da DQO filtrada dos leitos U-Planta com a U-Filtro, estão apresentados na Tabela 17, com a estatística descritiva das eficiências de remoção de MO, na Figura 25 com a série temporal e na Figura 26 com o BoxPlot.

Tabela 17 – Estatística descritiva da eficiência de remoção de DQO filtrada (%).

Estatística descritiva	Geral		Fase 1		Fase 2	
	U-Planta	U-Filtro	U-Planta	U-Filtro	U-Planta	U-Filtro
Mínimo	-74	-46	-74	-46	58	57
Máximo	76	82	22	25	76	82
Média	-1	7	-23	-12	70	68
Desvio Padrão	46	39	24	21	7	11
Coefficiente de variação	-39,5	5,6	-1,0	-1,7	0,1	0,2

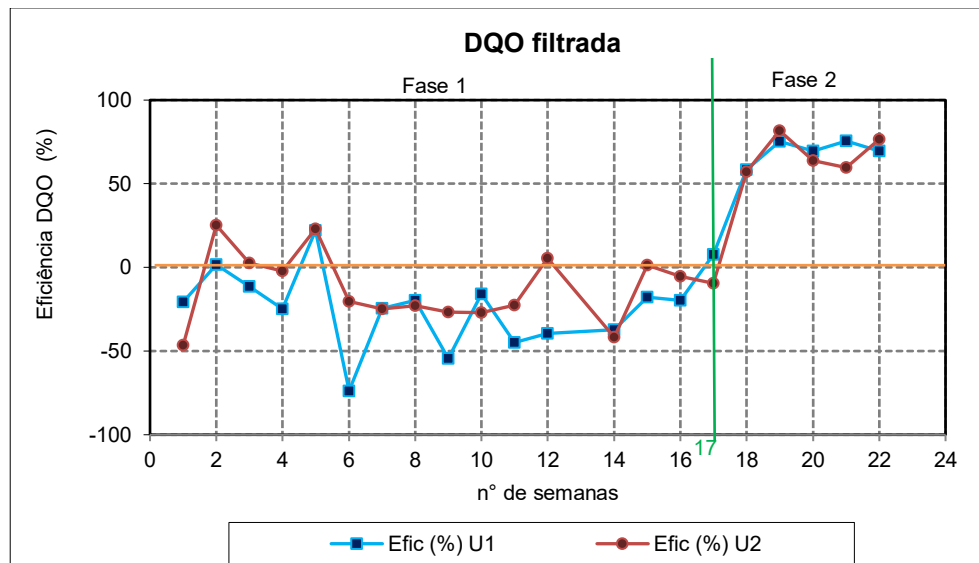
Fonte: Autoral.

Como explicado anteriormente para os dados de eficiência de remoção da DQO total, nota-se que para a DQO filtrada, na fase 1, as eficiências das unidades também são consideradas nulas, por terem valores negativos, isto significa que a DQO de saída foi maior que a DQO de entrada e tal fato se deve pela ausência de processos bioquímicos de degradação da MO, devido à baixa comunidade microbiana (dados não monitorados). Ainda, nota-se que no final da fase 1, a U-Filtro, apresenta valores de saída de DQO próximos aos de entrada (Figura 22). Já na fase 2, com o aumento da DQO de alimentação, observa-se resultados melhores nas duas unidades quanto à eficiência de remoção de DQO, sendo o valor médio da remoção de DQO na U-Planta de $70 \pm 7\%$, e na U-Filtro de $68 \pm 11\%$.

Assim, verifica-se que na fase 1, as médias de eficiência de remoção de DQO filtrada foram nulas, e na fase 2 ao observar a média obtida, constata-se que o desempenho da U-Planta foi melhor do que o da U-Filtro. Ademais, na fase 2 tem-se os menores valores de desvio padrão e coeficiente de variação, indicando que os sistemas estão mais próximos do estado de equilíbrio dinâmico.

Os resultados de eficiência de remoção de DQO tanto na U-Planta quanto na U-Filtro estão em conformidade com a CONAMA 430/2011, se comparar a DQO com a DBO, em que a remoção mínima de DBO (DBO 5 dias a 20° C) para que o efluente possa ser lançado diretamente no corpo receptor é de 60%, sendo possível reduzir esse valor caso haja estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

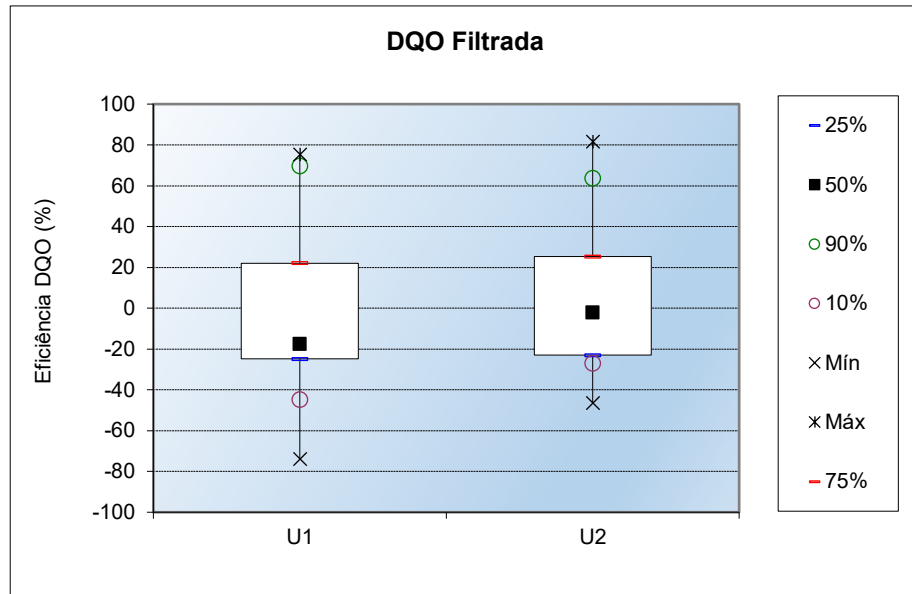
Figura 25: Séries de eficiência da DQO filtrada, Efic (%) U1 (da U-Planta) e Efic (%) 2 (da U-Filtro) durante as 22 semanas monitoradas.



Fonte: Autoral.

Após examinar o gráfico da Figura 25, constata-se que as eficiências de remoção da DQO filtrada se assemelham aos resultados da DQO total, uma vez que na fase 1 os valores obtidos de eficiência em sua maioria encontram-se abaixo de 0, indicando que as unidades liberaram uma quantidade de MO maior do que a adicionada no sistema. Além disso, na fase 1 nota-se que os dados da U-Planta estão oscilando mais do que os da U-Filtro, e que neste período, a U-Filtro alcançou melhor desempenho do que a U-Planta, pois seus dados na maioria das semanas estiveram acima dos dados da U-Planta. Em relação a fase 2, nota-se que o desempenho de ambas as unidades foi similar ao resultado observado para a DQO total, ou seja, que os valores de eficiência ficaram acima de 0, mas foram ainda melhores pois ficaram pouco mais acima de 50%, além disso, verificou-se que a U-Planta foi mais eficiente que a U-Filtro, pois mais de seus dados ficaram acima dos da outra unidade de tratamento, sendo isto distinto do verificado para a DQO total, que na fase 2 o melhor desempenho foi da U-Filtro e não da U-Planta.

Figura 26: BoxPlot da eficiência da DQO Filtrada, U1=U-Planta e U2=U-Filtro.



Fonte: Autoral.

Ao analisar o BoxPlot da Figura 26, constata-se que a U-Planta teve maior amplitude de dados do que a U-Filtro, ou seja, que seus máximos e mínimos estão mais distantes, além disso, na U-Planta 50% de seus dados estão mais abaixo de 0% enquanto na U-Filtro os valores estão próximos de 0%, tendo tanto valores positivos quanto negativos. Além disso, os 90% dos resultados da U-Planta estão acima dos da U-Filtro e o valor máximo da U-Filtro está mais elevado do que o da U-Planta.

5.11 Testes estatísticos

5.11.1 DQO Total

A Tabela 18 apresenta os resultados do teste Mann-Whitney, como a amostra era pequena considerou-se o valor de p como o de p-exact ao invés do p-norm, ainda, as hipóteses consideravam as diferenças das medianas, então avalia-se os resultados como o do teste bicaudal.

Tabela 18 – Mann-Whitney Test - DQO Total.

	U-Planta Efic (%)	U-Filtro Efic (%)		Unicaudal	Bicaudal
Nº de dados	21	21	U	200	
Mediana	-8	-2	Mean	220,5	
rank sum	431	472	std dev	39,75236	Ties
U	241	200	z-score	0,503115	Yates
			effect r	0,077632	
			p-norm	0,307442	0,614884
			p-exact	0,309203	0,618407
			p-simul	N/A	N/A

Fonte: Autoral.

Portanto, apesar de as medianas das unidades terem valores distintos, a mediana da U-Planta foi de 8% e da U-Filtro foi de -2%, o teste de Mann-Whitney mostrou que estatisticamente não há diferença nos valores destas medianas e que desse modo, a eficiência de remoção de DQO total entre as unidades U-Planta e U-Filtro não apresentam diferença estatística ($U=241$ e $p>0,05$; $p=0,62$). Sendo assim, não se pode averiguar se a presença da macrófita fez diferença no tratamento em relação à remoção de MO, sendo necessários mais estudos para verificar esta questão.

5.1.2. DQO Filtrada

A Tabela 19 apresenta os resultados do teste Mann-Whitney, como a amostra era pequena considerou-se o valor de p como o de p-exact ao invés do p-norm, ainda, as hipóteses consideravam as diferenças das medianas, então avalia-se os resultados como o do teste bicaudal.

Tabela 19– Mann-Whitney Test - DQO Filtrada.

	U-Planta Efic (%)	U-Filtro Efic (%)		Unicaudal	Bicaudal
Nº de dados	21	21	U	194	
Mediana	-18	-2	Mean	220,5	
rank sum	425	478	std dev	39,75236	ties
U	247	194	z-score	0,654049	yates
			effect r	0,100922	
			p-norm	0,25654	0,51308
			p-exact	0,258511	0,517022
			p-simul	N/A	N/A

Fonte: Autoral.

Portanto, de modo similar ao verificado para a DQO Total, para a DQO Filtrada constatou-se que apesar de as medianas das unidades terem valores distintos, a mediana da U-Planta foi de -18% e da U-Filtro foi de -2%, o teste de Mann-Whitney mostrou que estatisticamente não há diferença nos valores destas medianas e que desse modo, a eficiência de remoção de DQO total entre as unidades U-Planta e U-Filtro não apresentam diferença estatística ($U=247$ e $p>0,05$; $p=0,52$). Logo, não se pode concluir se a presença da macrófita fez diferença no tratamento em relação à remoção de MO, sendo necessários mais estudos para verificar esta questão.

6. CONCLUSÃO

Constatou-se com os resultados dos testes estatísticos que o uso da macrófita presente no cerrado (*E. acutângula*) no tratamento de efluentes em relação à remoção da MO, tanto para a DQO total quanto para a DQO filtrada, não apresentaram diferença estatística nos tratamentos entre a U-Planta e U-Filtro.

Na fase 1, em que os sistemas eram alimentados com 70 mg/L de DQO, verificou-se que não houve eficiências de remoção de MO porque houve aumento da DQO total e DQO filtrada. Na fase 2, com o aumento da MO aplicada para 300mg/L, observou-se que as eficiências de remoção da MO foram superiores à 50%, sendo estes resultados para a DQO total na U-Planta de 53% e na U-Filtro de 62% e para a DQO filtrada, na U-Planta de 70% e na U-Filtro de 68%.

O uso de materiais alternativos em tratamento de efluentes na estrutura de uma WC-FV ou de um filtro (FVV), são promissores na redução da turbidez, sendo a eficiência média geral da U-Planta de 97,7% e da U-Filtro de 92,1%. Os sistemas se destacaram na eficiência em manter o pH em torno de 5 a 9 e, portanto, em conformidade com o intervalo definido pela Resolução CONAMA 430/2011 que é de 5 a 9, para lançamento de efluentes em corpos hídricos. A respeito da condutividade e SDT, observou-se que os efluentes gerados aumentaram suas concentrações, sendo na U-Planta com valores maiores do que na U-Filtro, e valores menores na fase 2 do que na fase 1.

O aumento da condutividade e da SDT podem ser explicados pelo TDH de 7 dias, considerado alto, que colaborou com a maior perda de material suporte. Isto porque, no meio filtrante acumulam-se sais que liberam íons e elevam a condutividade elétrica e devido aos RCCC conterem grande quantidade de material pulverulento, que são partículas finas capazes

de se dispersarem no efluente gerando aumento dos SDT. Ainda, os maiores valores destes parâmetros na U-Planta podem ser explicados por seu pH levemente mais ácido, devido à presença da macrófita, ocasionando maior lixiviação das partículas solúveis carregadas de íons do meio filtrante do que na U-Filtro, que não possuía planta.

Por fim, reitera-se a necessidade de se realizar mais estudos quanto à tratamentos alternativos de efluentes, seja com os WC ou filtros, principalmente envolvendo material filtrante alternativo e plantas comuns ao bioma do local da pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. ABNT **NBR 13817**: Placas cerâmicas para revestimento: classificação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. ABNT **NBR 13969**: Tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. ABNT **NBR 7211**: norma brasileira ABNT NBR 7211. Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL. **Lei 12.305, 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Acesso em: 25 de setembro. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. BRASIL.

BRASIL. Resolução n 357, 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção II. n.53, p. 58–63, 18 mar. 2005.

BRIX, H. Do macrophytes play a role in constructed wetlands? **Water Science and Technology**. England. v. 35, n. 5, p. 11-17, 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273122397000474>. Acesso em: 25 de setembro de 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº307, de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da União**: seção 1. Brasília, DF, n.136, v. 2015, p. 95–96, 17 jul. 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**: seção II, n.92, 16 maio. 2011.

FAXINA, R. R. C.; BERTOLINO, S. M.; AZEVEDO, L. C. B. Espécie de vereda na fitorremediação de efluente de uma central de processamento de alimentos vegetais. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)** [s.l.] p. 71–84, 2017. Acesso em: 25 de setembro. <https://doi.org/10.9771/gesta.v6i1.22206>

FAXINA, R. R. C.; GUIMARÃES, E. C.; BERTOLINO, S. M. **Qualidade dos sedimentos em áreas alagadas de veredas rurais e urbanas**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.10, n.4, p.261-272, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.0020>

FORGIARINI, Francisco Rossarolla; RIZZI, Elias Silveira. **Eficiência de diferentes macrófitas na remoção da matéria orgânica biodegradável em "wetland" construído de fluxo vertical em clima subtropical**. Ciência & Engenharia, v. 25, n. 2, p. 79-86, 2016.

G1. População mundial chegará a 9,7 bilhões em 2050, prevê ONU (18/06/2019).
Disponível em: <<https://g1.globo.com/mundo/noticia/2019/06/18/populacao-mundial-chegara-a-97-bilhoes-em-2050-preve-onu.ghtml>>. Acesso: 02 de outubro de 2020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação.** Disponível em:
<<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso: 01 de outubro de 2020 às 19:32.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. **Treatment Wetlands, 2nd Ed.** [s.l: s.n.], 2009. Acesso em: 25 de setembro de 2020. <https://doi.org/10.1201/9781420012514>

LEAL, J. S. G. **Wetland construído para tratamento de efluente secundário de condomínio empresarial, Uberlândia-MG.** 2019. 63 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2019. Acesso em: 5 de setembro. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.13166>

LEAL, J. S. G.; FAXINA, R. R. C.; SANTANA, I. A.; BERTOLINO, S. M. **Polimento de efluente secundário em wetland de fluxo vertical com resíduo de cerâmica.** Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.10, n.4, p.314-327, 2019. DOI:
<http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.00244>

MACHADO, A. I. et al. Overview of the state of the art of constructed wetlands for decentralized wastewater management in Brazil. **Journal of Environmental Management Academic Press.** v. 187, n. 1, p. 560-570, 2017. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716308921?via%3Dihub>. Acesso em: 25 de setembro de 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.015>

MARCELINO, Gabriela Ribeiro et al. **Desempenho de wetlands construídos preenchidos com resíduos da construção civil na remoção de matéria orgânica, ibuprofeno, paracetamol e etinilestradiol de esgotos sanitários.** 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MONTEIRO, R. C. D. M. **Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo “wetlands” para tratamento de água cinza visando o reuso não potável.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2009.

MOREIRA, Fátima M.S.; SIQUEIRA, José Oswaldo. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras, MG, Brasil: Editora UFLA, 626p, 2002.

OLIJNYK, D. P. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetlands) de fluxos vertical e horizontal – sistemas híbridos.** Dissertação. Departamento de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 112p. 2008.

RODRIGUES, M. V. C. **Wetland construído de fluxo vertical empregado no tratamento de esgoto de um restaurante universitário.** 2016. 97 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

- ROUSSO, B. Z. **Avaliação de um sistema híbrido de wetlands construídos empregados no tratamento de esgoto sanitário**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- SEZERINO, P. H. **Utilização de biofiltros com macrófitas (vertical constructed wetlands) como pós-tratamento de lagoas de estabilização aplicadas aos dejetos suínos**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002
- SILVA, S. C. **“Wetlands Construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- SILVA, Selma Cristina da; BERNARDES, Ricardo Silveira; RAMOS, Maria Lucrecia Gerosa. **Remoção de matéria orgânica do esgoto em solo de wetland construído**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 4, p. 533-542, 2015.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **PERDAS DE ÁGUA 2018 (SNIS 2016):** desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. São Paulo, 2018.
- SOUZA, Claudinei Fonseca et al. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. Rev. Ambient. Água, Taubaté, v. 10, n. 3, p. 587- 597, set. 2015.
- TRAVAINI-LIMA, Fernanda. **Capacidade de retenção e dinâmica de um wetland construído no tratamento de águas residuais**. 2011. XII, 123 f. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2011.
- TREIN, C. M. et al. **Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimento comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 351–367, 2015. Acesso 25 de setembro 2020.
- UBERLÂNDIA. (MG) Prefeitura. **Decreto no 13.481, de 22 de junho de 2012**. Uberlândia, MG,012.
- VENSKE, F. **Alagados construídos para tratamento de águas cinzas com meio suporte de resíduos de construção e demolição**. 2017, 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.
- VIEIRA, Samara Pereira; CAVALCANTI, Maria Gabriela da Silva; CAVALCANTI, Luiz Antônio Pimentel. **Redução de impactos ambientais pelo tratamento de águas cinzas: reduction of environmental impacts by treatment of gray water**. Brazilian Journal of Development. Curitiba-PR, p. 43258-43267, 01 jun. 2020. Mensal. Sem.

8. APENDICES

Apêndice 1: Dados dos parâmetros monitorados no sistema referentes ao período de julho a dezembro de 2020.

Fase	Tempo			pH			Condutividade($\mu\text{S}/\text{cm}$)			SD (mg/L)			Turbidez (FN)		
	Data	Dia	Semana	Aflu	Eflu U-Planta	Eflu U-Filtro	Aflu	Eflu U-Planta	Eflu U-Filtro	Aflu	Eflu U-Planta	Eflu U-Filtro	Aflu	Eflu U-Planta	Eflu U-Filtro
Fase 1	30/07/2020	1	1	5,60	6,90	8,76	245,00	696,67	384,00	122,67	348,67	191,67	13,47	0,00	0,00
	06/08/2020	8	2	5,60	7,26	8,07	250,75	663,00	602,50	125,75	331,67	302,00	7,33	0,00	0,67
	13/08/2020	15	3	5,48	6,97	5,46	241,33	718,00	500,67	120,67	359,00	250,33	15,53	0,00	0,00
	20/08/2020	22	4	5,51	6,83	8,35	245,00	751,33	492,33	123,00	376,00	246,33	15,50	0,00	0,00
	27/08/2020	29	5	5,43	6,65	8,06	244,00	771,33	494,67	122,00	385,67	247,33	11,50	0,00	0,67
	03/09/2020	36	6	5,95	6,76	7,95	161,79	755,67	504,67	120,33	394,67	252,00	12,60	0,00	0,37
	10/09/2020	43	7	6,67	6,99	6,65	234,67	743,33	527,33	117,33	372,00	263,67	10,52	0,00	0,00
	17/09/2020	50	8	6,27	7,23	6,95	240,67	818,00	540,00	120,00	409,00	269,67	15,30	0,00	0,00
	24/09/2020	57	9	6,40	6,73	7,45	231,00	778,33	548,00	115,67	389,00	274,00	10,20	0,00	0,00
	01/10/2020	64	10	6,10	7,24	7,46	245,00	727,00	534,67	122,67	363,00	267,00	10,70	0,00	0,00
	08/10/2020	71	11	6,90	6,69	7,99	237,00	838,00	580,33	118,67	419,00	272,67	14,43	0,00	0,00
	15/10/2020	78	12	6,18	6,66	8,48	239,00	879,67	550,00	119,67	439,67	274,67	11,20	0,00	0,00
	23/10/2020	86	13	5,03	5,87	7,34	242,11	721,67	585,00	126,67	360,67	292,67	12,37	0,80	1,93
Fase 2	30/10/2020	93	14	5,84	6,08	6,61	254,00	596,33	527,67	127,00	298,00	263,67	17,27	0,97	0,60
	06/11/2020	100	15	5,72	6,42	7,77	265,33	637,67	446,00	132,67	319,00	223,33	18,90	0,70	3,70
	13/11/2020	107	16	5,85	6,37	7,38	255,33	581,33	412,33	127,67	291,00	206,67	16,10	1,53	3,47
	20/11/2020	114	17	6,14	6,56	7,15	251,33	550,00	407,33	125,33	275,00	203,67	18,50	1,03	7,00
	27/11/2020	121	18	6,47	6,64	7,14	253,00	619,50	374,67	126,67	310,00	187,00	22,73	2,50	5,80
	04/12/2020	128	19	6,57	6,45	7,12	254,67	618,67	371,33	127,67	309,33	185,67	22,93	1,17	6,70
	11/12/2020	135	20	6,37	6,27	7,14	279,67	547,33	426,33	139,67	273,67	237,00	22,50	3,93	7,23
	18/12/2020	142	21	6,60	6,30	7,01	192,33	636,00	488,67	96,00	318,00	257,67	13,27	4,20	2,80

Apêndice 2: Estatística descritiva dos parâmetros monitorados no sistema referente ao período de julho a dezembro de 2020.

Fase	Estatística descritiva	pH			Condutividade(μ S/cm)			SD (mg/L)			Turbidez (FN)		
		Aflu	Eflu U-Planta	Eflu U-Filtro	Aflu	Eflu U-Planta	Eflu U-Filtro	Aflu	Eflu U-Planta	Eflu U-Filtro	Aflu	Eflu U-Planta	Eflu U-Filtro
Geral	Mínimo	5,0	5,9	5,5	161,8	547,3	371,3	96,0	273,7	185,7	7,3	0,0	0,0
	Máximo	6,9	7,3	8,8	279,7	879,7	602,5	139,7	439,7	302,0	22,9	4,2	7,2
	Média	6,0	6,7	7,4	241,1	697,6	490,4	122,8	349,6	246,1	14,9	0,8	1,9
	Mediana	6,1	6,7	7,4	245,0	718,0	500,7	122,7	359,0	252,0	14,4	0,0	0,6
	Média geométrica	6,0	6,7	7,4	239,7	691,4	485,2	122,5	346,5	243,7	14,3		
	Coefficiente de variação	0,08	0,06	0,10	0,10	0,14	0,15	0,07	0,14	0,14	0,29	1,60	1,35
	Desvio Padrão	0,5	0,4	0,7	24,3	94,5	71,4	8,2	47,9	34,2	4,4	1,3	2,6
	Média-desvio padrão	5,5	6,3	6,7	216,7	603,1	419,0	114,6	301,8	211,9	10,5	-0,5	-0,7
	Média+ desvio padrão	6,5	7,0	8,2	265,4	792,1	561,8	130,9	397,5	280,4	19,2	2,1	4,6
Fase 1	Mínimo	5,0	5,9	5,5	161,8	663,0	384,0	115,7	331,7	191,7	7,3	0,0	0,0
	Máximo	6,9	7,3	8,8	250,8	879,7	602,5	126,7	439,7	302,0	15,5	0,8	1,9
	Média	5,9	6,8	7,6	235,2	758,6	526,5	121,2	380,6	261,8	12,4	0,1	0,3
	Mediana	6,0	6,8	8,0	241,3	751,3	534,7	120,7	376,0	267,0	12,4	0,0	0,0
	Média geométrica	5,9	6,8	7,6	233,9	756,5	523,5	121,1	379,5	260,4	12,1		
	Coefficiente de variação	0,09	0,05	0,12	0,10	0,08	0,11	0,03	0,08	0,10	0,20	3,61	2,00
	Desvio Padrão	0,5	0,4	0,9	22,6	59,4	55,5	3,1	29,9	26,9	2,5	0,2	0,6
	Média-desvio padrão	6,5	7,2	8,5	257,8	818,0	582,0	124,3	410,5	288,8	14,8	0,3	0,8
	Média+ desvio padrão	5,4	6,5	6,7	212,5	699,2	471,0	118,1	350,7	234,9	9,9	-0,2	-0,3
Fase 2	Mínimo	5,7	6,1	6,6	192,3	547,3	371,3	96,0	273,7	185,7	13,3	0,7	0,6
	Máximo	6,6	6,6	7,8	279,7	637,7	527,7	139,7	319,0	263,7	22,9	4,2	7,2
	Média	6,2	6,4	7,2	250,7	598,4	431,8	125,3	299,3	220,6	19,0	2,0	4,7
	Mediana	6,3	6,4	7,1	254,3	607,5	419,3	127,3	303,7	215,0	18,7	1,4	4,8
	Média geométrica	6,2	6,4	7,2	249,4	597,4	428,9	124,7	298,8	218,8	18,7	1,6	3,8
	Coefficiente de variação	0,06	0,03	0,05	0,10	0,06	0,13	0,10	0,06	0,14	0,18	0,69	0,51
	Desvio Padrão	0,4	0,2	0,3	25,4	36,0	54,2	12,7	18,0	30,1	3,5	1,4	2,4
	Média-desvio padrão	6,6	6,6	7,5	276,1	634,3	486,0	138,1	317,3	250,7	22,5	3,4	7,0
	Média+ desvio padrão	5,8	6,2	6,8	225,3	562,4	377,6	112,6	281,2	190,5	15,5	0,6	2,3

Apêndice 3: Dados de concentração da DQO total e filtrada monitorados no sistema referentes ao período de julho a novembro de 2020.

Fase	Tempo			DQO Total (mg/L)			DQO Filtrada (mg/L)		
	Data	Dia	Semana	Afluente	Efluente U- Planta	Efluente U- Filtro	Afluente	Efluente U- Planta	Efluente U- Filtro
Fase 1	02/07/2020	1	1	72	172	118	53	64	78
	09/07/2020	8	2	92	84	98	94	93	70
	16/07/2020	15	3	110	89	113	55	61	53
	23/07/2020	22	4	107	96	92	85	106	87
	30/07/2020	29	5	89	129	120	99	77	76
	06/08/2020	36	6	84	111	105	64	112	77
	13/08/2020	43	7	94	125	126	87	108	108
	20/08/2020	50	8	102	113	121	81	97	100
	27/08/2020	57	9	108	138	108	77	120	98
	03/09/2020	64	10	87	165	146	60	69	76
	10/09/2020	71	11	120	143	137	82	119	100
	17/09/2020	78	12	87	189	256	77	108	73
	01/10/2020	92	14	148	160	114	84	115	119
	08/10/2020	99	15	90	134	81	85	100	84
	15/10/2020	106	16	79	78	70	70	84	74
23/10/2020	114	17	80	61	63	65	60	71	
Fase 2	30/10/2020	121	18	393	248	219	324	135	139
	06/11/2020	128	19	246	144	78	233	58	43
	13/11/2020	135	20	286	143	104	255	78	93
	20/11/2020	142	21	278	69	81	286	70	115
	27/11/2020	149	22	318	131	119	289	88	68

Apêndice 4: Estatística descritiva da DQO total e filtrada referente ao período de julho a novembro de 2020.

Fase	Estatística descritiva	DQO Total (mg/L)			DQO Filtrada (mg/L)		
		Afluente	Efluente U- Planta	Efluente U- Filtro	Afluente	Efluente U- Planta	Efluente U- Filtro
Geral	Mínimo	72	61	63	53	58	43
	Máximo	393	248	256	324	135	139
	Média	146	130	118	124	91	86
	Mediana	102	131	113	84	93	78
	Média geométrica	125	123	111	102	89	83
	Coefficiente de variação	0,65	0,34	0,39	0,72	0,25	0,26
	Desvio Padrão	95	44	46	90	23	23
	Média-desvio padrão	51	86	72	34	69	63
	Média+ desvio padrão	241	174	163	214	114	108
	Fase 1	Mínimo	72	61	63	53	60
Máximo		148	189	256	99	120	119
Média		97	124	117	76	93	84
Mediana		91	127	113	79	98	78
Média geométrica		95	119	111	75	91	83
Coefficiente de variação		0,19	0,30	0,37	0,18	0,23	0,20
Desvio Padrão		19	37	43	14	21	17
Média-desvio padrão		115	161	160	90	114	101
Média+ desvio padrão		78	88	73	63	72	67
Fase 2		Mínimo	246	69	78	233	58
	Máximo	393	248	219	324	135	139
	Média	304	147	120	277	86	91
	Mediana	286	143	104	286	78	93
	Média geométrica	300	136	111	275	82	84
	Coefficiente de variação	0,18	0,44	0,48	0,13	0,35	0,42
	Desvio Padrão	56	64	58	35	30	38
	Média-desvio padrão	360	211	178	312	115	129
	Média+ desvio padrão	248	83	62	242	56	53