

6^o SSSS

Simpósio sobre Sistemas Sustentáveis

ANAIS

- VOLUME 2 -
ARTIGOS COMPLETOS

Tratamento de Água e Efluentes

Organizadores

Prof. Dr. Cristiano Poletto – UFRGS (Presidente)

Prof.^a Dr.^a Cristhiane Michiko Passos Okawa – UEM

Prof. Dr. Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves – UFTM

ANAIS do 6º SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS

- VOLUME 2 -

Tratamento de Água e Efluentes

Copyright © 2021, by Editora GFM.

Direitos Reservados em 2021 por **Editora GFM.**

Editoração: Cristiano Poletto

Organização Geral da Obra: Cristiano Poletto; Cristhiane Michiko
Passos Okawa; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves

Diagramação: Juliane Fagotti

Revisão Geral: Espaço Histórico e Ambiental

Capa: Juliane Fagotti

CIP-Brasil. Catalogação na Fonte

Cristiano Poletto; Cristhiane Michiko Passos Okawa; Julio Cesar de Souza Inácio
Gonçalves (Organizadores)

ANAIS do 6º SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS – Volume 2 –
Artigos Completos – Tratamento de Águas e Efluentes / Cristiano Poletto; Cristhiane
Michiko Passos Okawa; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves (Organizadores) –
Toledo, PR: Editora GFM, 2021.

277p.: il.;

ISBN 978-65-87570-16-7

CDU 333.72

***É AUTORIZADA a livre reprodução, total ou parcial, por quaisquer meios,
sem autorização por escrito da Editora ou dos Organizadores.***

WETLAND CONSTRUÍDO DE BANCADA PARA TRATAMENTO DE ESGOTO SINTÉTICO

| ID 19401 |

1Mikaele Silva Kuriki, 2 Francisco Lledo dos Santos, 3Isabela Naia Talhacoli, 4 Cristiano Poletto

1Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail:mikaelekuriki@gmail.com; 2Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: franciscolledo@unemat.br; 3 Universidade do Estado de Mato Grosso, e-mail: isabelanaia@outlook.com; 4 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: cristiano.poletto@ufrgs.br

Palavras-chave: Wetland; tratamento de esgoto.

Resumo

Atualmente, diversas tecnologias de tratamento dos recursos hídricos destinados à recuperação e manutenção das características químicas, físicas e biológicas têm sido difundidos. Nos últimos 20 anos elevou-se o interesse e potencial dos estudos quanto aos sistemas biológicos naturais para auxiliar na purificação das águas (ALMEIDA et al., 2005). Wetland construído é uma tecnologia de tratamento de águas residuárias, recuperação de habitats degradados, além do controle de enchentes em áreas alagadas que se fundamenta em processos vistos em ecossistemas naturais, ou seja, são um aprimoramento de processos que acontecem no meio ambiente, como exemplo, os pântanos, brejos e mangues (ZANELLA, 2008). De modo geral, esses sistemas são utilizados para o tratamento dos mais variados tipos de efluentes, tais como os esgotos domésticos, tanto em nível secundário como terciário, água da chuva, efluentes industriais e tratamento de chorume (SCHARF et al., 2006). O sistema possui vantagens como o baixo custo de implantação, operação e manutenção, quando comparado aos convencionais. Além disso, o Brasil é um dos países que desfruta de condições climáticas e ambientais adequadas para wetlands construídos. Outro ponto relevante diz respeito ao país possuir déficit no tratamento de águas residuárias (VALENTIM, 2003). Os sistemas de wetlands construídos possuem resultados eficazes na remoção de orgânicos e sólidos em suspensão, e ainda permite a remoção de nitrogênio, que pode ser maximizada pela combinação de vários tipos de wetlands (CUNHA et al., 2009). É estimado que no Brasil em torno de 54,1% da população total possui atendimento por rede de esgoto e apenas 49,1% dos esgotos

gerados no país passam por algum processo de tratamento (SNIS, 2019). Nesse contexto, é necessário que tecnologias alternativas sejam implantadas, a fim de mitigar as dificuldades que o setor de saneamento básico enfrenta. É fundamental a escolha de um sistema adequado para o tratamento de efluente, sobretudo em estados como o de Mato Grosso que ainda possui uma ampla área que necessita de atendimento. Os Wetlands Construídos têm se mostrado versáteis e eficientes na redução de elementos como Sólidos em Suspensão, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total, Nitrato e Nitrito. A remoção desses poluentes se dá através de mecanismos de filtração, adsorção, sedimentação, decomposição, metabolismo microbiano e do metabolismo das plantas aquáticas. O presente trabalho tem o objetivo de verificar a eficiência de um Wetland Construído de bancada para o tratamento de esgoto sintético. O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Ictiologia do Pantanal Norte - LIPAN da Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT, Campus Jane Vanini no município de Cáceres. O sistema de wetland construído de bancada foi desenvolvido para o tratamento de esgoto sintético, produzido no laboratório. O experimento é composto por três sistemas em série, onde cada sistema é composto por um WC sem saturação (F1A, F2A e F3A), estes ficam na parte superior da bancada do laboratório, e por um segundo WC (F1B, F2B, F3B), com saturação que fica na parte inferior da bancada. Ainda foram desenvolvidos sistemas com a presença de macrófitas (*Cyperus alternifolius*) (FM1B, FM2B e FM3B), implantadas apenas nos sistemas com saturação, para comparação entre eles. Nesse sentido, verificou-se que o esgoto sintético obteve redução significativa nos parâmetros de DQO (71,74%), DBO (29,09%), Nitrogênio Amoniacal (87,15%), Fósforo Total (88,77%), Nitrato (82,85%), Nitrito (76,71%) e Sólidos Suspensos Totais (94,02%), após sua percolação pelo sistema de WC. Constatou-se, que houve melhora dos parâmetros de Sólidos em Suspensão, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total, Nitrato e Nitrito. O parâmetro em que houve redução menos significativa no sistema foi o de DBO, não ocorrendo diferenças significativas entre os sistemas sem e com macrófitas. Portanto, os sistemas alternativos estudados demonstraram viabilidade para o tratamento de esgoto, apresentando-se como uma alternativa promissora para o tratamento de efluentes, a fim de colaborar com a maior abrangência do tratamento de esgoto nas comunidades.

Introdução

O saneamento básico é fundamental para proporcionar qualidade de vida às populações. Nesse sentido, a coleta e tratamento dos esgotos gerados devem ser prioridade, a fim de se neutralizar ou

pelo menos mitigar danos à população e ao ambiente. Efluentes não tratados são poluentes dos ecossistemas aquáticos, causando problemas de contaminação principalmente por meio de organismos patogênicos ou acúmulo de sedimentos, por exemplo. Dessa forma, surge a necessidade de um tratamento prévio para que esses efluentes sejam lançados nos corpos hídricos.

Os wetlands são sistemas construídos que auxiliam na melhoria da qualidade da água, por meio de mecanismos biológicos, químicos e físicos, exemplo disso, são os processos que podem ocorrer no sistema, onde as raízes e caules das plantas, possuem a capacidade de filtrar componentes incomuns inseridos no meio, como metais pesados e troca e adsorção de íons no meio aquoso. Esse ambiente serve de habitat para populações de bactérias, e estas contribuem na diminuição da DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio. As águas sem movimentos turbulentos proporcionam a sedimentação de sólidos suspensos e as plantas aquáticas amenizam as intempéries do microclima, como temperatura, insolação e ventos (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1998). Observa-se, que o pantanal, com suas áreas alagadas, pode ser denominado um wetland natural.

Surge então a proposição de Wetlands Construídos, sistemas que podem tratar vários tipos de efluentes, como esgotos domésticos, águas pluviais, efluentes de aterros sanitários e industriais (ORMONDE, 2012). A ampliação das pesquisas tem o intuito de identificar e aprimorar a função de cada componente que atua no tratamento, tais como o material filtrante, o fluxo empregado, as macrófitas, máximos carregamentos afluentes, depuração, transferência de oxigênio, estrutura de formação do biofilme e a vida útil do sistema (SEZERINO, 2006).

Mesmo com o aumento de pesquisas nessa área, o conhecimento sobre Wetlands Construídos ainda se encontra fragmentado e com pouca padronização, principalmente na região de estudo pretendida (Pantanal Matogrossense). Assim, o objetivo do presente estudo é avaliar o comportamento de um Wetland Construído (WC) de bancada para tratamento de esgoto sintético e proposição de padronização para sua aplicabilidade, através de um Procedimento Operacional Padrão – POP.

Revisão bibliográfica

Wetland Construído de Escoamento Vertical

No Wetland Construído de escoamento vertical, o efluente circula de modo intermitente e vai sendo gradativamente drenado verticalmente de maneira descendente ou ascendente por meio do leito filtrante (Figura 1). Essa forma de aplicação intermitente possibilita uma elevada transferência de oxigênio atmosférico para o substrato, sendo suficiente para a nitrificação e para a degradação da matéria orgânica (ROSSEAU et al., 2002).

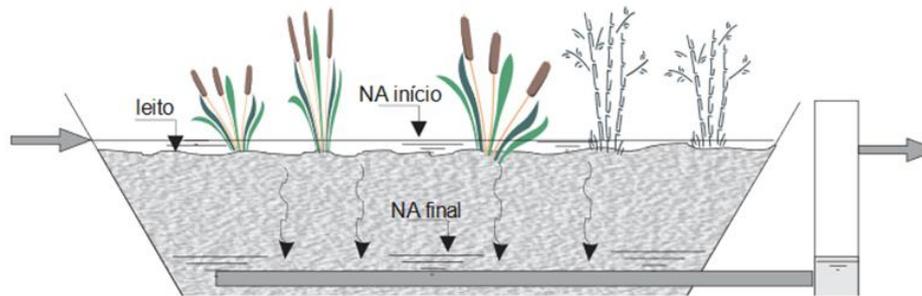


Figura 1: Wetland Construído de escoamento vertical

Fonte: Von Sperling (2014)

Esse sistema é um típico filtro de areia, cascalho ou brita, plantado com vegetação. O fundo do meio filtrante possui uma série de dutos que coletam os efluentes tratados. Sua operação se dá por meio de ciclos com bateladas de dosagem e drenagem, se diferenciando da operação dos sistemas de escoamento horizontal que possuem alimentação contínua. Como a dosagem é intermitente, o escoamento geralmente é em meio não saturado hidráulicamente. Posteriormente a passagem do líquido, os poros são ocupados de ar, facilitando a manutenção de condições aeróbias. A alimentação é alternada entre leitos com unidades em operação e em descanso (VON SPERLING, 2014).

O modo de aplicação intermitente do efluente permite grande arraste de ar para os interstícios do maciço filtrante. Essa quantidade pode ser suficiente para possibilitar a remoção de matéria orgânica e nitrificação (COOPER et al., 1996). De acordo com a Associação Internacional das Águas (IWA) (2000), nessa situação, o oxigênio arrastado pela atmosfera é maior do que o que está presente na zona aérea das raízes, sendo um fator relevante no balanço de oxigênio, necessário à manutenção das condições aeróbias para a nitrificação e oxidação da matéria orgânica.

Devido à potencialidade da aderência de nitrificantes no maciço e a uma entrada de oxigênio maior que a demanda de conversão da matéria carbonácea, os wetlands construídos de fluxo vertical têm sido aplicados para a remoção de sólidos suspensos, realização da nitrificação e remoção de DBO (PHILIPPI e SEZERINO, 2004). Um estudo realizado por KANTAWANICHKUL et al. (1999) na Tailândia com esse sistema em escala laboratorial demonstrou que pode-se alcançar uma eficiência de DQO de 90%, todavia, com o aumento simultâneo das cargas hidráulicas e orgânicas, a eficiência tende a reduzir.

Uma variação importante conhecida como Sistema Francês foi desenvolvida pelo Instituto Cemagref/Irstea, da França, esse tipo de sistema recebe esgoto bruto, sendo compostos por 2 estágios em série. O primeiro estágio possui três unidades em paralelo e o segundo estágio possui

duas unidades em paralelo, tendo uma forma particular de operação, onde ocorre a alternância dos leitos em alimentação e descanso, e alimentação dos esgotos em pulsos. No primeiro estágio o objetivo principal é a remoção da matéria orgânica e dos sólidos em suspensão, além da remoção parcial da amônia por nitrificação. No segundo estágio há a remoção complementar da amônia (VON SPERLING, 2014).

Rodrigues (2016) enfatiza que no estágio primário cada unidade recebe a carga orgânica total do afluente dobro do tempo desse período, com alternância, pois enquanto um recebe a alimentação os outros estão em fase de descanso. Com a alternância de fases é possível perceber a importância do crescimento da biomassa que auxilia na manutenção das condições aeróbias e da mineralização dos depósitos orgânicos que provém dos sólidos em suspensão, facilitando o gerenciamento do lodo gerado. O segundo estágio recebe um efluente com uma carga orgânica menor para finalizar o tratamento, em particular, a nitrificação (LIENARD et al., 1990).

Esse tipo de sistema geralmente é composto por brita para que não ocorra entupimento. Sua eficiência de remoção no decorrer da fase de alimentação, que dura de 3 a 4 dias, depois a fase de descanso pode durar até o de matéria orgânica gira em torno de 80% e a de nitrificação chega a 85% (WECF, 2011; MOLLE, 2005). Porém, a desnitrificação alcança patamar de até 50% apenas, fazendo com que o sistema tenha uma limitação quanto a remoção de nitrogênio total. Para contornar essa dificuldade, cria-se um leito parcialmente saturado no sistema que proporciona uma zona anóxica para a desnitrificação (SILVEIRA, 2015).

Remoção de Poluentes nos Wetlands Construídos

Existem alguns processos importantes que ocorrem nos wetlands construídos, eles podem ser abióticos (físicos e químicos) ou bióticos (realizados por microrganismos e plantas). Os Wcs são capazes de remover os sólidos em suspensão nos efluentes, por meio da sedimentação. O processo químico que permite essa retenção de contaminantes a curto ou longo prazo é o processo de sorção, que combina processos de absorção e adsorção (ITRC, 2003).

Já a remoção biológica, como exemplo, a biodegradação e absorção pelas plantas podem ser considerados os processos mais relevantes para a remoção de contaminantes. Os mecanismos envolvidos são: a respiração microbiana aeróbia, absorção pelas plantas, reações enzimáticas intra e extracelulares, predação microbiana e fermentação microbiana anaeróbia. A maior parte das transformações químicas dos poluentes acontece nas águas, detritos e zonas de solo/raízes, sendo o resultado da elevada atividade microbiana.

A produção de sólidos suspensos, nos wetlands, acontece devido à morte de invertebrados, crescimento de microrganismos anexados ao leito e a superfície das plantas e a fragmentação de

detritos de plantas. Há relativa efetividade dos WCs na remoção de sólidos suspensos, devido à baixa velocidade do fluxo e a alta área superficial no leito do sistema (TONIATO, 2005).

Conforme Akinbile et al. (2012), existe uma redução significativa da concentração de sólidos suspensos em leitos com baixo tempo de detenção hidráulica, mas quando esse tempo aumenta a diferença na concentração de sólidos suspensos totais no efluente e afluente se tornam insignificantes por causa da remobilização desses sólidos.

A decomposição microbiana aeróbia e anaeróbia são importantes para remoção dos compostos orgânicos, todavia, existem outros processos que podem ter essa função, como a absorção pelas plantas, volatilização, hidrólise química, sorção e enterramento no solo (REDDY; D'ANGELO, 1997). A biodegradação de materiais orgânicos está relacionada, principalmente, com a ação das bactérias heterotróficas e certas bactérias autotróficas, fungos incluindo leveduras e protozoários específicos (DORDIO; CARVALHO, 2013).

O nitrogênio (N) é um nutriente que pode ser removido através de absorção pelas plantas do sistema, pela transformação dos compostos de nitrogênio. O íon amônio e nitrato absorvido pelas plantas são armazenados na forma orgânica na vegetação dos WCs. O pH tem influência relevante sobre a remoção de nitrogênio. Valores acima de 8,5 e menores que 5,8 podem inibir os processos de nitrificação. Já a volatilização da amônia é geralmente irrisória quando os valores de pH estão abaixo de 7,5 – 8,0. A faixa adequada de pH para a amonificação é entre 6,5 e 8,5 (SAEED; SUN, 2012).

Quanto a remoção de fósforo (P) nos WCs, ela ocorre por meio de adsorção, absorção pelas plantas e precipitação. Todavia, os materiais filtrantes como cascalho e pedra britada não promovem uma alta capacidade de sorção, para melhorar a remoção é preciso selecionar materiais com elevada capacidade de adsorção de fósforo, e isto depende das propriedades físicas e químicas. Esses materiais podem incluir minerais com hidróxidos ou grupo de óxidos de ferro e alumínio reativo sobre as suas superfícies e ainda materiais calcários que promovem a precipitação de Ca-fosfato (VYMAZAL, 2014).

Estudos desenvolvidos por Zangh et al. (2009) compararam a capacidade de remoção de fósforo e nitrogênio em sistemas de wetlands construídos para tratamento de fluentes domésticos na China, com diferentes configurações, concentrações de nutriente dos efluentes, tempo de retenção e cargas hidráulicas, constatando-se que a eficiência de remoção para nitrogênio total variou entre 44% e 56% e para fósforo total variou entre 53% e 80%. Os valores mais altos foram verificados em sistemas híbridos, combinado por estágios em séries de Wcs. Os sistemas híbridos são mais semelhantes ao sistema natural em suas características, cuja taxa de ciclagem de nutrientes é superior à de wetlands construídos.

A matéria carbonácea que está presente nos esgotos, geralmente medida e quantificada em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), é na maior parte, degradada aerobiamente (na presença de oxigênio dissolvido) por microrganismos, principalmente bactérias. A degradação anaeróbia (ausência de oxigênio dissolvido) também ocorre, e é reportada em sistemas saturados de água/esgoto. Resultados de experimentos, tanto em escala real quanto em escala piloto, demonstraram que wetlands construídos verticais com alimentação intermitente e alternância de alimentação com períodos de repouso, conseguem remover elevadas quantidades de DBO e amônia, por meio da oxigenação adequada do leito filtrante (PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

Remoção de Organismos Patogênicos / Coliformes

Os mecanismos/fatores que são determinantes na remoção de organismos patogênicos em wetlands construídos são: retenção nas raízes das plantas e no biofilme, temperatura, adsorção à matéria orgânica, competição, predação e morte natural e radiação solar (CALIJURI et al., 2009). Os mecanismos de maior predomínio podem variar, dependendo da configuração do sistema, das características da água residuária, do clima local e do regime hidráulico aplicado (WU et al., 2016).

Segundo Hoffman et al. (2011) a retirada de organismos patogênicos depende do tempo de detenção hidráulica e do tipo de material filtrante, sendo que os wetlands construídos de fluxo horizontal (devido ao maior tempo de detenção hidráulica) são geralmente mais eficientes do que os wetlands construídos de fluxo vertical e a areia é sempre mais eficiente que a brita.

Nos wetlands construídos de fluxo vertical, as maiores eficiência de remoção de patógenos foram encontradas nos sistemas operados com maiores tempos de detenção hidráulica (TORRENS et al., 2009b). Pesquisas têm mostrado que esse tipo de sistema apresenta como vantagem a presença de oxigênio no meio filtrante, contribuindo na remoção de bactérias do grupo coliformes (HEADLEY et al., 2013; WINWARD et al., 2008).

No monitoramento de estação de tratamento de efluente, o uso de organismos indicadores de contaminação fecal, como coliformes totais e *Escherichia coli*, é bastante útil, principalmente devido à dificuldade de detecção de organismos patogênicos (dentre eles alguns tipos de vírus, bactérias e protozoários), os quais geralmente estão presentes em baixas concentrações na água/esgoto (VON SPERLING, 2005).

Materiais e Métodos

O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Ictiologia do Pantanal Norte - LIPAN da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Campus Jane Vanini no município de Cáceres.

O sistema de wetland construído de bancada foi desenvolvido para o tratamento de esgoto sintético, produzido no laboratório. O experimento é composto por três sistemas em série, onde cada sistema é composto por um WC sem saturação (F1A, F2A e F3A), estes ficam na parte superior da bancada do laboratório, e por um segundo WC (F1B, F2B, F3B), com saturação que fica na parte inferior da bancada. Ainda foram desenvolvidos sistemas com a presença de macrófitas (*Cyperus alternifolius*) (FM1B, FM2B e FM3B), implantadas apenas nos sistemas com saturação, para comparação entre eles (Figura 2).



Figura 2: Sistemas de WC em série, sendo a) sistema A1, b) sistema A2 e c) sistema A3

Fonte: Autores (2021)

Dimensionamento das Unidades de Tratamento

Os sistemas de wetland construídos de bancada foram dimensionados conforme metodologia empregada por Sezerino & Philippi (2003), para isso foram utilizados 6 bombonas plásticas de 50

litros, reproduzindo 3 sistemas de WC, com dimensões de 0,39 m de largura por 0,32 m de comprimento e 0,55 m de altura (Figura 3).



Figura 3: Bombonas com dimensões de 0,39x0,32x0,55 m

Fonte: Autores (2021)

Para o experimento foi reproduzido esgoto sintético, nesse sentido, levou-se em consideração análises do esgoto tratado na ETE do município de Tangará da Serra – MT. Considerando que almeja-se alcançar polimento da WC, foi adotado a vazão de 10 litros por dia, com fundamentação nos estudos de Sezerino & Philippi (2003), como resultante dos cálculos chegou-se ao valor de $16\text{g/m}^2\text{d}$ que está adequado, visto que o valor máximo permitido para a carga é de $20\text{g/m}^2\text{d}$.

Esgoto Sintético

A composição básica do esgoto sintético foi adaptada de Torres (1992) e de Araújo (2014), conforme tabela 1.

Tabela 1: Composição Orgânica dos Componentes

FRAÇÃO ORGÂNICA	PERCENTAGEM DA DQO (%)
Proteínas	21
Carboidratos	47
Lipídeos	36

Fonte: Autores (2021)

A composição do substrato sintético para a produção de 5 litros de esgoto com uma DQO de 500 mgO₂/L são apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Composição do Substrato Sintético

COMPOSTOS ORGÂNICOS	CONCENTRAÇÃO
Extrato de Soja	6,20 g
Sacarose	1,40 g
Amido comercial	2,20 g
Óleo vegetal	1,00 ml
Detergente	2,00 g
Bicarbonato de sódio	4,00 g

Fonte: Adaptado de Torres (1992) e Araújo (2014)

O esgoto sintético era preparado todos os dias, sendo produzidos 5 litros de esgoto sintético no período da manhã (7 horas) e 5 litros no período da tarde (17 horas) para cada sistema de WC, totalizando uma produção de 15 litros por turno, respectivamente 30 litros por dia para promover a alimentação dos sistemas.

Assim, sempre colocava-se o esgoto nos sistemas F1A, F2A e F3A de cada conjunto de bombonas, realizava-se a coleta e o restante do efluente passava pelos sistemas (F1B, F2B, F3B). Posteriormente foram implantadas as macrófitas nos sistemas (FM1B, FM2B e FM3B) que ficavam na parte inferior da bancada.

A alimentação ocorreu desde o dia 26 de agosto (exceto finais de semana e feriados). As amostras eram coletadas de 10 em 10 horas e armazenadas em recipientes com nome da amostra, data da coleta e então armazenadas em ambiente com refrigeração até o momento de sua análise, para que as características dos efluentes fossem preservadas sem comprometer a eficiência de seus resultados (Figura 4).



Figura 4: Amostras coletadas no dia 1º de setembro

Fonte: Autores (2021)

Etapas da Construção do WC de Bancada

Na Figura 5 são apresentadas as etapas da montagem do Wetland Construído de bancada. A primeira fase consistiu em cortar a tampa da bombona, seu corte foi feito com maquina, posteriormente cortou-se os canos PVC para esgoto de 25 mm de diâmetro em pedaços de 25 cm e então foram feitos orifícios com o uso de furadeira com broca de 10 mm na tubulação com espaçamentos de 5 em 5 cm, no formato de T (junção da tubulação realizada com “tê” de 25 mm).

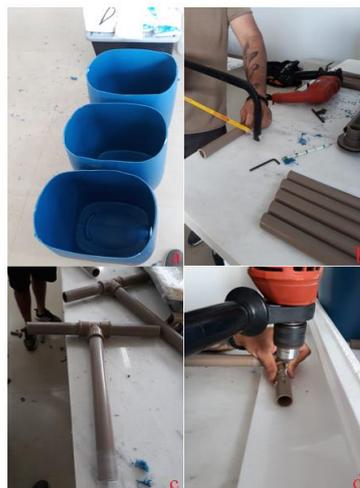


Figura 5: a) Corte da tampa da bombona; b) Corte de cano PVC; c) Ligação em T da tubulação; Furos com espaçamento de 5 cm na tubulação

Fonte: Autores (2021)

Após as bombonas estarem com a tubulação e as torneiras instaladas, foram incorporados ao sistema a primeira camada de 20 cm com brita número 1, a segunda camada com 5 cm de pó de pedra peneirado (Figura 6) e a terceira camada de 10 cm com areia média (Figura 7).



Figura 6: Camada de brita nº 1 e pó de pedra peneirado
Fonte: Autores (2021)



Figura 7: Camada de areia média
Fonte: Autores (2021)

A implementação das macrófitas ocorreu na segunda fase do experimento (Figura 8), no dia 24 de setembro de 2020, elas foram introduzidas há 10 cm na camada de areia. Foram plantadas 3 mudas de macrófitas nos sistemas, então denominados (FM1B, FM2B e FM3B). As coletas após a implantação das macrófitas ocorreram do dia 25 de setembro ao dia 1º de outubro



Figura 08: a) Sistemas com as macrófitas aquáticas; b) Sistemas com as macrófitas aquáticas

Fonte: Autores (2021)

Análises das variáveis físico-químicas e estatísticas

Quanto as análises físico-químicas, foram analisados os parâmetros de nitrogênio amoniacal, fósforo total, nitrato, nitrito, DBO, DQO e sólidos suspensos totais. As análises foram baseadas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (2005).

Para a comparação dos valores dos parâmetros físico-químicos analisados entre sistemas e apresentação dos dados, realizou-se análises de variância de uma via (ONE-WAY ANOVA), seguido do teste Post Hoc de Tukey. Os resultados obtidos foram plotados em gráficos de caixa (box-plot) para melhor entendimento. A significância foi estimada em 5%, todos os preceitos de homoscedasticidade e normalidade dos dados foram aferidos.

Resultados e Discussão

Demanda química de oxigênio

Após o esgoto sintético passar pelo sistema de WC houve uma redução significativa de DQO nos WC, onde em F1A, F2A e F3A ocorreu reduções de 57,08%, 58,31% e 58,40% respectivamente. Posteriormente ao passar pelos sistemas F1B, F2B e F3B houve melhoria nos resultados de 71,37%, 71,74% e 71,55% e nos filtros com macrófitas FM1B, FM2B e FM3B a remoção foi de 71,73%, 71,56% e 70,83%, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Resultado das análises de DQO

Parâmetro estatístico	Afluente	Efluentes								
		F1A	F2A	F3A	F1B	F2B	F3B	FM1B	FM2B	FM3B
DQO										
Média	205,23	90,82	88,86	89,97	60,95	60,89	60,45	60,12	60,83	61,71
Mínimo	205,10	86,51	85,57	85,40	58,77	58,01	58,40	58,02	58,37	59,62
Máximo	205,30	92,52	90,83	93,10	63,52	64,03	64,15	63,72	62,95	64,03
Desvio Padrão	0,09	1,94	1,81	2,32	1,37	1,88	1,80	1,57	1,44	1,44
Porcentagem de Eficiência		57,08%	58,31%	58,40%	71,37%	71,74%	71,55%	71,73%	71,56%	70,83%

Fonte: Autores (2021)

Demanda bioquímica de oxigênio

Em F1A, F2A e F3A a eficiência foi de 22,66%, 22,57% e 21,05% respectivamente, conforme apresentado na Tabela 4. Em F1B, F2B e F3B a redução foi de 27,87%, 29,09% e 29,04%, sugerindo-se aumento reduzido de eficiência, quanto aos sistemas sem saturação. E nos sistemas com macrófita não houve aumento redução quanto aos filtros F1B, F2B e F3B. Assim, os resultados em FM1B, FM2B e FM3B foi de 27,70%, 27,41% e 27,22%.

Tabela 4: Resultado das análises de DBO

Parâmetro estatístico	Afluente	Efluentes								
		F1A	F2A	F3A	F1B	F2B	F3B	FM1B	FM2B	FM3B
DBO										
Média	104,32	83,97	84,54	85,19	78,57	77,43	76,80	77,59	77,82	78,10
Mínimo	104,20	80,81	80,91	82,50	75,37	74,10	74,15	75,55	75,85	76,05
Máximo	104,50	88,17	87,68	88,01	80,78	80,55	79,13	80,33	80,15	79,86
Desvio Padrão	0,09	2,35	2,49	1,72	1,86	2,34	1,55	1,37	1,20	1,37
Porcentagem de Eficiência		22,66%	22,57%	21,05%	27,87%	29,09%	29,04%	27,70%	27,41%	27,22%

Fonte: Autores (2021)

Sólidos em suspensões totais

Os resultados de Sólidos Suspensos Totais mostraram elevada redução já na passagem pelos sistemas F1A, F2A e F3A com 89,87%, 89,50% e 89,55% de redução. Na sequência, a passagem do efluente por F1B, F2B e F3B houve aumento na redução do parâmetro, alcançando-se 93,29%, 94,02% e 94,00%. Os Wetlands Construídos FM1B, FM2B e FM3B alcançaram 93,63%, 92,98% e 93,16%, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5: Resultado das análises de Sólidos em Suspensão Totais

Parâmetro estatístico	Afluente	Efluentes								
		F1A	F2A	F3A	F1B	F2B	F3B	FM1B	FM2B	FM3B
Sólidos Suspensos Totais										
Média	38,43	5,34	5,91	5,31	3,69	3,13	3,37	3,44	3,49	3,33
Mínimo	38,40	3,90	4,04	4,02	2,58	2,30	2,31	2,45	2,70	2,61
Máximo	38,50	6,38	7,42	7,45	4,44	4,32	4,01	4,50	4,40	4,49
Desvio Padrão	0,05	0,81	1,12	1,32	0,72	0,67	0,54	0,64	0,64	0,62
Porcentagem de Eficiência		89,87%	89,50%	89,55%	93,29%	94,02%	94,00%	93,63%	92,98%	93,16%

Fonte: Autores (2021)

Nitrato

Quanto aos resultados de Nitrato o sistema de WC demonstrou pouca variação entre os sistemas, sendo que em F1A, F2A e F3A a eficiência foi de 53,42%, 53,42% e 44,52%, apresentados na Tabela 6. Nos WC F1B, F2B e F3B obteve-se um incremento, alcançando-se 60,27%, 67,12% e 66,43% respectivamente. Nos sistemas com macrófita FM1B, FM2B e FM3B, alcançou-se 76,71% de eficiência em ambos.

Tabela 6: Resultado das análises de Nitrato

Parâmetro estatístico	Afluente	Efluentes								
		F1A	F2A	F3A	F1B	F2B	F3B	FM1B	FM2B	FM3B
Nitrato										
Média	1,45	0,97	0,91	0,98	0,74	0,74	0,69	0,44	0,51	0,44
Mínimo	1,44	0,68	0,68	0,81	0,51	0,48	0,49	0,34	0,34	0,34
Máximo	1,46	1,26	1,29	1,15	0,91	0,91	0,89	0,60	0,61	0,54
Desvio Padrão	0,01	0,21	0,18	0,13	0,12	0,16	0,14	0,10	0,08	0,07
Porcentagem de Eficiência		53,42%	53,42%	44,52%	60,27%	67,12%	66,43%	76,71%	76,71%	76,71%

Fonte: Autores (2021)

Nitrato

Os resultados das análises de nitrato demonstraram eficiência significativa em ambos os sistemas, onde F1A, F2A e F3A alcançaram 48,80%, 49,89% e 49,01% respectivamente. Após a passagem pelo primeiro sistema, em F1B, F2B e F3B alcançou-se 73,84%, 74,28% e 74,50% respectivamente. E nos sistemas com macrófitas FM1B, FM2B e FM3B obteve-se redução de 83,07%, 82,41% e 82,85% (Tabela 7).

Tabela 7: Resultado das análises de Nitrato

Parâmetro estatístico	Afluente	Efluentes								
		F1A	F2A	F3A	F1B	F2B	F3B	FM1B	FM2B	FM3B
Nitrato										
Média	4,50	2,58	1,99	1,55	1,42	1,39	1,38	1,37	1,37	1,37
Mínimo	4,47	2,28	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Máximo	4,55	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
Desvio Padrão	0,02	0,18	1,08	1,03	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Porcentagem										

Fonte: Autores (2021)

Nitrogênio amoniacal total

Os resultados das análises de Nitrogênio Amoniacal apresentaram eficiência ao passar por todos os sistemas, onde em F1A, F2A e F3A ocorreu eficiência de 53,30%, 53,23% e 52,80% respectivamente, sendo apresentado na Figura 14. Posteriormente ao se passar pelos sistemas F1B, F2B e F3B as porcentagens se elevaram para 78,49%, 78,06% e 78,56%. Nos Wc com macrófita obteve-se o resultado de 87,15% em todos (Tabela 8).

Tabela 8: Resultado das análises de Nitrogênio Amoniacal Total

Parâmetro estatístico	Afluente	Efluentes								
		F1A	F2A	F3A	F1B	F2B	F3B	FM1B	FM2B	FM3B
Nitrogênio Amoniacal Total										
Média	25,63	12,77	12,95	13,21	6,19	6,10	6,01	3,49	3,54	3,66
Mínimo	25,44	12,06	12,09	12,20	5,56	5,67	5,54	3,32	3,32	3,32
Máximo	25,85	13,73	13,88	14,00	6,49	6,35	6,38	3,86	3,85	3,89
Desvio Padrão	0,13	0,55	0,62	0,58	0,27	0,24	0,29	0,16	0,16	0,23
Porcentagem de Eficiência		53,30%	53,23%	52,80%	78,49%	78,06%	78,56%	87,15%	87,15%	87,15%

Fonte: Autores (2021)

Fósforo total

Os resultados das análises de Fósforo Total apresentaram boa eficiência na passagem pelos sistemas F1A, F2A e F3A com eficiência de 29,64%, 29,85% e 28,51% respectivamente. E um aumento na redução de Fósforo Total nos sistemas F1B, F2B e F3B de 76,68%, 76,68% e 76,61%. Nos sistemas com macrófita a diminuição de Fósforo Total foi de 88,77% em ambos, apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Resultado das análises de Fósforo Total

Parâmetro estatístico	Afluente	Efluentes								
	F1A	F2A	F3A	F1B	F2B	F3B	FM1B	FM2B	FM3B	
Fósforo Total										
Média	51,45	37,03	37,49	37,92	12,41	12,37	12,40	5,95	6,00	6,06
Mínimo	51,38	36,22	36,11	36,80	12,00	12,01	12,04	5,78	5,78	5,77
Máximo	51,48	37,56	38,66	38,93	12,74	12,79	12,93	6,18	6,22	6,23
Desvio Padrão	0,03	0,38	0,84	0,70	0,21	0,23	0,35	0,12	0,15	0,16
Porcentagem de Eficiência		29,64%	29,85%	28,51%	76,68%	76,68%	76,61%	88,77%	88,77%	88,77%

Fonte: Autores (2021).

Considerações Finais

Percebe-se que não existe uma uniformização dos principais parâmetros de operação e projeto, tampouco a predominância nas formas de escoamento usadas. Isso se dá, principalmente, por se tratar de estudos experimentais e com isso torna-se fundamental a adoção de diferentes critérios para expansão dos conhecimentos.

Para isso, a definição e disponibilização de um POP, ainda de baixo custo, pode alavancar a possibilidade de utilização dos WCs pela sociedade, principalmente ao poder privado de baixa renda, que pode se encontrar distante da academia.

Analisa-se que há um crescimento maior dos estudos relacionados a WC no Brasil, e isso se estende a região Centro – Oeste, mesmo que em menor escala, é notório o maior número de pesquisas, principalmente dentro das universidades. No Mato Grosso, ainda existem poucos estudos, sendo estes implantados, e somente na capital do Estado, Cuiabá, o que se torna um grande potencial a ser estudado com futura viabilização de propostas de cunho social e econômico para o Estado.

Nesse sentido, o presente trabalho abordou o tratamento de esgoto sintético através de 3 sistemas de WC, sendo dois deles com macrófita e o outro sem para comparação de resultados. Constatou-se, que houve melhora dos parâmetros de Sólidos em Suspensão, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total, Nitrato e Nitrito. O parâmetro em que houve redução menos significativa no sistema foi o de DBO, não ocorrendo diferenças significativas entre os sistemas sem e com macrófitas.

Assim, verificou-se que as máximas reduções dos parâmetros foram: DQO (71,74%), DBO (29,09%), Nitrogênio Amoniacal (87,15%), Fósforo Total (88,77%), Nitrato (82,85%), Nitrito (76,71%) e Sólidos Suspensos Totais (94,02%).

Nesse sentido, sugere-se como estudos futuros a replicação desse sistema em escala maior para o tratamento ou polimento de efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto ou similar,

alterando-se também o tipo de macrófita no sistema, para possíveis comparações com este estudo realizado.

Referências Bibliográficas

Akinbile CO, Yusoff MS, Ahmad Zuki AZ. 2012. **Landfill leachate treatment using subsurface flow constructed wetland by *Cyperus haspan***. Waste Manage. 32(7):1387-1393.

COOPER, P. F.; JOB, G. D.; GREENN, M. B.; SHUTES, R. B. E. Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. **Medmenham, Marlow, UK: WRc publications, p. 184, 1996.**

IWA – International Water Association. Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation. **Scientific and Technical Report No. 8. London, England: IWA Publishing. 156 p. 2000.**

LIMA, R.F. de S. Potencialidades dos Wetlands Construídos Empregados no Pós-tratamento de Esgotos: Experiências Brasileiras. **Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. 81 p. 2016.**

LIÉNARD, A.; BOUTIN, C.; ESSER, D. Domestic wastewater treatment with emergent hydrophyte beds in France. **In: Constructed Wetlands in Water Pollution Control: Proceedings of the International Conference on the Use of Constructed Wetlands in Water Pollution Control, held in Cambridge, UK, 24-28 September 1990. Pergamon, p. 183, 1990.**

MOLLE, P.; LIENARD, A.; BOUTIN, C.; MERLIN, G.; IWEMA, A. **How to treat raw sewage with constructed wetlands an overview of the French systems.** Water Science & Technology, v. 15, n. 9, p. 11-21, 2005.

SILVEIRA, D. D.; FILHO, P. BELLI.; PHILIPPI, L. S.; KIM, B.; MOLLE, P. **Influence of partial saturation on total nitrogen removal in a single-stage French constructed wetland treating raw domestic wastewater.** Ecological Engineering. v. 77, p. 257- 264, 2015.

PHILIPPI, L. S. e SEZERINO, H. P. Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. **1ª ed. Florianópolis/SC. Ed. do Autor 2004. 144p**

ORMONDE, Vanusa Soares da Silva. Avaliação de 'Wetlands' Construídos no Pós-Tratamento de Efluente de Lagoa de Maturação. **89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2012.**

SEZERINO, Paulo H. Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed Wetland) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima tropical. **Tese (Doutor em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.**

SEZERINO, PAULO HELENO ET. AL. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, volume 20, n.1, p. 151-158, 2015.**

TONIATO, J.V. **Avaliação de um Wetland Construído no Tratamento de Efluentes Sépticos – Estudo de Caso Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil.** 2005. 95p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2005.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. v. 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 472 p.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Design Manual: Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment**. 1998. Washington. 83p.

WECF - **Women in Europe for a Common Future**. Constructed Wetlands. Sustainable Wastewater Treatment for Rural and Peri-Urban Communities in Bulgaria. **21 p. 2011**.