
**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO DE LODO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM
MODELO FÍSICO DE WETLANDS VERTICAIS**

Matheus Cristiano Cavalcanti (IC)
Liliane Frosini Armelin (Orientadora)

Apoio: PIBIC Mackpesquisa

RESUMO

Um dos grandes desafios da área de saneamento é a destinação final dos resíduos gerados no tratamento do esgoto doméstico. O lodo proveniente dos decantadores, resultante do tratamento biológico constitui a quase totalidade desse tipo de resíduo e no Brasil, tem majoritariamente como destinação final, os aterros sanitários com grandes custos ambientais e financeiros. Este trabalho avaliou um sistema de tratamento de lodo de estação de tratamento de esgotos por wetlands do tipo vertical e para isso, utilizou-se de amostra de lodo da Unidade de Recuperação de Qualidade Pirajussara – URQ, implantada para a redução da carga poluidora do rio Pirajussara, afluente principal do rio Pinheiros. O lodo foi incorporado em um sistema experimental em escala reduzida que representa uma wetland de fluxo vertical e ao longo do tempo, foi observado a maneira como ocorreu a infiltração da fração líquida e foi medida a fração de sólidos que ficou retida no sistema. Os resultados mostraram ser o sistema eficaz na separação da fração sólida e líquida, além de outras vantagens como a clarificação do efluente e a redução do odor.

Palavras-chave: Wetland vertical; lodo de esgoto doméstico; modelo físico de wetland.

ABSTRACT

One of the major challenges in the area of sanitation is the final destination of waste generated in the treatment of domestic sewage. The sludge from the decanters, resulting from the biological treatment, constitutes almost all of this type of waste and, in Brazil, its final destination is sanitary landfills, with high environmental and financial costs. This work evaluates a sludge treatment system from a vertical wetlands sewage treatment plant and, for that, a sludge sample from the Pirajussara Quality Recovery Unit – QRU, implemented to reduce the polluting load of the river is used. Pirajussara, main tributary of the Pinheiros River. The sludge was incorporated into an experimental system on a reduced scale that represents a wetland with vertical flow and over time, the way in which the infiltration of liquid intake occurred was observed and the capture of solids that was retained in the system was

measured. The appreciated results are the effective system in the separation of solid and liquid, in addition to other advantages such as effluent clarification and odor reduction.

Keywords: Vertical wetland; domestic sewage sludge; physical wetland model.

1 INTRODUÇÃO

Wetlands construídos são sistemas plantados que tem como principal função a filtragem de água, sendo seu uso mais comum o tratamento de esgotos domésticos. Apresentam um custo de instalação, operação e manutenção reduzidos se comparados aos métodos tradicionais, proporcionam uma paisagem agradável sem odores e produzem pouco lodo. Por necessitarem grandes áreas para implantação, são mais utilizados em áreas periféricas e rurais

Podem ser definidos também como ecossistemas artificiais que diferem dos naturais pelo seu regime hidrológico controlado e com substrato projetado para otimização hidráulica. (RODRIGUES, 2016). Mostram-se eficientes em tratamentos de efluentes domésticos, adaptáveis em sua composição e implantação.

Sistemas como os filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical FPMV podem ser escavados ou construídos acima do terreno, juntamente com material filtrante como brita e areia, com elementos impermeabilizantes nas laterais de modo que o efluente não percole para o solo. A vegetação utilizada, denominada como macrófitas filtrantes podem ser plantadas diretamente no elemento filtrante (RODRIGUES, 2016).

Nestes sistemas, segundo Von Sperling e Sezerino (2018), o líquido a ser tratado é lançado uniformemente em toda região superficial, de forma contínua, percolando entre o material filtrante que permanece não-saturado, predominando assim condições aeróbias.

A escolha dos materiais filtrantes, das espécies de macrófitas a serem utilizadas, juntamente com o carregamento do esgoto, quantidade de matéria orgânica, inorgânica e aeração que viabilizarão as rotas bioquímicas específicas, estes, junto dos processos como filtração, adsorção, microbiológicos e assimilação vegetal são responsáveis pelo tratamento final.(SEZERINO, 2021).

As wetlands se classificam em horizontais e verticais, sendo as primeiras constituídas de tanques com grandes áreas e reduzidas profundidades. As do tipo vertical, objeto deste estudo, caracterizam-se por áreas mais reduzidas, porém com profundidades mais elevadas. A vantagem desta última é a demanda por áreas mais reduzidas, viabilizando o seu uso nos centros urbanos e mais adensados.

Apresentam também possibilidades de aproveitamento de efluentes tratados em diversas modalidades de wetlands, relacionados às águas cinzas em cenário urbano, além da irrigação de culturas agrícolas. (SOUZA, 2023).

2 A UTILIZAÇÃO DE WETLANDS VERTICAIS NO TRATAMENTO DE LODO

2.1 INTRODUÇÃO

No Brasil ainda não existem Normas Técnicas que abordam o tratamento de lodo com wetlands, apesar de existir um projeto de Norma denominado: PROJETO ABNT NBR 17076 de outubro de 2022 (ABNT, 2022) que se refere ao tratamento de esgoto. Neste documento são apresentados inúmeros sistemas de tratamento para vazões de até 12 m³/dia, inclusive wetlands horizontais e verticais.

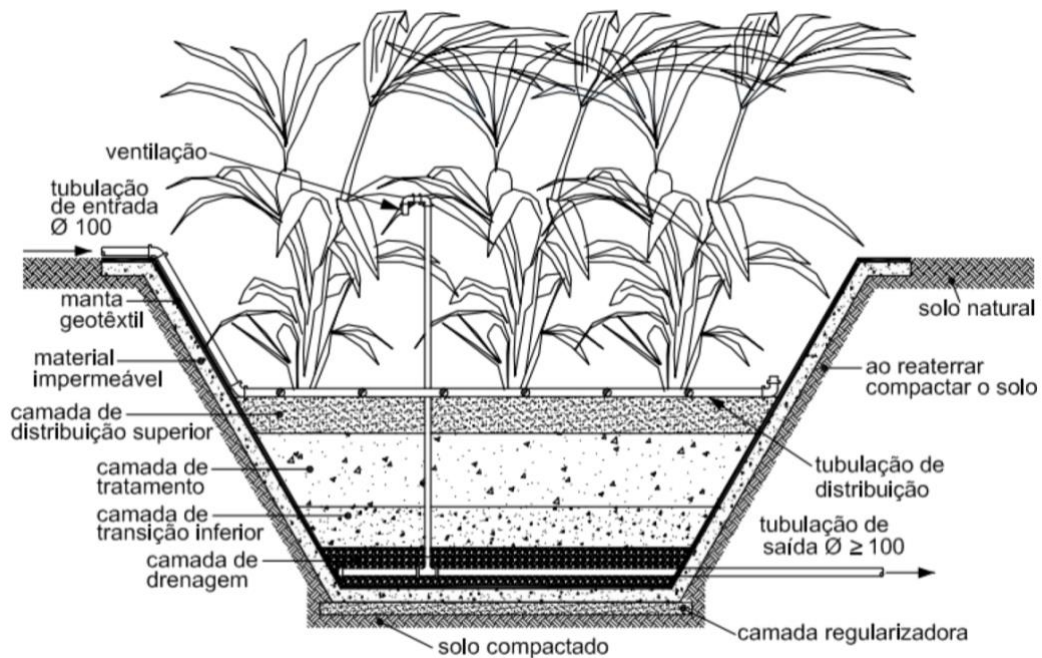
Neste contexto, apesar de o presente trabalho se referir ao tratamento do lodo, será tomado como referência o projeto de lei citado, além de algumas recomendações presentes na literatura sobre tratamento de lodo de esgoto doméstico através de wetlands verticais. Esta decisão baseou-se na presença de sólidos em ambos, por ser muito reduzida, não excedendo 5% no lodo enquanto no esgoto doméstico está em torno de 0,01%.

Para wetlands verticais, o projeto de Norma especifica como taxa de aplicação orgânica superficial máxima, o intervalo entre 10 a 20 g DBO/ m².dia e quanto a taxa de aplicação hidráulica superficial máxima, 0,05 a 0,12 m³/m².dia. O funcionamento deve ser operado através de alimentação por bateladas, não excedendo 8 horas entre uma e outra e cada tanque deve estar ativo por no máximo 1 mês, sendo que após este tempo, deve ser colocado em descanso.

Especifica também algumas dimensões de projeto como a altura do leito suporte, constituído de leito superior, leito de tratamento, leito de transição inferior e leito de drenagem. A altura total do leito suporte deve estar entre 0,70 e 1,10 m além do bordo livre que deve acumular a parte sólida do efluente.

A drenagem e a ventilação são operações importantes no sistema para garantir a saída do efluente de maneira uniforme e a entrada de oxigênio facilitando a digestão de forma aeróbia, o que reduz a emissão de odores desagradáveis. A Figura 1 mostra um exemplo de wetland vertical.

Figura 1: Esquema representativo de wetland construído de fluxo vertical



Fonte: ABNT, 2022

2.2 CRITÉRIOS E PARÂMETROS DE PROJETO

Um dos materiais mais confiáveis no Brasil em projetos de wetlands é o disponibilizado pelo grupo de estudo Wetland Brasil, que durante anos tem estudado esta tecnologia através de seus componentes pesquisadores e trazido informações importantes para o meio técnico, inclusive, o projeto de Norma citado anteriormente, adota muitas das recomendações desse material. Essas estruturas parecem ser muito simples diante de uma primeira análise, no entanto, como se tratam de reatores biológicos que dependem de inúmeros fatores que sofrem variações como a temperatura, umidade, características dos afluentes, dentre outros, constituem-se na realidade de estruturas complexas.

Tabela 1. Características de dimensionamento relacionadas ao *wetland* construído de escoamento vertical

Item	Sigla	Descrição	Comentário
Altura da camada superior do meio suporte	Hsup	0,05 a 0,10 m	Previne a erosão durante a alimentação intermitente
Altura da camada de filtração	Hint	0,40 a 0,60 m	Esta é a camada principal do leito, responsável pela maior parte do tratamento.
Altura da camada de transição (opcional)	Htrans	0,10 m	Transição entre a camada filtrante e a camada de drenagem, impedindo que os grãos da camada superior penetrem na camada inferior.

Altura da camada inferior, de drenagem	Hinf	0,10 a 0,30 m	Esta camada proporciona a drenagem do líquido. Nela se insere o sistema de drenagem e coleta do efluente.
Borda livre	bL	0,20 a 0,35 m	Distância entre o topo do meio suporte e o nível do terreno fora da unidade
Número de unidades	N	Múltiplos de 2 ou 4	Adota-se duas unidades, alimentação e descanso. Aplicações de pequeno porte trabalham com unidades únicas.
Área máxima de cada unidade	Amáx	400 m ²	Para não haver dificuldades com a hidráulica e necessidade de distribuição homogênea do afluente.

Leito filtrante

Granulometria do leito (camada superior do meio suporte)	GLsup	A granulometria destes materiais é referenciada: brita 0 (4,8 a 9,5 mm) ou brita 1 (9,5 a 19 mm)	Camada opcional. Poderão ser usados brita, cascalho, escória siderúrgica ou outros materiais.
Granulometria do leito na camada de filtração	GLint	Areia grossa (1,2 a 4,8 mm)	Recomenda-se que a areia apresente um $d_{10} \geq 0,20$ mm e coeficiente de desuniformidade ≤ 4 .
Granulometria do leito na camada de transição	GLtrans	Brita 0 (4,8 a 9,5 mm)	

Leito filtrante

Granulometria do leito na camada inferior, de drenagem	GLinf	Brita 0 (4,8 a 9,5 mm) ou Brita 1 (9,5 a 19 mm)	Evitar a penetração dos grãos da camada de cima nesta camada. A brita 0 pode ser adotada, caso não haja camada de transição acima.
--	-------	---	--

Detalhes hidráulicos e construtivos

Alternância entre os leitos	A L	Variável entre 3,5 a 30 dias	Outros ciclos operacionais poderão ser adotados, dependendo da experiência local, fatores climáticos e requisitos das plantas.
Tipo de alimentação	T A	Intermitente	Utilizam-se bombas ou sifões dosadores.
Frequência da dosagem do afluente	F D	Uma batelada a cada 2 a 8 h	

Fonte: Boletim Wetland Brasil Edição Especial Dezembro 2018

Tabela 3. Critérios de projeto empregados no *wetland* construído de escoamento vertical.

Item	Wetlands verticais recebendo efluente previamente tratado	Comentário
Taxa de aplicação orgânica superficial máxima	10 a 20 gDBO.m ⁻² .d ⁻¹	A área calculada é a área da parte superior do leito filtrante. Calcular com a carga afluyente baseada na vazão média. Priorizar a taxa de aplicação orgânica com relação à taxa de aplicação hidráulica. Valores mais elevados da taxa de aplicação orgânica superficial poderão ser adotados, desde que sejam respaldados por operações exitosas, em escala real.
Taxa de aplicação hidráulica superficial máxima	0,05 a 0,12 m ³ .m ⁻² .d ⁻¹	A área calculada é a área da parte superior do leito filtrante, e não a área do fundo ou a meiaprofundidade. Para fins de dimensionamento, deve se calcular a aplicação máxima com a vazão média.

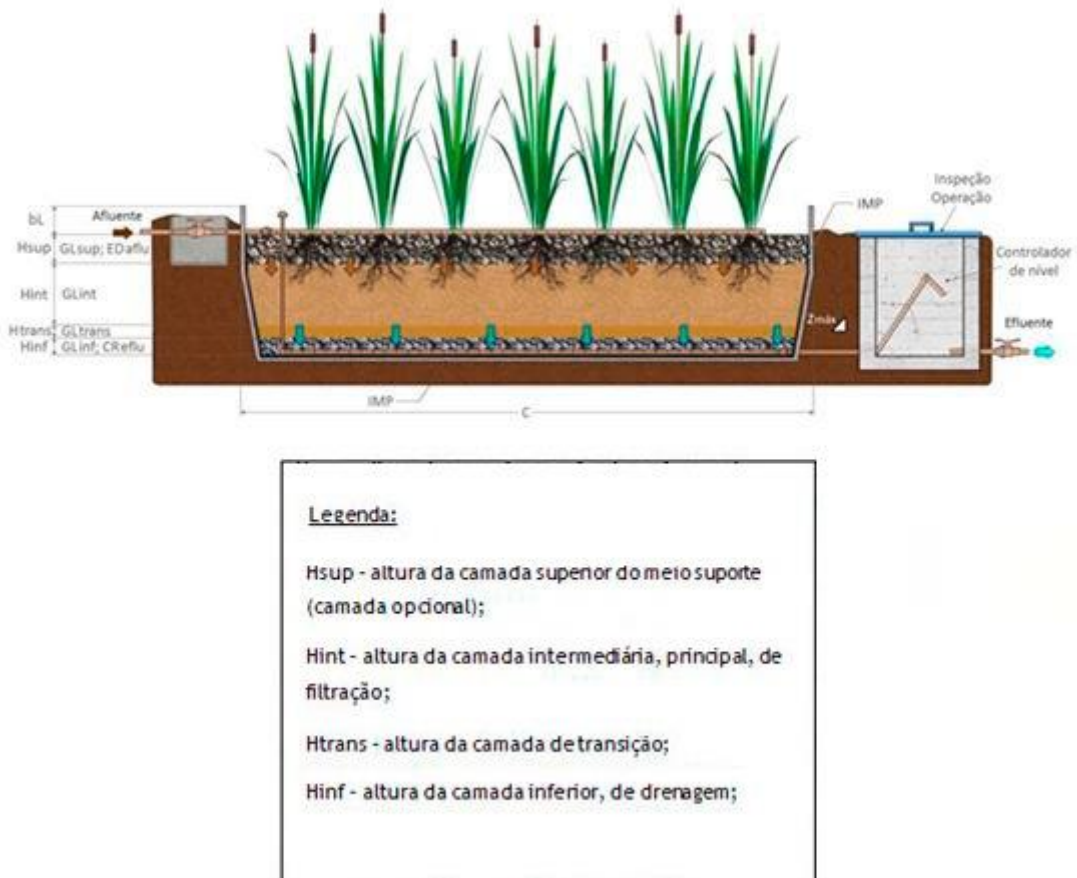
Fonte: Boletim Wetland Brasil Edição Especial Dezembro 2018

Tabela 4. Faixas esperadas de desempenho de tratamento relacionadas ao *wetland* construído de escoamento vertical.

Item	Wetlands verticais recebendo efluente de tratamento primário	Wetlands verticais recebendo efluente de tratamento secundário	Comentário
Eficiências de remoção			
<i>Eficiência de remoção assumida na etapa a montante da wetland</i>			
DBO	25 a 35 %	60 a 75 %	As eficiências apresentadas retratam faixas esperadas.
DQO	20 a 30 %	55 a 70 %	
<i>Eficiências globais de remoção esperadas no sistema como um todo</i>			
DBO	> 85 %	> 90 %	As eficiências apresentadas retratam faixas esperadas, caso o projeto, a construção e a operação sejam adequados.
<i>Eficiências globais de remoção esperadas no sistema como um todo</i>			
DQO	> 80 %	> 85 %	Eficiências mais elevadas de remoção de N total podem ser obtidas incluindo-se um fundo com meio saturado, proporcionando condições anóxicas e a ocorrência de desnitrificação.
SS	> 85 %	> 90 %	
N amoniacal	> 85 %	> 90 %	
N total	< 40 %	< 40 %	
Fósforo total	< 20 %	< 20 %	
Coliforme termot.	1 – 2 unidadeslog	1 – 2 unidade slog	

Fonte: Boletim Wetland Brasil Edição Especial Dezembro 2018

Figura 2: Perfil longitudinal do wetland construído verticalmente.



Fonte: Boletim Wetland Brasil Edição Especial Dezembro 2018

2.3 MATERIAL FILTRANTE E COLMATAÇÃO

O maciço filtrante pode servir também como suporte para a planta e deve manter elevada capacidade de o afluente e compostos inorgânicos, deste modo parâmetros como uniformidade, porosidade e condutividade hidráulica estão diretamente ligados ao desempenho do sistema. A propriedade do solo que concede escoamento da água é a permeabilidade, que depende da temperatura e do índice de vazios. (RODRIGUES, 2016).

O material que mantenha ao longo do tempo condições de fluxo adequadas com adsorção e minimizando a colmatação é um bom maciço filtrante (RODRIGUES, 2016). Um dos grandes problemas enfrentados nesse tipo de sistema é a colmatação que pode ocorrer de maneira física como biológica e acaba sendo a responsável pela redução da condutividade hidráulica no sistema, tendo relação direta com o aumento de biomassa microbiana no perfil do solo (RODRIGUES, 2016).

Blazejewski & Murat-Blazejewska (1997) apresentam algumas das principais causas de colmatação como a existência de pequenos poros no material filtrante; acumulação de sólidos suspensos nos poros do solo ou substrato; crescimento microbiano no meio com temperaturas relativamente altas; entupimento dos poros devido a géis inorgânicos, principalmente de dissolução de Ca de material calcário; peptização dos coloides do solo e colapso de macroporos entre os agregados; precipitação e deposição de carbonato de cálcio (CaCO₃) em baixos valores de pH; falta de limpeza com velocidades de infiltração baixas.

Meios de minimizar a colmatação podem ser tomados, tendo em vista que no estudo de Langergraber, 2003, apud Rodrigues, 2016, são apresentados problemas nos sistemas com alta taxa hidráulica. Este problema pode ser minimizado com filtros de materiais com maior granulometria (1-4mm).

3.4 MACRÓFITAS

Segundo Brix (1993), macrófitas são organismos fotoautotróficos, que desfrutam da energia solar para assimilar carbono inorgânico da atmosfera, incluindo neste termo desde algas até plantas aquáticas vasculares e angiospermas, sendo encontradas desde brejos até ambientes plenamente aquáticos. Nos sistemas de wetlands verticais a influência destas plantas se mostra eficiente na remoção de nutrientes e a sua tolerância ao tipo de ambiente que será submetida faz com que as macrófitas sejam escolhidas, segundo a Associação Internacional de Águas (IWA) (2000).

Ainda segundo Brix (1993), a proteção da superfície, melhoria das condições para a filtração e aeração da rizosfera, são algumas das funções das macrófitas em relação ao tratamento de esgotos em wetlands de uma maneira geral. Podem ser usadas diferentes espécies no sistema, desde que se adaptem as condições operacionais e sejam resistentes aos períodos de descanso das unidades onde foram instaladas. Existem três tipos amplamente utilizados em projetos, sendo elas: *Typha* spp, *Juncus* spp e *Phragmites australis*, as quais se adaptam bem ao ambiente apresentando rápido crescimento. Outro parâmetro importante a respeito é a penetração no maciço, pelas suas raízes, evitando a colmatação e permitindo a entrada de oxigênio.

Um dos principais nutrientes presentes no esgoto sanitário é o nitrogênio, necessário para o desenvolvimento da biomassa das macrófitas, incorporado pelo processo de assimilação. Para uma boa assimilação deve haver a poda das plantas, caso não haja o sistema pode ser sobrecarregado diminuindo assim a retiradas de nitrogênio por assimilação (RODRIGUES, 2016).

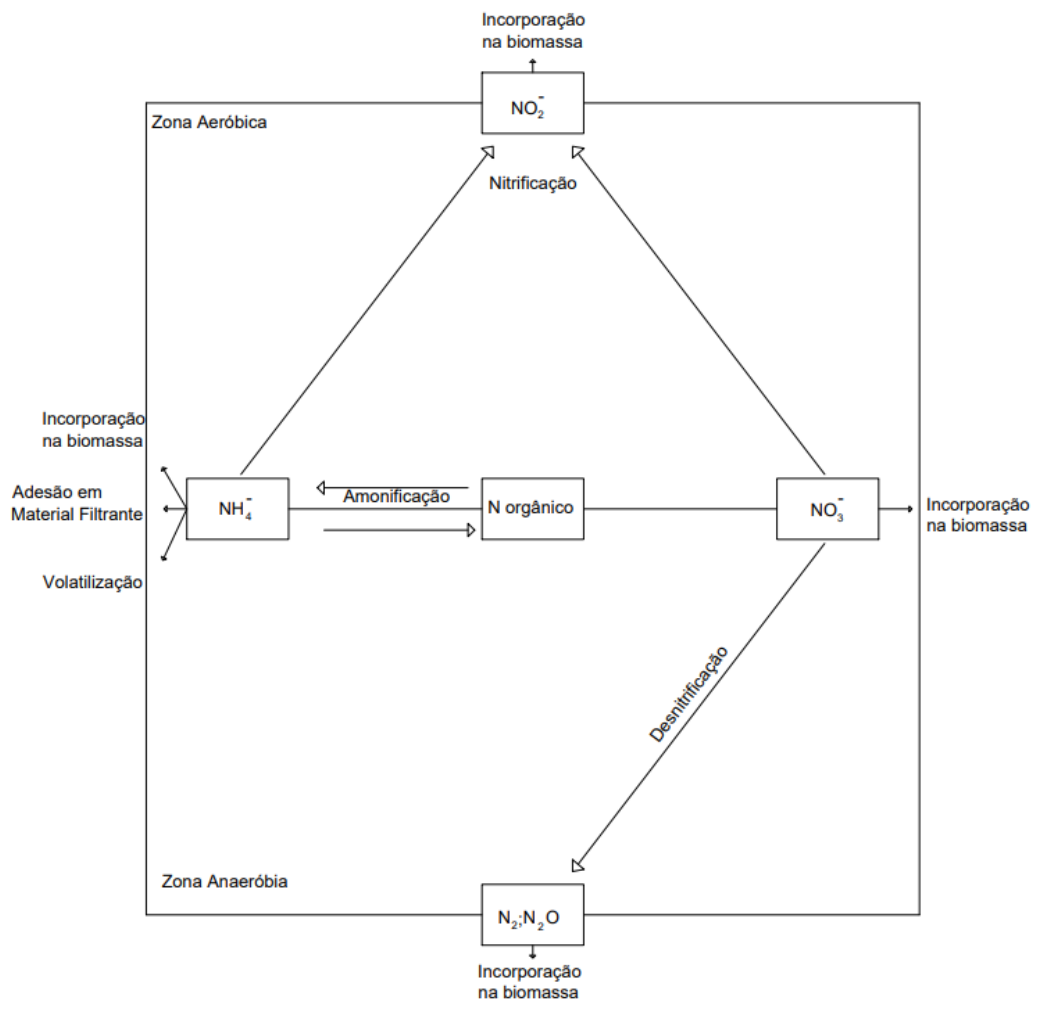
2.4 MICRORGANISMOS

Segundo Sauer e Kimber, 2001 apud Silva, 2007, os microrganismos presentes em wetlands construídos, principais responsáveis pela degradação dos poluentes nas zonas de raízes são: algas, fungos, protozoários e bactérias. Decompõem a matéria orgânica, ativam os processos biogeoquímicos e atuam sobre outros microrganismos presentes nas águas residuárias. O metabolismo de microalgas, fungos existentes no meio suporte e certos grupos de protozoários desempenham um papel ativo na depuração das águas residuárias.

Neste ambiente a maior concentração presente é de bactérias aeróbias e anaeróbias, seguido de protozoários e micrometazoários (BENTO, 2000 apud, RODRIGUES 2016). Segundo Phillip e Sezerino (2004, apud RODRIGUES 2016) as bactérias são os principais agentes na degradação de matéria orgânica e realizam 3 papéis básicos: nitrificação, desnitrificação e oxidação da matéria orgânica (Figura 3), além de contribuir no tratamento de águas residuais, seguindo alguns mecanismos (CETESB, 1991; WEF, 1994; BENTO, 2000 apud RODRIGUES 2016).

Em filtros com macrófitas, os microrganismos são encontrados no esgoto e se aderem ao maciço e as raízes assim formando o biofilme, sendo este um conjunto de microrganismos e produtos extracelulares (COSTA, 1989, apud RODRIGUES, 2016).

Figura 1 - Esquema de transformação de nitrogênio



Fonte: RODRIGUES, 2016

Nitrogênio é o elemento de grande importância nos ciclos existentes nos wetlands. Nos wetlands construídos, a remoção de nitrogênio orgânico tem sua via principal de remoção o sentido de amonificação, nitrificação e desnitrificação (COOPER et al., 1996; KADLEC; KNIGHT, 1996; IWA, 2000 apud RODRIGUES, 2016). O nitrogênio amoniacal é produto da amonificação, seu produto é transformado em nitrito e depois em nitrato, o nitrato é transformado em nitrogênio em forma de gás através da desnitrificação (IWA, 2000 apud RODRIGUES, 2016)

3 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa utilizada foi a experimental, sendo para isso preparados dois tanques de armazenamento de lodo (Figura 4) para o experimento, com a finalidade de

representar em escala reduzida sistemas de Wetlands verticais. O leito de cada um dos dois tanques, foi executado com os seguintes materiais:

- 20 centímetros de solo cultivável;
- 4 centímetros de areia grossa;
- 4 centímetros de brita 0;
- 5 centímetros de brita 1;
- Tubo de PVC 40 mm.

Figura 4: Tanques prontos para o recebimento do lodo



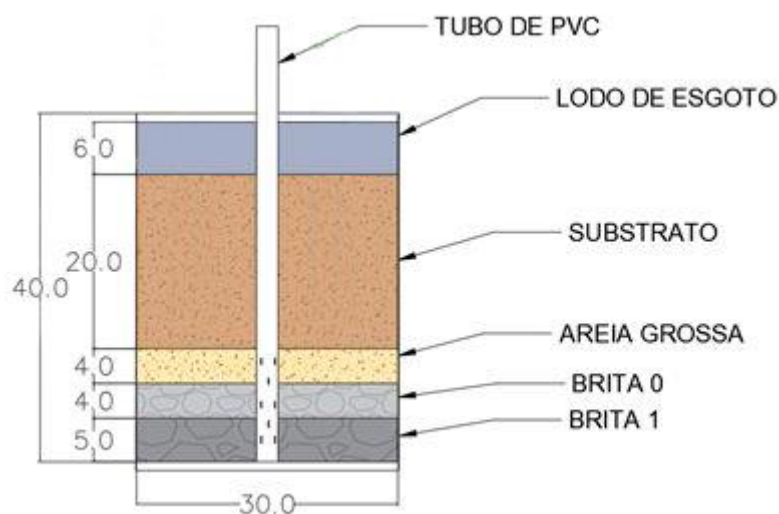
Fonte: Os autores (2023)

Tratando-se de um modelo em escala reduzida, buscou-se adaptar as dimensões sugeridas no Boletim Wetlands Brasil de 2018 e isso foi possível para medidas em planta, o mesmo não ocorrendo para as profundidades das camadas, as quais não poderiam ser reduzidas sem prejudicar a capacidade de filtração do sistema. Salienta-se que este material foi desenvolvido para tratamento de esgoto, porém na ausência de normativa para o lodo, constituiu-se de elemento mais aproximado para se tomar como base no processo construtivo.

Neste contexto idealizou-se um sistema com camada de drenagem (brita 1), camada de transição (brita 0), camada de filtração (areia grossa) e substrato (terra vegetal), este último com espessura bem maior do sugerido, simulando um sistema em funcionamento há muitos anos e com grande acúmulo de material que corresponde a parte sólida do lodo.

Devido a problemas operacionais, não foram incluídas as plantas nos tanques pois estas não sobreviveriam ao local destinado à instalação do sistema, o qual não proporcionava luz suficiente para o seu desenvolvimento.

Figura 5 – Modelo do sistema de construção do protótipo.



Fonte: Autores (2022)

A areia e a brita são comumente utilizados como um método filtrante e no caso deste experimento foi essa a funcionalidade de ambos, com o lodo passando por todos esses materiais, deixando a parte sólida e a matéria orgânica na parte superior do tanque e fazendo com que o líquido percolado desça até o fundo de onde pode ser drenado para a parte externa através de uma válvula. O tubo de PVC disposto verticalmente no centro de cada tanque funciona como uma coluna de ventilação permitindo a entrada de oxigênio nas camadas mais profundas e auxiliando a transformação da matéria orgânica em água e elementos simples de forma aeróbia.

O lodo, material composto de aproximadamente 97% de água e 3% de sólidos foi retirado da Estação de Recuperação de Qualidade Pirajussara – URQ, estação esta construída no âmbito do Programa Novo Pinheiros com a finalidade de captar água poluída do Rio Pirajussara, tratar e devolver a jusante. O tratamento é realizado através do sistema de lodos ativados, sendo o lodo retirado do decantador secundário e do reator. Este resíduo é levado a um tanque de equalização onde aguarda por algum tempo, sob aeração para ser encaminhado para as centrífugas para a redução de volume, de onde sai com uma composição diferente, sendo 80% de água e 20% de sólidos.

O lodo do experimento foi retirado do tanque de equalização e acondicionado em recipiente plástico durante 43 dias devido a problemas operacionais no laboratório que atrasaram a sua disposição nos tanques

Antes da inserção do lodo nos tanques foi analisado a sua fração de sólidos totais, sendo estes correspondentes a toda a matéria suspensa e dissolvidas na água. Esta análise

ocorreu da seguinte forma: Foi calcinado uma capsula de porcelana de 130mL, em uma mufla a $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$ por uma hora e deixada para resfriar em um dessecador. Após este procedimento, foi anotado o seu peso inicial P_0 , com auxílio de uma balança de grande precisão com tara. Foi retirada uma alíquota de amostra de lodo e passada para um Becker de 600 ml mantido sob agitação e deste, retirou-se um volume pré-determinado, 100mL para este experimento, que foi transferido para a capsula recém esfriada. A amostra, dentro da capsula, foi movida, com auxílio de luvas e pinça para uma estufa a 105°C por 24 horas. Após este intervalo e o resfriamento, a amostra da capsula foi retirada e pesada obtendo-se o peso P_1 .

A diferença entre P_0 e P_1 representa a quantidade de sólidos totais. No caso, $P_0 = 145,16\text{ g}$ e $P_1 = 147,54\text{ g}$.

$$ST = P_1 - P_0 = 147,54 - 145,16 = 2,38\text{ g}$$

Esta análise informou que a fração de sólidos no lodo no dia da análise era de 23,8 g/litro.

Após este procedimento foi realizado a disposição do lodo nos dois tanques preparados (Figura 6), denominados tanque 1 e tanque 2. A terra dentro dos tanques, a qual estava seca e em forma de torrões devido ao longo tempo entre o preparo dos tanques e o início do experimento, foi descompactada com auxílio de instrumentos como pás de jardinagem e água, que foi drenada no final do processo e revirada para melhorar a percolação. Com o solo preparado, o lodo foi despejado em ambos os tanques através de uma proveta volumétrica sendo no tanque 1, o volume de 6 litros e no tanque 2, 3 litros. Nos tanques, a altura do lodo foi marcada com uma caneta de modo a ter um controle de escoamento ao longo do tempo.

Figura 6: Alimentação dos tanques com lodo de esgoto doméstico



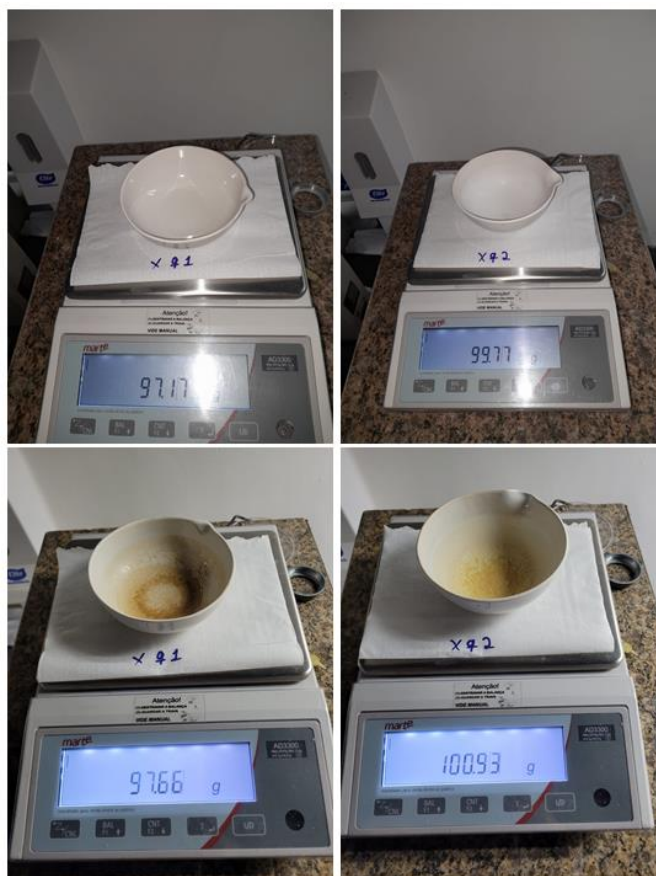
Fonte: autores (2023)

A taxa máxima de aplicação hidráulica sugerida no projeto de Norma é de 0,05 a 0,12 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ para esgoto. Para lodo, a taxa de aplicação pode ser muito variável de acordo com o objetivo. Há valores utilizados que variam entre 16 e 250 $\text{kg ST}/\text{m}^2.\text{ano}$ (SANTOS, 2021). Esses valores são diferentes dos considerados na utilização de WC para tratamento de esgoto quando essa taxa é muito menor. Do mesmo modo, os valores são diferentes de acordo com a origem desse lodo. Comumente as taxas utilizadas variam de 50 a 250 $\text{Kg ST}/\text{m}^2.\text{ano}$ (UGGETTI et al., 2010 apud KÄFER et al., 2015), em relação ao volume de lodo a ser tratado.

A taxa aplicada nos dois tanques foi no tanque 1, 0,085 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e no tanque 2, 0,042 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. Foram utilizados valores de taxas de aplicação diferentes para que fosse possível entender a influência do peso na infiltração do líquido.

Após a alimentação, os tanques foram deixados em repouso para que ocorresse a percolação e filtragem através dos leitos. Após 24 horas, foram retiradas amostras do líquido proveniente da drenagem do fundo dos tanques e encaminhados para análise de sólidos totais (Figura 7). Com os valores obtidos foi possível quantificar os resíduos remanescentes após a filtragem.

Figura 7: Pesagem inicial e final das capsulas contendo amostras retiradas do fundo dos tanques



Fonte: autores (2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O líquido removido ao final do processo apresentou mudança na coloração, tornando mais límpida e translúcida em comparação ao lodo inserido, conforme ilustrado na figura 8. A diferença visível na coloração demonstra que o processo físico de separação água – sólido foi eficiente.

Figura 8: Lodo inserido nos tanques (a) e efluentes recolhidos na drenagem (b)



Fonte: autores (2023)

As capsulas de porcelana contendo amostras do fundo de ambos os tanques, após a filtragem indicaram a remoção de sólidos totais ST identificando a quantidade de resíduos remanescentes após a filtragem: A pesagem mostra, através da subtração dos pesos, que para o tanque 1 restaram 0,49g de sólidos em 100 ml de amostra filtrada enquanto que no tanque 2 restaram 1,16g de sólidos. Comparando com o ensaio feito da amostra de lodo proveniente direto da estação, o solido removido foi de 1,89g e 1,22g respectivamente. A Tabela 5 resume os resultados:

Tabela 5: Determinação da remoção de ST

	TAXA DE APLICAÇÃO	SÓLIDOS TOTAIS BRUTO	SÓLIDOS TOTAIS LODO REMANESCENTE	REMOÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS
TANQUE 1	0,085 m ³ /m ² .dia	2,38/100ml	1,89/100 ml	21 %
TANQUE 2	0,042 m ³ /m ² .dia	2,38/100ml	1,22/100 ml	49 %

Fonte: Os autores

Considerando os valores comumente utilizados informados por Kafer et al, 2010, entre 50 e 250 Kg ST/m².ano, procede-se a determinação das taxas de ST aplicadas por m² por ano no presente experimento se a carga fosse diária (Tabela 6). Observa-se que a carga de sólido realizada para este experimento em ambos os tanques excedeu os valores recomendados na bibliografia. Isso foi possível porque tal procedimento ocorreu em um único dia e não sobrecarregou o sistema.

Tabela 6: Determinação da remoção de ST

	TAXA DE APLICAÇÃO HIDRÁULICA	SÓLIDOS TOTAIS LODO BRUTO	TAXA APLICAÇÃO ST BRUTO/DIA	TAXA APLICAÇÃO ST LODO BRUTO/ANO
TANQUE 1	0,085 m ³ /m ² .dia	23,8 kg/m ³	2,02 kg/m ² .dia	738 kg/m ² .ano
TANQUE 2	0,042 m ³ /m ² .dia	23,8 kg/m ³	1,01 kg/m ² .dia	365 kg/m ² .ano

Fonte: Os autores

Os resultados indicaram que o aumento da taxa de aplicação hidráulica, não aumenta a retenção de sedimentos, apesar de que seria necessário um número maior de ensaios para se ter uma ideia mais ampla sobre a influência da taxa de aplicação na remoção de sedimentos. Esta observação indica que existem outras características que interferem na eficiência da filtração que não são as físicas e nem o volume lançado.

Observou-se também que a carga de ST foi demasiada em relação aos valores recomendados na bibliografia e para uma única carga não houve dificuldades na percolação do líquido através dos leitos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso dos tanques como modelo para wetlands verticais é um bom meio para obter informações sobre o funcionamento do sistema. O tamanho reduzido permite movimentar o sistema e implementar valores menores de amostra para que seja possível analisar de forma efetiva.

Wetlands são sistemas muito efetivos ao que se propõem, cumprindo suas demandas de maneira efetiva. Sua utilização de maneira vertical pode abrir espaço para instalações deste sistema em locais onde não se dispõe de grandes áreas, como por exemplo as estações de tratamento que demandam pela gestão de lodo, não limitando apenas a sua desidratação e transporte para aterros sanitários. A valoração desse tipo de resíduo tornou-se urgente devido aos grandes volumes diários gerados.

A possibilidade de realização de mais ensaios como os realizados neste experimento, utilizando os mesmos tanques poderia contribuir de forma mais precisa, possibilitando uma análise estatística pois a complexidade das reações que ocorrem dentro dos tanques e dos fatores que influenciam estas reações alteram os resultados finais.

REFERÊNCIAS

ABNT/CB-177 PROJETO ABNT NBR 17076 OUT 2022 Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte — Requisitos

BLAZEJEWSKI, R.; MURAT-BLAZEJEWSKA, S. Soil clogging phenomena in constructed wetlands with subsurface flow. **Water Science and Technology**, v. 35, n. 5, p. 183-188, 1997.

BRIX, H. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands System Design, Removal Processes and Treatment Performance. **Constructed Wetlands for Water Quality Improvement**, p. 9-22, 1993.

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.

KÄFER, Silvana Cristina. **TRATAMENTO DE LODO ANAERÓBIO EM WETLANDS CONSTRUÍDOS OPERADOS EM ALTA TAXA E COM A RECIRCULAÇÃO DE LÍQUIDO PERCOLADO**. 2015. 143 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pósgraduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina - Ufsc, Florianópolis, 2015.

SEZERINO, RED PANAMERICANA DE SISTEMAS DE HUMEDALES. WEBINAR: WETLAND CONSTRUÍDO VERTICAL COM FUNDO SATURADO EMPREGADO NO TRATAMENTO DE ESGOTO. YouTube, publicado em 24 de Setembro de 2021. 10 minutos e 7 segundos. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=srDvFWEvdAw>. Acesso em : 14 de Abril de 2022

RODRIGUES, Marcos Vinicius Costa. **WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL EMPREGADO NO TRATAMENTO DE ESGOTO DE UM RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO**. 2016. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Londrina, Londrina, 2016.

SANTOS, Wagner Alex dos. **IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS VERTICAIS PARA O TRATAMENTO DE LODO DE TANQUE SÉPTICO**. 2021. 50 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2021.

SILVA, S. C. (2007). “Wetlands Construídos” de Fluxo Vertical com Meio Suporte de Solo Natural Modificado no Tratamento de Esgotos Domésticos. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.TD-003/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 205p.

Von Sperling, M.; Sezerino, P.H. (2018). **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil**. *Boletim Wetlands Brasil*, Edição Especial, dezembro/2018. 65 p. ISSN 2359-0548. Disponível em: <<http://gesad.ufsc.br/boletins/>>. Acesso em 14 de Abril de 2022

SOUSA, Arielle da Rosa. **Potencialidade de reuso do esgoto tratado em sistemas wetlands construídos no contexto brasileiro**. 2023. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pósgraduação de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

Contatos: matheuscris.cavalcanti@gmail.com e liliane.armelin@mackenzie.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a Profa. Dr. Liliane Armelin, que me auxiliou em todas as etapas deste trabalho e que foi fundamental no meu desenvolvimento ao longo do meu período como aluno.