



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**WETLAND CONSTRUÍDO: UMA ALTERNATIVA AO USO DE TANQUE SÉPTICO-
FILTRO ANAERÓBIO PARA A REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA**

REBECCA VANIELLY SANTANA DE CARVALHO

João Pessoa - PB
Outubro de 2018

REBECCA VANIALLY SANTANA DE CARVALHO

**WETLAND CONSTRUÍDO: UMA ALTERNATIVA AO USO DE TANQUE SÉPTICO-
FILTRO ANAERÓBIO PARA A REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como requisito à obtenção do título de Engenheira Ambiental, sob a orientação do professor Dr. Leonardo Vieira Soares.

JOÃO PESSOA - PB
2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C331w Carvalho, Rebecca Vanielly Santana de.
WETLAND CONSTRUÍDO: UMA ALTERNATIVA AO USO DE TANQUE
SÉPTICO-FILTRO ANAERÓBIO PARA A REMOÇÃO DE MATÉRIA
ORGÂNICA / Rebecca Vanielly Santana de Carvalho. - João
Pessoa, 2018.
44 f. : il.

Orientação: Leonardo Vieira Soares.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Wetlands. 2. Fossa-filtro. 3. Tratamento de esgoto.
4. Matéria orgânica. I. Soares, Leonardo Vieira. II.
Título.

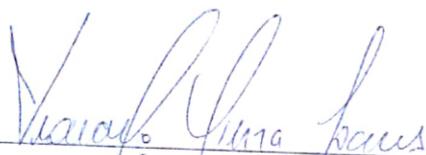
UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

REBECCA VANIELLY SANTANA DE CARVALHO

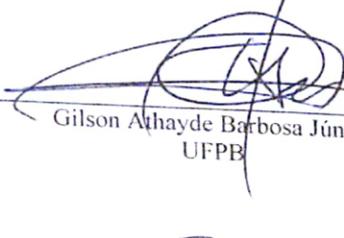
**SISTEMAS DE WETLANDS CONSTRUÍDO: UMA ALTERNATIVA AO USO DE
TANQUE SÉPTICO-FILTRO ANAERÓBIO NA REMOÇÃO DE MATÉRIA
ORGÂNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 30/10/2018 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Leonardo Vieira Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de
Tecnologia/UFPB

APROVADO



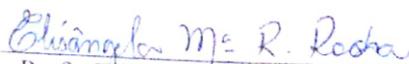
Gilson Athayde Barbosa Júnior
UFPB

APROVADO



Maria Cristina Basilio Crispim da Silva
UFPB

APROVADO



Prof. Elisângela Maria Rodrigues Rocha
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Profª Elisângela M. R. Rocha
Coord. CCGEAM/CT/UFPB
Mat. SIAPE 1821373

RESUMO

Diante da falta de coleta de esgotos em muitas residências no Brasil e no mundo, muitas pesquisas são desenvolvidas com o objetivo de testar tecnologias alternativas, que sejam eficientes e de baixo custo, para que o esgoto possa ser tratado no lugar onde foi gerado. Entre essas tecnologias, há os sistemas *wetland* construído e tanque séptico seguido por filtro anaeróbico (fossa-filtro), os quais vêm sendo cada vez mais adotados, por serem sistemas simples, eficientes e de baixo custo. Apesar de ambas as tecnologias constituírem alternativas interessantes para o tratamento de efluentes, é importante compará-las a fim de se ter ciência da mais vantajosa em termos de remoção de matéria orgânica. Sendo assim, este trabalho consistiu em comparar o sistema *wetland* construído com dois sistemas fossa-filtro, um da Universidade Federal da Paraíba e outro da Universidade Federal do Rio de Janeiro, em termos de remoção de matéria orgânica, a fim de mostrar que as *wetlands* constituem uma melhor alternativa em relação à fossa-filtro. Os resultados mostraram que as *wetlands* podem, sim, ser uma alternativa ao uso da fossa-filtro, tendo em vista os bons valores de DBO e DQO obtidos no efluente final, além de melhor eficiência, quando comparadas com os sistemas fossa-filtro da UFRJ.

Palavras-chave: *Wetlands*. Fossa-filtro. Tratamento de esgoto. Matéria orgânica.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	05
2 OBJETIVOS	07
2.1 OBJETIVO GERAL	07
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	07
3. REFERENCIAL TEÓRICO	08
3.1 <i>WETLAND</i>	08
3.1.1 Classificação das <i>wetlands</i> construídas	10
3.1.2 Macrófitas	12
3.1.3 Uso de <i>wetlands</i> no tratamento de água	14
3.2 TANQUE SÉPTICO-FILTRO ANAERÓBICO.....	15
3.2.1 Tanque séptico	15
3.2.2 Filtro anaeróbio	16
3.2.3 Eficácia do sistema anaeróbio	18
4 METODOLOGIA	20
4.1 SISTEMA <i>WETLAND</i> CONSTRUÍDO.....	20
4.2 TANQUE SÉPTICO-FILTRO ANAERÓBIO CONSTRUÍDO NA UFPB.....	23
4.3 TANQUE SÉPTICO-FILTRO ANAERÓBIO CONSTRUÍDO NA UFRJ.....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Lei N°. 11.445/2007, o saneamento básico engloba o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos, além de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Entretanto, essa lei não foi efetivamente colocada em prática, pois a falta de saneamento básico adequado e suficiente nas cidades brasileiras ainda constitui um sério problema de saúde ambiental e de degradação dos corpos hídricos.

Segundo o Ministério da Saúde (BRASIL, 2016), no ano de 2016, para cada 100.000 habitantes, ocorreram 167 internações hospitalares, devido a doenças causadas por saneamento ambiental inadequado. Apesar desse número vir diminuindo ao longo dos anos, ainda é necessário melhorar tal situação.

Apesar de mais da metade dos domicílios urbanos brasileiros terem acesso à rede coletora de esgotos (BRASIL, 2015), nem sempre esse efluente é tratado efetivamente, sendo despejado nos rios com alguma carga orgânica. Dependendo da capacidade do rio em assimilar esses poluentes, processo denominado autodepuração, pode acarretar no fenômeno da eutrofização, que consiste no crescimento exagerado de algas.

Apesar de existirem diferentes meios de se tratar os esgotos, muitas pesquisas são desenvolvidas com o objetivo de testar tecnologias alternativas, que sejam eficientes e de baixo custo, para que o esgoto possa ser tratado no lugar onde foi gerado, tornando-se uma opção para as residências que não são atendidas por rede coletora. Entre esses meios, existem os sistemas *wetland* construído, tanque séptico seguido por filtro anaeróbico, tanque de evapotranspiração (TEVAP), círculo de bananeiras, banheiro seco, entre outros. Esses sistemas vêm sendo cada vez mais adotados, por serem simples, eficientes e de baixo custo.

O sistema *wetland* construído, também chamado de sistema fito-pedológico, constitui num sistema de tratamento de esgoto, em que o efluente passa por um leito filtrante, que pode ser brita e/ou cascalho, entre outros, e por plantas aquáticas (macrófitas), os quais possuem microrganismos aderidos ao meio que irão tratar esse esgoto. A simplicidade de *design*, operação e manutenção o torna, atualmente, a mais promissora tecnologia para aplicação nos países em desenvolvimento (SALARO JUNIOR, 2008).

No conjunto tanque séptico-filtro anaeróbico, popularmente conhecido como fossa-filtro, o tanque séptico remove uma parte dos poluentes e o filtro anaeróbico complementa o tratamento, dando uma qualidade melhor ao efluente do tanque.

O tanque séptico, popularmente conhecido como fossa séptica, consiste numa câmara fechada, com a finalidade de deter os despejos domésticos por um período de tempo estabelecido, de modo a permitir a decantação dos sólidos e retenção do material graxo contido nos esgotos, transformando-os, bioquimicamente, em substâncias e compostos mais simples e estáveis (FUNASA, 2007).

“Os filtros anaeróbios são sistemas de pós-tratamento de esgotos frequentemente utilizados e que podem encontrar grande aplicabilidade no Brasil devido à simplicidade e baixo custo operacional exigidas por esse sistema de tratamento.” (SOUZA, 2014, p. 26). São compostos por um material de enchimento, que pode ser brita, material plástico, bucha vegetal, entre outros, onde ficam aderidos os microrganismos que irão degradar a matéria orgânica, formando o biofilme. Sendo assim, são acompanhados por outro tipo de tratamento preliminar, que possa remover a maior parte dos sólidos, ficando o restante da matéria orgânica para ser removido no filtro.

Apesar de ambas as tecnologias (*wetland* e fossa-filtro) constituírem alternativas interessantes para o tratamento de efluentes, é importante compará-las a fim de se ter ciência da mais vantajosa em termos de remoção de matéria orgânica. Comparando-se trabalhos que utilizaram as *wetlands* com outros que estudaram o tanque séptico seguido por filtro anaeróbio, a exemplo de Brito (2017) e Ávila (2005), respectivamente, pode-se afirmar que aquelas possuem uma porcentagem maior de eficiência de remoção, além de serem uma opção tanto para residências urbanas quanto rurais. Sendo assim, este trabalho consistiu em comparar o sistema *wetland* construído com dois sistemas fossa-filtro, um construído para fins de pesquisas da Univesidade Federal da Paraíba e outro para tratamento e pesquisas da Univesidade Federal do Rio de Janeiro, em termos de remoção de matéria orgânica, a fim de mostrar que as *wetlands* constituem melhor alternativa em relação à fossa-filtro.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar o sistema *wetland* construído ao sistema fossa-filtro, a fim de verificar se o primeiro pode ser uma alternativa ao segundo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar os parâmetros DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) para comparar o efluente de cada sistema;
- Comparar as eficiências de remoção de matéria orgânica obtidas pelos sistemas;
- Verificar se os efluentes de cada sistema se encontram dentro dos padrões de lançamento de efluentes, de acordo com a Resolução n° 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 WETLAND

As *wetlands*, cuja tradução é “terras úmidas”, podem ser naturais ou artificiais. As primeiras são conhecidas como brejos, várzeas, pântanos, manguezais, entre outros ambientes alagados (Figura 1). Consistem em áreas de transição entre sistemas terrestres e aquáticos, onde há a degradação da matéria orgânica (ANJOS, 2003).

Figura 1: Foto de uma wetland natural.



Fonte: Bueno, 2013.

Já as *wetlands* artificiais, chamadas *wetlands* construídas, constituem sistemas artificiais, baseados nos princípios básicos dos sistemas naturais, sendo geralmente utilizados para o tratamento de efluentes. A Figura 2 mostra um exemplo de uma *wetland* artificial, construída com o intuito de tratar os efluentes de um restaurante, em São José dos Pinhais-PR.

Figura 2: *Wetland* construída em São José dos Pinhais-PR.



Fonte: o autor, 2015.

Além de ser uma alternativa para o tratamento de esgotos, as *wetlands* possuem outras funções, entre as quais, segundo Richardson (1996 apud ANJOS, 2003), estão:

- ✓ No fluxo hidrológico, como descarga e recarga de aquíferos, regulando o armazenamento de água e controle climático regional;
- ✓ Na produtividade biológica, por meio da produção primária e secundária, armazenando e fixando carbono;
- ✓ No ciclo biogeoquímico, por meio dos processos de transformação do nitrogênio, enxofre e fósforo e nos processos de desnitrificação;
- ✓ Na decomposição do carbono e liberação ou mineralização de nitrogênio, enxofre e carbono;
- ✓ No *habitat* de vidas animais e comunidades;
- ✓ No controle de enchentes e sedimentos;
- ✓ Na recreação e no turismo;
- ✓ Na capacidade de preservação da fauna e da flora.

Além dessas, pode-se citar outras, como adsorção de íons metálicos e pesticidas pela matéria orgânica, remoção de patógeno por microrganismos e retirada de metais pesados e outras substâncias tóxicas por macrófitas (UNEP, 2004 apud POÇAS, 2015).

De acordo com Anjos (2003), as *wetlands* construídas têm a vantagem de poder controlar seus aspectos negativos, tornando-se uma alternativa efetiva de baixo custo, além de

poderem ser edificadas em qualquer lugar por meio de um projeto de controle hidráulico compatível, considerando as limitações geográficas das espécies vegetais.

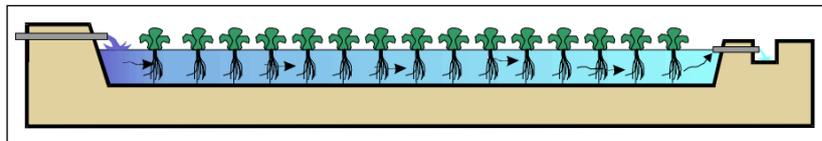
Para um país como o Brasil, onde boa parte dos esgotos ainda são lançados em corpos hídricos sem nenhum tratamento prévio ou com tratamento insuficiente, a *wetland* constitui uma tecnologia viável para reduzir a carga poluidora dos efluentes, evitando, assim, a eutrofização nesses ambientes.

3.1.1 Classificação das *wetlands* construídas

Brix (1993 apud SALATI, 2006) classificou as *wetlands* construídas em:

- a) Sistemas que utilizam macrófitas aquáticas flutuantes, formados por canais longos e estreitos, com aproximadamente 0,7 m de profundidade (Figura 3);

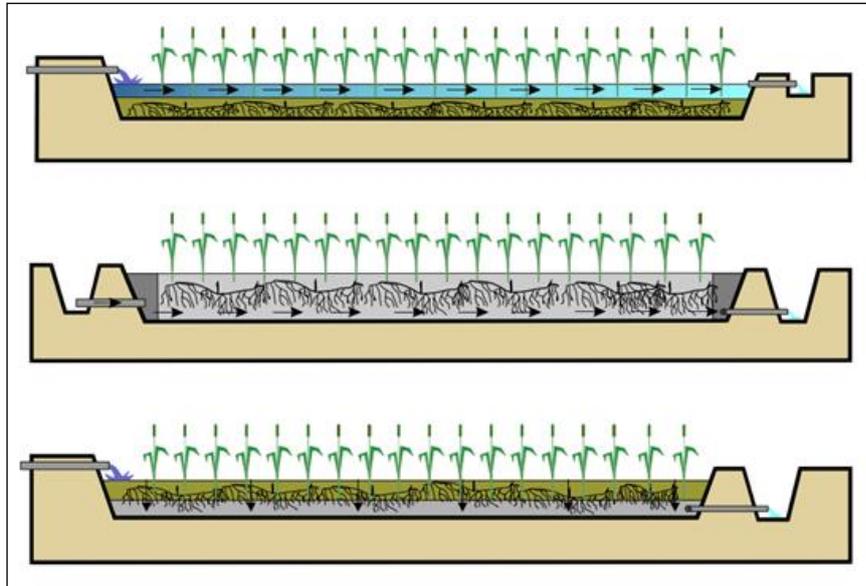
Figura 3: Desenho esquemático de uma *wetland* que utiliza macrófitas aquáticas flutuantes.



Fonte: Salati, 2006.

- b) Sistemas que utilizam plantas aquáticas emergentes (Figura 4), podendo ser:
 - De fluxo superficial, onde o esgoto escorre pela superfície do solo;
 - De fluxo subsuperficial, onde o esgoto passa por um substrato de pedras da ordem de 0,50 cm de espessura;
 - De fluxo vertical, onde há uma camada de solos sobre brita.

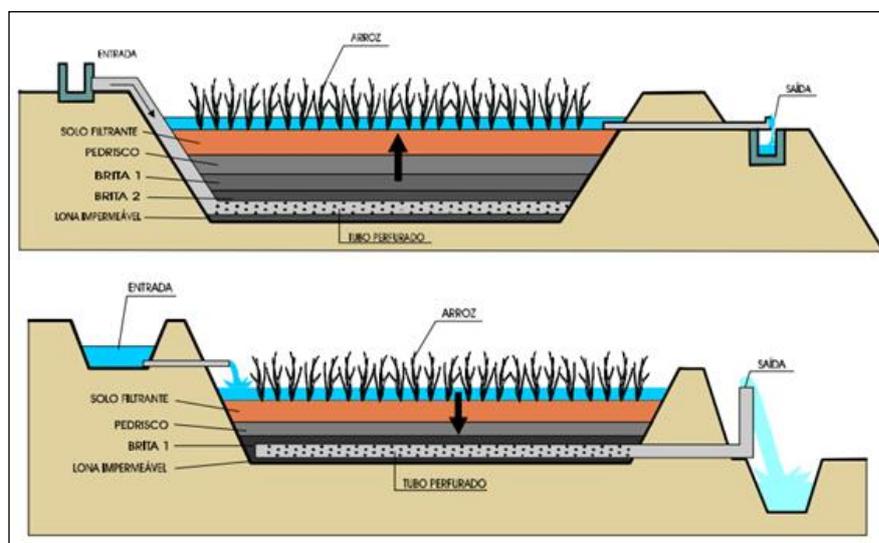
Figura 4: Desenhos esquemáticos de *wetlands* construídas que utilizam macrófitas aquáticas emergentes, sendo a primeira de fluxo superficial; a segunda, de fluxo subsuperficial; e a terceira, de fluxo vertical.



Fonte: Salati, 2006.

De acordo com Salati (2006), outro tipo de *wetland* foi proposto pelo autor, em 1987, o chamado Sistema DHS (Despoluição Hídrica com Solos), no qual se utiliza uma camada de solo filtrante sobre um sistema de drenagem. Pode ser de fluxo ascendente, em que o esgoto é introduzido sob o sistema de drenagem; ou descendente, em que o esgoto é lançado sobre o solo cultivado com arroz ou outra macrófita emergente (Figura 5).

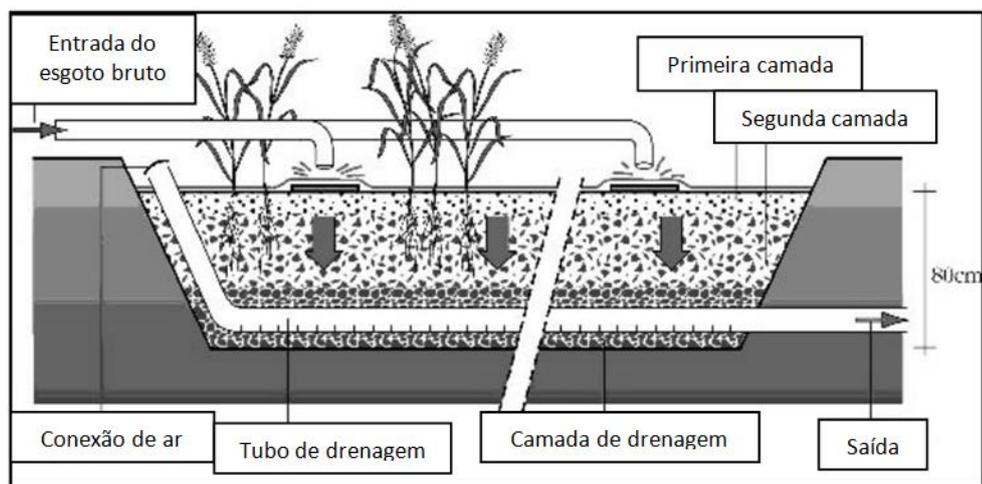
Figura 5: Desenhos esquemáticos do sistema DHS de fluxo ascendente (primeiro) e de fluxo descendente (segundo).



Fonte: Salati, 2006.

O modelo de fluxo vertical (Figura 6) também é conhecido como “sistema francês”, por ser o *design* mais comum encontrado na França para o tratamento de esgoto bruto, principalmente em pequenas comunidades, tendo feito muito sucesso nos últimos 20 anos (MOLLE et al., 2015). A concepção do sistema consiste em três filtros operados em paralelo, em que cada filtro é alimentado por cerca de uma semana e repousa durante duas semanas (PRIGENT et al., 2013 apud SILVA, 2017).

Figura 6: Sistema francês de *wetland* construído (fluxo vertical).



Fonte: Adaptada de Molle et al., 2015.

3.1.2 Macrófitas

As informações a respeito das macrófitas foram baseadas em Salati (2006), o qual aborda os tipos flutuante, emergente e submersa.

Entre as plantas flutuantes, a espécie mais estudada é a *Eichhornia crassipes* (aguapé), da família das pontederiáceas, pela sua robustez e grande capacidade de crescimento vegetativo, podendo ser utilizada na produção de ração animal, energia e biofertilizantes. Além disso, essa espécie possui grande resistência a substâncias tóxicas, metais pesados e variações de pH e de temperatura. Entretanto, essa capacidade de crescimento e resistência também faz com que a aguapé seja considerada uma praga, podendo trazer consigo sérios problemas. Um exemplo deste tipo de planta encontra-se na Figura 7.

Figura 7: Foto de aguapés (*Eichhornia crassipes*).



Fonte: Site Papa Aguapé, [2018?].

As macrófitas emergentes (Figura 8a) possuem o sistema radicular preso ao sedimento, ficando o caule e as folhas parcialmente submersos. Entre as espécies, destacam-se a *Phragmites australis*, a *Typha latifolia* e a *Scirpus lacustris*, todas conhecidas popularmente como juncos.

Já as macrófitas submersas (Figura 8b), como *Isoetes lacustris*, *Lobelia dortmanna* e *Egeria* sp., devem ser cultivadas em um substrato com solo especial, além de ficarem totalmente submersas. São mais utilizadas no tratamento secundário, fazendo o “polimento” do esgoto. Entretanto, não têm sido recomendadas para o tratamento de esgoto urbano, por precisarem de águas oxigenadas para se desenvolverem bem.

Figura 8: Exemplos de macrófitas.



a) Macrófita emergente.
Fonte: Bueno, 2013.



b) Macrófita submersa.
Fonte: New England Wild Flower Society, [2018?].

3.1.3 Uso de *wetlands* no tratamento de água

Apesar de ainda ser uma tecnologia popularmente pouco conhecida no Brasil, já foram realizadas inúmeras pesquisas a respeito das *wetlands* construídas, e continuam ganhando espaço na área de saneamento.

Queluz (2016) desenvolveu um sistema alagado construído, com brita como material suporte, para tratar águas residuárias com baixas cargas orgânicas, verificando boa eficiência na remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos totais, nutrientes e patógenos. Além disso, constatou que a presença de macrófitas da espécie taboa (*Typha latifolia*) no alagado construído aumentou a eficiência na remoção de nutrientes.

Rezende (2016) constatou que as *wetlands* satisfazem os critérios de qualidade para usos restritos, após desinfecção. Além disso, constitui um dos sistemas de tratamento mais adequados para reúso de águas cinzas em prédios e condomínios, chegando a ser comparado com os biorreatores de membrana e o sistema de ETE compacta, e possuindo, ainda, vantagens econômica e operacional em relação a estes.

Anjos (2003) avaliou a eficiência de uma *wetland* no controle da poluição por metais pesados, mostrando que houve remoção total de chumbo, cobre e zinco. O autor sugere que a tecnologia deve servir de modelo para o controle imediato de grandes áreas contaminadas, a exemplo de áreas degradadas pela mineração.

Kletecke (2011) estudou cinco *wetlands* de fluxo subsuperficial, utilizadas no tratamento de esgoto de uma faculdade, sendo todas com material filtrante de brita, mas cada uma com macrófitas de espécies diferentes (com exceção de uma onde nada foi plantado): lírio do brejo (*Hedychium coronarium*), helicônia papagaio (*Heliconia psittacorum*), sombrinha chinesa (*Cyperus alternifolius*) e inhame (*Colocasia esculenta var. aquatilis*). Esta última foi a mais eficiente na fixação de fósforo e nitrogênio em seus tecidos, enquanto a helicônia papagaio foi a macrófita mais eficiente na retenção de nutrientes e matéria orgânica. Entretanto, o autor chegou à conclusão de que as quatro espécies podem ser utilizadas no tratamento de efluentes domésticos retendo nutrientes e matéria orgânica.

Lautenschlager (2001) verificou que, frequentemente, as *wetlands* podem apresentar baixa eficiência na remoção de nitrogênio total e fósforo total, sendo poucos os casos em que a eficiência de remoção alcance valores acima de 80%, além de haver casos com eficiência de remoção negativa. Contudo, o autor afirma que isso se deve ao manejo inadequado (ou a falta dele) das *wetlands*, ressaltando o fato de que, se as plantas não forem podadas de forma adequada, os nutrientes retidos serão devolvidos ao efluente.

No Paraná, as *wetlands* já são utilizadas no tratamento de esgotos em restaurantes da zona rural, possuindo apenas uma caixa de gordura antecedendo o sistema.

Além de tratar os esgotos, as *wetlands* podem dar um aspecto agradável ao ambiente e ser aproveitadas como um pequeno jardim. Dependendo da qualidade dos seus efluentes e juntamente com desinfecção, podem ser reutilizados, mas esse tipo de estudo ainda é escasso no Brasil.

3.2 TANQUE SÉPTICO-FILTRO ANAERÓBICO

O tanque séptico seguido por filtro anaeróbio é popularmente conhecido como fossa-filtro e constitui uma forma alternativa para o tratamento de esgotos, sendo uma opção para as residências ou edifícios que não possuem coleta de esgotos.

De acordo com von Sperling (1995), o sistema fossa-filtro tem sido amplamente utilizado no meio rural e em comunidades de pequeno porte e sua eficiência é usualmente inferior à dos processos aeróbios, embora seja na maior parte das situações suficiente. Ainda de acordo com o autor, há o risco de gerar maus odores, por se tratar de um sistema anaeróbio, mas este risco pode ser reduzido com certos procedimentos de projeto e operacionais.

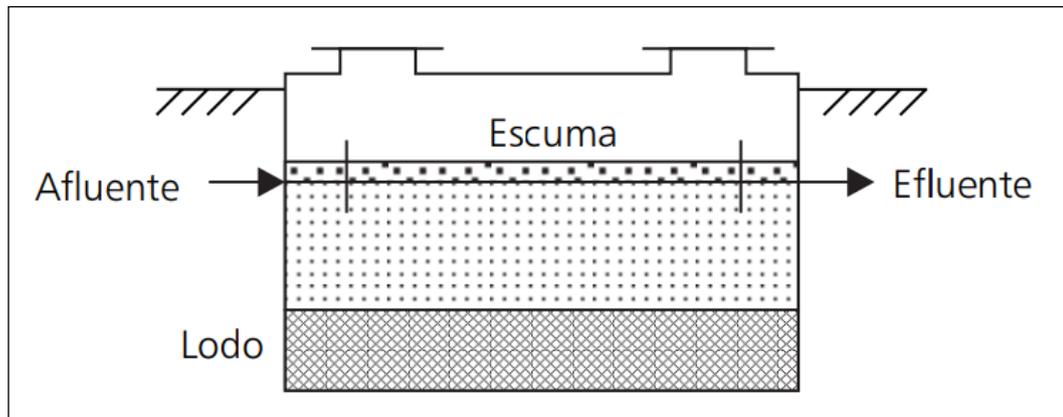
3.2.1 Tanque séptico

O tanque séptico (Figura 9), também conhecido como fossa séptica ou decanto-digestor, consiste numa câmara fechada, com a finalidade de deter os despejos domésticos, por um período de tempo estabelecido, onde irá ocorrer a decantação dos sólidos em suspensão, formando o lodo, e retenção do material graxo misturado com gases na superfície do líquido – formando a espuma – transformando-os, bioquimicamente, em substâncias e compostos mais simples e estáveis (FUNASA, 2007).

De acordo com Chernicharo (2007), o material orgânico retido no fundo do tanque sofre uma decomposição facultativa e anaeróbia, sendo convertido em compostos mais estáveis e proporcionando uma redução contínua do volume de lodo depositado no fundo do tanque.

É importante ressaltar que a entrada e a saída do esgoto devem possuir uma diferença de nível, a fim de evitar o retorno do esgoto na entrada.

Figura 9: Tanque séptico.



Fonte: PROSAB, 1999.

Souza (2014, p. 25) afirma que “os tanques sépticos apresentam as vantagens comuns ao processo anaeróbico, como reduzido consumo energético, simplicidade de operação e baixos custos envolvidos”. Entretanto, possuem eficiência limitada na remoção de matéria orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos, por se tratar de um reator de tratamento primário, necessitando, assim, de um tratamento complementar (CHERNICHARO, 2007). Além disso, Fernandes (2012) afirma que, juntamente com a baixa eficiência, a necessidade de limpeza periódica do lodo é a principal desvantagem dos tanques sépticos, pois, com o tempo, a massa de lodo digerido vai aumentando, diminuindo o volume útil do tanque e, conseqüentemente, a sua eficiência. Uma opção para complementar o tratamento feito pela fossa séptica é o filtro anaeróbico. Entretanto, ainda há pouca informação sobre a caracterização, as condições de coleta, transporte, tratamento e destino final do resíduo (lodo) produzido nesses sistemas (BORGES, 2009).

3.2.2 Filtro anaeróbico

Os filtros anaeróbios consistem basicamente, em tanque contendo leito de pedras ou outro material de enchimento, onde ocorre a fixação e o desenvolvimento de microrganismos na forma de biofilme, gerando flocos ou grânulos nos seus interstícios (PROSAB, 1999).

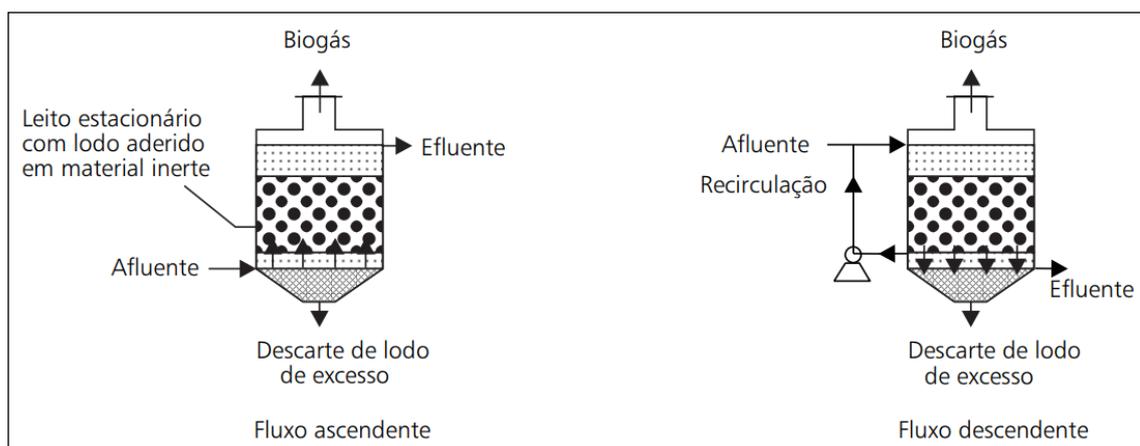
De acordo com Von Sperling (1995), no crescimento aderido, a biomassa cresce aderida a um meio suporte, que pode estar imerso no meio líquido ou receber descargas contínuas ou intermitentes. Ainda segundo o autor, esse meio suporte pode ser um material

sólido natural (pedras, areia ou solo), ou artificial (plástico), ou constituído pela própria biomassa aglomerada (grânulo).

De acordo com Cavalcante (2007), os filtros anaeróbios produzem efluente com baixa concentração de matéria orgânica e sólidos suspensos, além de conservar os nutrientes, sendo por isso muito bom para irrigação com fins produtivos, desde que haja a desinfecção.

Os filtros anaeróbios podem ser de fluxo ascendente (leito submerso) ou descendente (leito submerso ou não), como ilustrado na Figura 10, sendo estes últimos os mais indicados para o tratamento de esgotos com altas concentrações de sólidos suspensos, pois os de fluxo ascendente possuem a desvantagem de poder acumular biomassa no fundo, levando ao entupimento ou à formação de caminhos preferenciais (CHERNICHARO, 2007).

Figura 10: Filtros anaeróbios de fluxos ascendente e descendente.



Fonte: PROSAB, 1999.

De acordo com a Cetesb (2018), para a utilização dos reatores anaeróbios de alta taxa, entre os quais encontra-se o filtro anaeróbio, algumas características da água residuária devem ser consideradas, caso contrário, o rendimento do processo poderá ser muito baixo ou nulo. Essas características são:

- ✓ Temperatura: deve estar na faixa entre 15°C e 40°C. Pode ser necessária a adoção de sistemas de controle de temperatura.
- ✓ pH: deve ser mantido próximo à faixa de 6,8 a 7,2. Em alguns casos pode ser necessária a adição de soda, cal ou bicarbonato para ajuste do pH.
- ✓ Concentração de matéria orgânica: o efluente a ser tratado pode apresentar DQO tanto baixa (esgoto doméstico) como alta (vinhaça). No entanto, variações bruscas na DQO podem ser prejudiciais ao processo. Isso pode ser evitado por meio de tanques de

equalização e, também, por meio da diluição do esgoto por meio da reciclagem do efluente ou da junção com outros efluentes.

- ✓ Nutrientes: deve conter nitrogênio e fósforo nas proporções DQO: N: P:: 350: 5: 1. Pode ser necessária a adição de nitrogênio e/ou fósforo. Costuma-se adicionar uréia ((CO(NH₂)₂) ou fosfato de amônio ((NH₄)₃PO₄), ou até outros esgotos domésticos, pois são ricos em nutrientes.
- ✓ Compostos tóxicos e/ou inibidores: podem prejudicar sensivelmente e até impedir a aplicação do processo, caso ocorram concentrações que excedam os limites de tolerância de compostos como metais pesados, metais alcalinos e alcalino terrosos, cianetos, fenóis, cloretos, nitratos, oxigênio e especialmente sulfatos e sulfetos, cuja presença é frequente em águas residuárias industriais. Para evitar o efeito tóxico ou inibidor dessas substâncias, pode-se adicionar compostos químicos para precipitá-las, eliminando a forma solúvel do composto tóxico ou diluí-las, diminuindo sua concentração.
- ✓ Concentração de sólidos em suspensão: não existe um valor estabelecido para este limite, porém, aconselha-se baixas concentrações. Para os filtros anaeróbios de fluxo ascendente, recomenda-se limites de até 10% de matéria orgânica. Já os filtros anaeróbios de fluxo descendente suportam maiores concentrações (KENNEDY, 1990 apud CETESB, 2018). Para diminuir essas concentrações, pode-se utilizar alguns tipos de pré-tratamento de acordo com a qualidade dos sólidos presentes, como gradeamento, peneiramento, decantação, flotação ou hidrólise. Esta última pode ser efetuada para obter-se liquefação parcial dos sólidos presentes.

3.2.3 Eficácia do sistema anaeróbio

Ao contrário das *wetlands*, o sistema fossa-filtro já é bastante difundido no Brasil, tanto na academia quanto no meio social, por haver pesquisas mais antigas sobre essa tecnologia, além de já existirem em muitas residências do país.

Gomes (2015) avaliou o tratamento de efluente doméstico por um sistema composto por um tanque séptico, um filtro anaeróbio preenchido com cascas de coco verde e um filtro de areia. O autor constatou que o filtro anaeróbio foi responsável pela remoção de, em média, 50% da DBO₅, 71% da DQO, de até 87% de sólidos suspensos totais e de 80% da turbidez. A qualidade do efluente final atendeu aos limites definidos pela NBR 15900:2009 para água de reúso destinadas ao amassamento de concreto, requerendo desinfecção simples.

Já as concentrações de nitrogênio amoniacal e fósforo foram superiores aos limites permitidos para lançamento em corpo hídrico, mas apresentaram potencial para reúso na agricultura.

Backes (2016) avaliou a eficiência de um sistema fossa-filtro em escala piloto para o tratamento de efluente sanitário com a adição de papel higiênico como fonte de matéria orgânica. O autor chegou à conclusão de que o descarte do papel higiênico no sistema praticamente não comprometeu a eficiência do sistema, com exceção da remoção de matéria orgânica, que foi um pouco prejudicada. Apesar disso, ressaltou o ganho ambiental em relação ao aproveitamento do resíduo sólido.

Quanto à remoção de coliformes fecais e ovos de helmintos, Cavalcante (2007) observou que houve eficiência maior que 90% para remoção de ovos de helmintos, mas foram encontradas altas concentrações de coliformes fecais no efluente dos filtros, sendo permitido o reúso do efluente apenas em irrigação restrita, de acordo com as diretrizes da OMS.

Outras pesquisas utilizaram o sistema fossa-filtro como pré-tratamento para outras tecnologias, a exemplo de Reinaldo et al. (2012), os quais analisaram o desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por *wetland* e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. Os resultados indicaram que houve remoção significativa de turbidez, DBO, DQO, sólidos totais, sólidos suspensos, fósforo e óleos e graxas, além de 99,99% dos coliformes termotolerantes.

4 METODOLOGIA

4.1 SISTEMA WETLAND CONSTRUÍDO

As *wetlands* foram construídas na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do bairro Mangabeira IV, em João Pessoa-PB (Figura 11). A ETE recebe o esgoto, predominantemente doméstico, dos bairros de Mangabeira, Valentina de Figueiredo, Ernesto Geisel, Funcionários I e II, Gramame, Grotão, Jardim São Paulo, Bancários, João Paulo II e Monsenhor Magno.

Figura 11: Localização das *wetlands* construídas, na Estação de Tratamento de Esgoto (delimitada em vermelho), no bairro Mangabeira IV, em João Pessoa-PB.



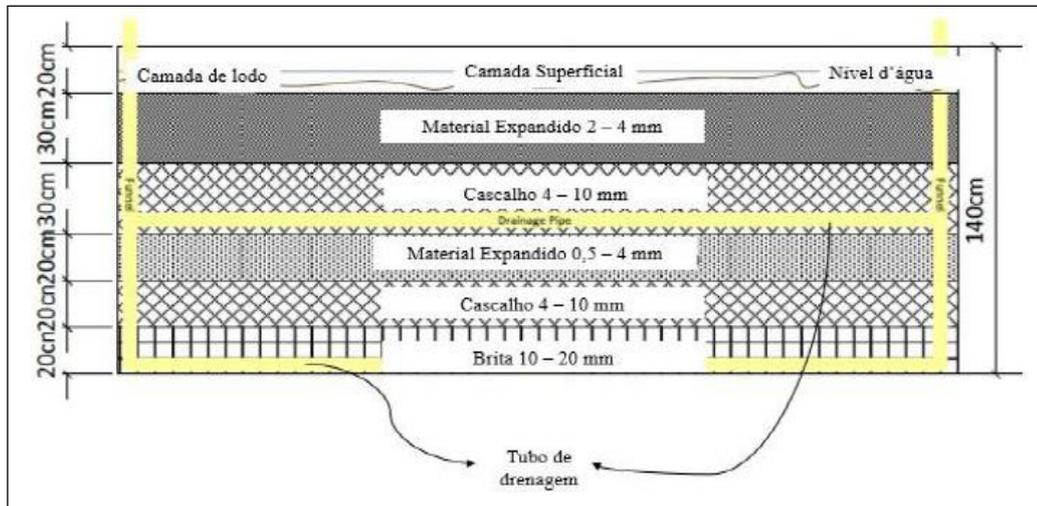
Fonte: *Google Earth Pro*, 2017.

As *wetlands* foram construídas para fins de pesquisa do Projeto Bramar. Esse projeto consiste numa parceria entre Brasil e Alemanha, com o objetivo de melhorar a gestão integrada dos recursos hídricos no semiárido do nordeste brasileiro (BRASIL, 2015).

As *wetlands* foram projetadas com base no sistema francês, cuja estrutura é caracterizada por diferentes camadas de substrato e fluxo vertical, conforme mostra a Figura 12. Consiste em um sistema de três células, em paralelo, as quais são alimentadas em

batelada, com ciclos de 7 a 14 e de 3,5 a 7 dias, de maneira que, enquanto uma célula é alimentada, as outras “descansam”.

Figura 12: Seção transversal das *wetlands*.



Fonte: Brito, 2017.

As *wetlands* foram projetadas para tratar cerca de 900L de esgoto por dia e suas medidas foram 2,5m de comprimento, 1,0m de largura e 1,4m de altura. Cada uma foi construída com um leito filtrante diferente, como mostra a Figura 13: pelotas fragmentadas de argila expandida (W1), RCC cerâmico (W2) e RCC concretício (W3). A planta utilizada foi a *Junciforme*, popularmente conhecida como junco, por possuir um crescimento rápido e ser bem adaptada a locais com muita umidade.

Figura 13: *Wetlands* 1, 2 e 3 (W1, W2, W3), na Estação de Tratamento de Esgotos no bairro Mangabeira IV, João Pessoa-PB.



Fonte: Adaptada de Silva, 2017.

As *wetlands* recebiam esgoto bruto tratado previamente por tratamento preliminar, composto por um sistema de grades de seção 3/8 x 1½” (0,95 x 3,81 cm) e espaçamento de 1¼” (3,18 cm), como mostra a Figura 14. Sendo assim, foi considerado como esgoto afluyente aquele após passar pelas grades. Após passar pelo tratamento preliminar, o esgoto era bombeado até um tanque de distribuição, com capacidade de 310 litros.

Figura 14: Tratamento preliminar na ETE.



Fonte: Brito, 2017.

Semanalmente, foram coletadas amostras dos esgotos afluyente e efluente às *wetlands*. O esgoto efluente era coletado em poços, constituídos por barris de plástico de 120 litros. As amostras coletadas foram analisadas no Laboratório de Tecnologia Química (LTQ) da Universidade Federal da Paraíba.

Foram determinados os parâmetros DBO_{5,20} (Demanda Bioquímica de Oxigênio, 5 dias, a 20 °C) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) dos esgotos afluyente (Tabela 1) e efluente às *wetlands*, a fim de se estudar a remoção de matéria orgânica. As análises referentes a esses parâmetros seguiram os métodos recomendados e descritos em APHA et al. (2005).

Tabela 1: Data das coletas, concentrações de DBO₅ e DQO, média e desvio padrão para o esgoto afluente às *wetlands*.

DATA	WETLAND	DBO₅ (mg/L)	DQO (mg/L)
11/05/2017	W2	151	281
18/05/2017	W3	433	663
25/05/2017	W1	309	468
01/06/2017	W2	345	585
08/06/2017	W3	425	675
14/06/2017	W3	413	699
22/06/2017	W2	215	309
29/06/2017	W3	153	182
13/07/2017	W2	219	428
27/07/2017	W1	297	16
02/08/2017	W2	316	378
06/09/2017	W1	292	943
21/09/2017	W2	430	776
28/09/2017	W3	471	829
11/10/2017	W2	298	899
01/11/2017	W2	202	398
08/11/2017	W1	441	731
16/11/2017	W3	418	741
23/11/2017	W2	413	612
14/12/2017	W1	440	863
20/12/2017	W2	235	478
01/02/2018	W1	369	558
08/02/2018	W2	135	454
22/02/2018	W1	232	445
Média		320	563
DP		104	231

Fonte: adaptada de Brito, 2017.

4.2 TANQUE SÉPTICO-FILTRO ANAERÓBIO CONSTRUÍDO NA UFPB

As informações a respeito desse sistema foram extraídas de Fernandes (2012), cuja dissertação abordou o conjunto tanque séptico-filtro anaeróbico (TSFA), construído na Residência Universitária do Campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), no bairro Castelo Branco, em João Pessoa-PB (Figura 15).

Figura 15: Localização do sistema experimental (TSFA), na Residência Universitária da UFPB.



Fonte: *Google Earth Pro*, 2018.

O sistema (Figura 16) é composto pelo tanque séptico, pela caixa de distribuição de vazão e por três filtros anaeróbios (F1, F2 e F3) de fluxo ascendente, cada um com um leito filtrante diferente, conforme indicado na Figura 17: bucha vegetal (F1), aparas de eletroduto corrugado, com diâmetro de 20 mm (F2) e brita com diâmetro de 32 mm (F3). De acordo com Fernandes (2012), não se utilizou brita de diâmetro superior, como recomendado pela norma, para se testar a viabilidade do uso de material de mais fácil aquisição no mercado local.

Figura 16: Conjunto TSFA na Residência Universitária da UFPB.



Fonte: Souza, 2014.

Figura 17: Filtros anaeróbios e seus leitos filtrantes: bucha vegetal (F1), Eletroduto corrugado (F2) e pedra britada 32 mm (F3).

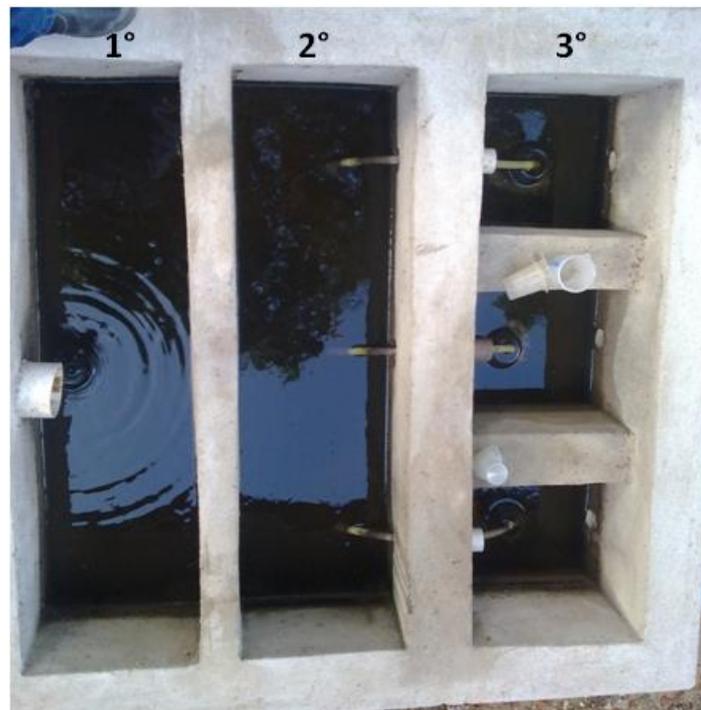


Fonte: Adaptada de Fernandes, 2012.

O esgoto afluyente ao sistema era proveniente de dois banheiros localizados no primeiro andar da Residência Universitária, de onde era gerado cerca de 360 l/dia de esgoto por 4 habitantes, sendo 2 para cada banheiro. Ao sair dos banheiros, o esgoto passava pelo tanque séptico, constituído por um reservatório de fibra de vidro com capacidade de 2.000 litros. Depois, seguia para a caixa distribuidora de vazão, construída com alvenaria de tijolo e

cujo volume era de 177 litros; o tempo de detenção hidráulico previsto inicialmente seria de 13,3 horas, diminuindo ao longo de 1 ano, à medida que o espaço vai sendo ocupado pelo lodo gerado. E, finalmente, chegava aos filtros, constituídos por três bombonas de polietileno, cujo volume útil era de 200 litros cada. A caixa separadora de vazão (Figura 18), era dividida em três compartimentos: do primeiro para o segundo havia um anteparo, por meio do qual o esgoto passava por baixo a fim de evitar caminhos preferenciais; do segundo para o terceiro havia três sifões que dividiam a vazão por igual, de maneira que o terceiro compartimento (dividido em três partes) enchia simultaneamente ao segundo.

Figura 18: Caixa separadora de vazão, mostrando seus compartimentos.



Fonte: Adaptada de Fernandes, 2012.

Foram feitas coletas mensais do esgoto proveniente do tanque séptico e dos filtros nas datas mostradas na Tabela 2. Pelo fato de não ter sido coletado o esgoto bruto, não foi possível calcular as eficiências dos conjuntos para compará-los com os demais sistemas.

Tabela 2: Datas de coleta e análise dos parâmetros DBO e DQO do esgoto afluente ao sistema.

DBO	DQO
26/05/2011	-
22/06/2011	-
21/07/2011	-
24/08/2011	24/08/2011
22/10/2011	22/09/2011
-	11/11/2011
15/03/2012	15/03/2012
29/03/2012	29/03/2012
19/04/2012	19/04/2012

Fonte: adaptada de Fernandes, 2012.

Na pesquisa de Fernandes (2012), foram analisados diversos parâmetros; entretanto, neste trabalho, só foram abordados os parâmetros DBO e DQO. As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da UFPB e os métodos analíticos seguiram as recomendações descritas em APHA et al. (1998).

4.3 TANQUE SÉPTICO-FILTRO ANAERÓBIO CONSTRUÍDO NA UFRJ

As informações a respeito desse sistema foram extraídas de Ávila (2005), cuja dissertação avaliou o desempenho de sistemas TSFA com diferentes tipos de meio suporte.

O conjunto TSFA foi construído em 2004, no Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal do Rio de Janeiro (CETE Poli/UFRJ), localizado no bairro Cidade Universitária, na cidade do Rio de Janeiro-RJ, a fim de servir como experimentos para o tratamento de esgotos. O CETE Poli/UFRJ está mostrado na Figura 19.

Figura 19: Vista geral do Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal do Rio de Janeiro (CETE Poli/UFRJ).



Fonte: Ávila, 2005.

Inicialmente, o esgoto passava por um tratamento preliminar (Figura 20) comum a todas as unidades: grade de barras de seção 6,3 x 50 mm e espaçamento de 25 mm, para impedir a entrada de materiais grosseiros, e desarenador de 2,5 x 0,4 m para a deposição de sólidos minerais (ÁVILA, 2005).

Figura 20: Tratamento preliminar do esgoto bruto.



Fonte: Ávila, 2005.

Após o tratamento preliminar, era adicionado lodo ao esgoto, a fim de aumentar as concentrações dos parâmetros físico-químicos (DBO, DQO, sólidos suspensos totais, fixos e voláteis) e torná-los mais semelhantes aos esgotos sanitários, pois o esgoto afluente ao CETE Poli/UFRJ era considerado um “esgoto fraco”, ou seja, havia baixa concentração de matéria orgânica. Antes de ser adicionado, o lodo era estabilizado anaerobicamente, desidratado mecanicamente (30% de teor de sólidos) e solubilizado em um tanque de equalização (Figura 21). A vazão de lodo solubilizado que era adicionado equivalia a 10% da vazão de esgoto afluente ao CETE Poli/UFRJ.

Figura 21: Tanque de armazenamento do lodo (à esquerda) e tanque de equalização (à direita) do sistema de tratamento de esgotos do CETE Poli/UFRJ.



Fonte: Ávila, 2005.

Após a equalização, o esgoto era distribuído igualmente pelas três unidades do conjunto TSFA, através de uma caixa de distribuição, como mostra a Figura 22.

Figura 22: Caixa de distribuição de vazão, localizada anteriormente aos filtros.



Fonte: Ávila, 2005.

Outro lodo, proveniente de um sistema de tratamento de esgotos de condomínio residencial, também foi aplicado. O sistema era composto de um reator UASB seguido de filtro biológico percolador. Antes de chegar aos tanques sépticos, o lodo passava pela grade e pelo desarenador. Foram inoculados 600 litros, 200 para cada tanque. Esse volume corresponde a aproximadamente 30% do volume de lodo do tanque em pleno funcionamento (volume de digestão + volume de armazenamento).

Cada tanque séptico media 2,0 m de comprimento, 0,90 m de largura e 2,33 m de altura, e cada filtro media, 1,0 m de comprimento, 0,90 m de largura e 2,33 m de altura. Todos foram construídos em concreto armado. Os meio suportes utilizados nos filtros foram: anéis de plástico para o filtro 1, brita n.º 4 para o filtro 2 e cubos de espuma de poliuretano, para o filtro 3, como mostra a Figura 23.

Figura 23: Meio suporte dos filtros anaeróbios: anéis plásticos, brita e cubos de espuma, respectivamente, localizados no CETE Poli/UFRJ.



Fonte: Ávila, 2005.

Cada filtro anaeróbio foi construído com dois dispositivos de entrada, um na parte superior e outro na parte inferior do filtro. Como o filtro funcionava com fluxo ascendente, o dispositivo superior permanecia fechado. Havia cinco dispositivos de saída, a fim de se avaliar a qualidade do efluente em função da altura do filtro. Entretanto, neste trabalho, foi considerado apenas a coleta realizada na saída do filtro de fluxo ascendente, localizada a 19 cm do topo do filtro. Os filtros com suas tubulações estão mostrados na Figura 24.

Figura 24: Partes externa e interna dos filtros anaeróbios.



Fonte: Ávila, 2005.

Apesar de terem sido determinados vários parâmetros na pesquisa de Ávila, apenas foram usados, neste trabalho, os parâmetros DBO e DQO, a fim de ser comparada a eficiência dos sistemas na remoção de matéria orgânica. Os dados do esgoto afluyente aos TSFA em relação a esses parâmetros e as datas de coleta encontram-se na Tabela 3. As coletas eram feitas nos três conjuntos TSFA simultaneamente e as análises foram realizadas no Laboratório de Engenharia do Meio Ambiente (LEMA) da Escola Politécnica da UFRJ e seguiram os métodos recomendados e descritos em APHA et al. (1999).

Tabela 3: Datas das coletas do esgoto afluyente ao sistema e valor dos parâmetros DBO e DQO, com média e desvio padrão para cada parâmetro.

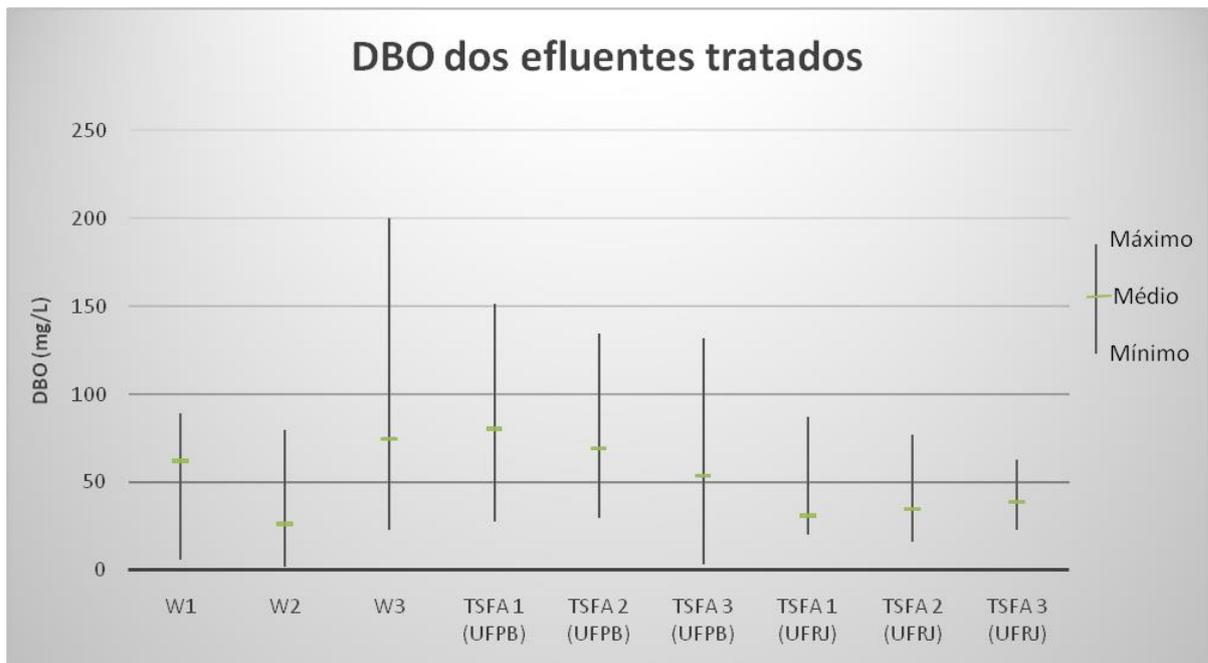
DATA	DBO (mg/L)	DATA	DQO (mg/L)
16/08/2004	107	08/07/2004	498
13/09/2004	90	15/07/2004	409
18/10/2004	101	22/07/2004	434
08/11/2004	69	29/07/2004	310
22/11/2004	139	05/08/2004	447
06/12/2004	137	12/08/2004	341
13/12/2004	111	06/08/2004	302
-	-	23/08/2004	238
-	-	30/08/2004	217
-	-	08/09/2004	288
-	-	13/09/2004	282
-	-	20/09/2004	309
-	-	27/09/2004	432
-	-	04/10/2004	240
-	-	13/10/2004	169
-	-	18/10/2004	232
-	-	25/10/2004	163
-	-	08/11/2004	172
-	-	16/11/2004	200
-	-	22/11/2004	371
-	-	29/11/2004	282
-	-	06/12/2004	428
-	-	13/12/2004	440
-	-	20/12/2004	545
Média	108	Média	323
DP	25	DP	110

Fonte: adaptado de Ávila, 2005.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de DBO do efluente tratado em cada sistema (*wetlands* e conjuntos TSFA da UFPB e da UFRJ) foram expostos em gráfico (Gráfico 1), mostrando os valores máximo, médio e mínimo e posteriormente comparados.

Gráfico 1: Resultados de DBO do esgoto tratado por cada um dos sistemas (as três *wetlands*, os três TSFA da UFPB e os três TSFA da UFRJ), destacando os valores máximo, mínimo e médio.



Fonte: o autor, 2018.

Percebe-se, pelo Gráfico 1, que a W2 (composta por RCC cerâmico) apresentou o menor valor de DBO em uma de suas coletas (2 mg/L), seguido pelo TSFA 3 da UFPB (filtro preenchido com pedra britada), com 3,6 mg/L, e pela W1 (composta por argila expandida), de 6 mg/L. A média mais baixa também foi apresentada pela W2, com 26,27 mg/L, seguida pelo TSFA 1 da UFRJ (filtro de anéis plásticos), de 31 mg/L, e pelo TSFA 2 (filtro de brita), também da UFRJ, com 35 mg/L de DBO.

Apesar de a W3 (composta por RCC concretício) ter apresentado as maiores variações nos resultados, chegando a 200 mg/L, as eficiências de remoção de DBO das *wetlands* foram satisfatórias, como mostra a Tabela 4, a qual exhibe as médias das eficiências das *wetlands* e dos TSFA da UFRJ. Os TSFA da UFPB, como já comentado na metodologia

deste trabalho, não se encontram na tabela por não ter sido analisado o esgoto bruto na pesquisa de Fernandes (2012).

Tabela 4: Médias das eficiências na remoção de DBO pelas três *wetlands* e pelos três conjuntos TSFA da UFRJ.

Eficiência de remoção de DBO	
W1	80%
W2	90%
W3	79%
TSFA 1 (UFRJ)	64%
TSFA 2 (UFRJ)	67%
TSFA 3 (UFRJ)	63%

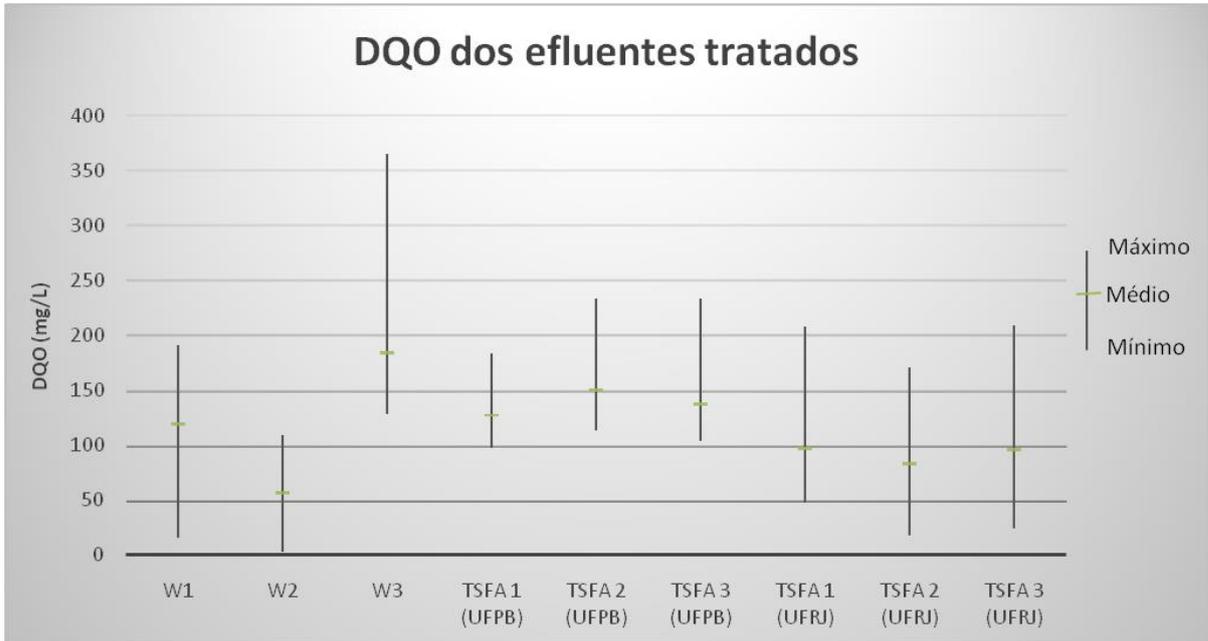
Fonte: adaptado, 2018.

Por meio da Tabela 4, pode-se confirmar as maiores eficiências das *wetlands* em relação aos TSFA da UFRJ, chegando até 90%, no caso da W2. Além disso, mesmo a W3 tendo apresentado valores muito altos de DBO, apresentou eficiência maior do que os três TSFA da UFRJ. Entretanto, é importante ressaltar que as concentrações afluentes são diferentes.

Sendo assim, tanto as *wetlands* quanto os conjuntos TSFA da UFRJ apresentaram valores de DBO dentro dos padrões impostos no Art. 21 da Resolução nº 430/2011 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), para o lançamento de efluentes, cuja concentração máxima é de 120 mg/L. No caso da W3, mesmo ultrapassado este limite, ainda se encontra dentro dos padrões, já que a Resolução afirma que, para esses casos, são aceitáveis quando se tem eficiência de remoção mínima de 60%.

Da mesma forma, os resultados da DQO para o esgoto efluente a cada sistema foi exposto em gráfico, mostrando os valores máximo, médio e mínimo (Gráfico 2).

Gráfico 2: Resultados de DQO do esgoto tratado por cada um dos sistemas, destacando os valores máximo, mínimo e médio.



Fonte: o autor, 2018.

Pelo Gráfico 2, percebe-se que, assim como na DBO, a W2 apresentou o menor valor de DQO (3 mg/L), seguida pela W1 (16 mg/L) e pelo TSFA 2 da UFRJ, com 18 mg/L. A maior média foi obtida também pela W2 (56 mg/L), seguida pelo TSFA 2 da UFRJ (83 mg/L) e pelo TSFA 3 da UFRJ (filtros de cubos de espuma), com 96 mg/L. Da mesma forma da DBO, a W3 mostrou as maiores variações, chegando a 365 mg/L de DQO.

Os resultados dos tanques sépticos-filtros anaeróbios construídos na UFPB, tanto para DBO quanto para DQO, de acordo com Fernandes (2012), podem ter sido influenciados por fatores que levam desvantagem ao sistema, como dependência da adaptação dos organismos decompositores; possível liberação de matéria orgânica solúvel em água, no tanque séptico; e remoção do biofilme causada pelos picos de vazão. As mesmas observações podem ser aplicadas aos TSFAs construídos na UFRJ. Além disso, é interessante ressaltar que, entre os sistemas analisados neste trabalho, foi o único que não passou por tratamento preliminar.

A Tabela 5 mostra as médias das eficiências de remoção de DQO pelas *wetlands* pelos conjuntos TSFA da UFRJ.

Tabela 5: Médias das eficiências na remoção de DQO pelas três *wetlands* e pelos três conjuntos TSFA da UFRJ.

Eficiência de remoção de DQO	
W1	80%
W2	88%
W3	66%
TSFA 1 (UFRJ)	67%
TSFA 2 (UFRJ)	73%
TSFA 3 (UFRJ)	67%

Fonte: adaptado, 2018.

A Tabela 5 confirma os melhores resultados das *wetlands* na remoção de DQO, só deixando a desejar a W3 (66%).

Sendo assim, pode-se afirmar que a *wetland 2* apresentou os melhores resultados na remoção de matéria orgânica em relação aos conjuntos TSFA da UFPB e da UFRJ, além da melhor eficiência de remoção, comparando-se com os conjuntos TSFA da UFRJ. Esses resultados devem-se ao leito filtrante, composto por RCC cerâmico.

É importante salientar que, como as características dos esgotos são diferentes, os resultados devem ser interpretados com ressalvas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre todos os sistemas analisados, a W2 apresentou os melhores resultados de concentração de DBO e DQO no esgoto tratado, mostrando que o RCC cerâmico constitui boa opção como leito filtrante para esse tipo de tecnologia. Também, as *wetlands* apresentaram eficiências de remoção de matéria orgânica maiores do que as eficiências dos conjuntos TSFA da UFRJ.

Fica claro, portanto, que o sistema *wetland* construído constitui uma alternativa ao conjunto TSFA, pois possui boa eficiência, chegando a ser maior do que alguns sistemas fossa-filtro, além de ser possível sua implantação tanto no meio urbano quanto no meio rural. Entretanto, é importante estudar esses sistemas utilizando o mesmo esgoto afluyente, a fim de poder compará-los com mais segurança.

REFERÊNCIAS

ANJOS, J. A. S. A. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (*wetland*) no controle da poluição por metais pesados: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA.** 2003. 328 p. Tese de doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <file:///C:/Users/Rebecca/Documents/TCC/tese%20wetland.pdf> Acesso em: out/2018.

APHA/AWWA. **Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20. ed. Washington DC, 1998.

APHA/AWWA/WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed., Washington DC, 2005.

APHA/AWWA/WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20. Ed., Washington, DC, 1999.

ÁVILA, R. O. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte.** 2005. Tese (Mestrado em Ciências e Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. 166 p. Disponível em: <<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/images/Documento/teses/RenataOliveiradeAvila.pdf>> Acesso em: out/2018.

BACKES, F. J. **Avaliação da eficiência de um sistema fossa séptica e filtro anaeróbio em escala piloto para o tratamento de efluente sanitário com a adição de papel higiênico como fonte de matéria orgânica.** 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Vale do Taquari, Univates, Lajeado. 86 f, 2016. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1400/1/2016FranciscoJoseBackes.pdf>> Acesso em: out/2018.

BORGES, N. B. **Caracterização e pré-tratamento de lodo de fossas e de tanques sépticos.** 2009. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. 150 f. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-30032010-151857/pt-br.php>> Acesso em: out/2018.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD. **Acesso ao esgotamento sanitário – área urbana.** 2009. Disponível em: <https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/lista_tema.aspx?op=0&no=16&de=86> Acesso em: jul/2018.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Poder Executivo, Brasília, DF, 2007. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2007/lei-11445-5-janeiro-2007-549031-norma-actualizada-pl.pdf>> Acesso em: out/2018.

_____. Ministério da Saúde. **Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI)**. 2016. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=1&op=1&vcodigo=AM38&t=doencas-relacionadas-saneamento-ambiental-inadequado-drsai>> Acesso em: jul/2018.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, 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. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: set/2018.

_____. **Projeto Bramar**. Disponível em: < <https://www.bramar.net/pt/>> Acesso em: jul/2018.

BRITO, S. M. C. **Influência do meio suporte na eficiência de remoção em *wetlands* tratando esgoto sanitário**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba – Campus I, João Pessoa. 48 p., 2017. Disponível em: <<https://security.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2017.1/influencia-do-meio-suporte-na-eficiencia-de-remocao-em-wetlands-tratando-esgoto-sanitario.pdf/view>> Acesso em: set/2018.

BUENO, R. F. **Aplicação de wetlands construídos como sistemas descentralizados no tratamento de esgoto**. Capítulo Nacional da AIDIS. ABES, SP. 2013. Disponível em: <<http://www.abes-sp.org.br/arquivos/evento210613/02.pdf>> Acesso em: set/2018.

CAVALCANTE, F. L. **Avaliação da eficiência de filtros anaeróbios na remoção de coliformes fecais e ovos de helmintos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. Disponível em: <<ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/FernandaLC.pdf>> Acesso em: out/2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Reatores**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/biogas/biogas/reatores/>> Acesso em: out/2018.

CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. **Reatores anaeróbios**. 2. Ed. Belo Horizonte: DESA – UFMG, 2007. Vol. 05, 380 p.

CONSTRUÇÃO, MEIO AMBIENTE E SAÚDE. **Fossa Séptica - Prevenção de doenças e da contaminação do solo.** [1999?]. Disponível em: <http://www.edifique.arq.br/nova_pagina_12.htm> Acesso em: set/2018.

FERNANDES, W. V. **Uso da luffa cylindrica como meio suporte para crescimento bacteriano em filtro anaeróbio tratando esgotos domésticos.** 2012. Dissertação (Mestrado) - Campus I, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

FUNASA. Fundação Nacional De Saúde. **Manual de Saneamento.** 3. ed. Brasília, 2007. 408 p.

GOMES, B. G. L. A. **Tratamento de esgoto de pequena comunidade utilizando tanque séptico, filtro anaeróbio e filtro de areia.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Campinas, 2015. 138 f. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258423/1/Gomes_BiancaGraziellaLentoAraujo_M.pdf> Acesso em: out/2018.

GOOGLE. **Google Earth Pro.** Version 7.3.2. 2017. Estação de Tratamento de Esgoto de Mangabeira IV, João Pessoa-PB.

_____. **Google Earth Pro.** Version 7.3.2. 2018. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB.

KLETECKE, R. M. **Remoção/exportação de nutrientes de esgoto doméstico utilizando plantas ornamentais: *Hedychium coronarium*, *Heliconia psittacorum*, *Cyperus alternifolius* e *Colocasia esculenta*.** 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/256883/1/Kletecke_RojaneMagda_D.pdf> Acesso em: out/2018.

LAUTENSCHLAGER, S. R. **Modelagem do desempenho de wetlands construídas.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. 90 p. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-11072002-091741/pt-br.php>> Acesso em: out/2018.

MOLLE, P. et al.. How to treat raw sewage with constructed wetlands: An overview of the French systems. **Water Science & Technology**, 2005, v. 51, n° 9, p. 11-21. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/7703807_How_to_treat_raw_sewage_with_constructed_wetlands_An_overview_of_the_French_systems> Acesso em: out/2018.

NEW ENGLAND WILD FLOWER SOCIETY. **Discover thousands of New England native plants.** [2018?]. Disponível em: <<http://www.newenglandwild.org/>> Acesso em: out/2018.

PAPA AGUAPÉ. **O que é aguapé.** [2018?] Disponível em: <<http://www.papaaguape.com.br/o-que-e-aguape>> Acesso em: out/2018.

POÇAS, C. D. **Utilização da tecnologia de *wetlands* para tratamento terciário:** controle de nutrientes. 2015. 93 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-23112015-122556/pt-br.php>> Acesso em: out/2018.

PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** 1. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p. Disponível em: <<https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosabcamposfinal.pdf>> Acesso em: out/2018.

QUELUZ, J. G. T. **Eficiência de alagados construídos para o tratamento de águas residuárias com baixas cargas orgânicas.** 2016. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp – Campus de Botucatu, Botucatu, 2016. Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq1513.pdf>> Acesso em: out/2018.

REINALDO, G. P. B. et al.. Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 62-74, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.723>> Acesso em: out/2018.

REZENDE, A. T. **Reúso urbano de água para fins não potáveis no Brasil.** 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC-AMANDA-REZENDE-FINAL.pdf>> Acesso em: out/2018.

SALARO JUNIOR, R. **Avaliação da eficiência de sistema fito-pedológico (*wetlands*) na depuração de efluentes domésticos gerado em pequena comunidade.** 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90685/salarojunior_r_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: jul/2018.

SALATI, E. **Controle de qualidade de água através de sistemas de *wetlands* construídos.** 2006. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS. Rio de Janeiro-RJ. Disponível em: http://www.fbds.org.br/Apresentacoes/Controle_Qualid_Agua_Wetlands_ES_out06.pdf Acesso em: out/2018.

SILVA, R. D. **O efeito do tempo de ciclo de operação de filtração sobre a eficiência de *wetlands*.** 2017. 50 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Campus I, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. Disponível em: <https://security.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2017.1/o-efeito-do-tempo-de-ciclo-de-operacao-de-filtracao-sobre-a-eficiencia-de-wetlands.pdf> Acesso em: out/2018.

SOUZA, S. F. L. **Influência do uso de um dispositivo limitador de picos de vazão na performance de filtros anaeróbios pós tanques sépticos.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014. CD-ROM.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1995, v. 1, 240 p.