

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIBIC IFCE/CNPQ/FUNCAP
PRPI/REITORIA EDITAL – Nº 1/2020

IMPORTÂNCIA DOS SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE BIOTRATAMENTO DE EFLUENTES



Bolsista e Orientanda da Pesquisa: Maria Lení Oliveira
Coordenador e Orientador: Francisco Amilcar Moreira Junior

SOBRAL/CE
2021

Apresentação

O déficit nos serviços de saneamento básico aponta para a necessidade de tecnologias de saneamento inovadoras, menos onerosas, mais eficientes e funcionais adequadas à realidade das populações que demandam esses serviços. A escassez hídrica provocada pela falta de saneamento básico é um grande obstáculo, pois muitas vezes a qualidade da água é comprometida o que resulta em sérios problemas ambientais e de saúde pública.

Refletir sobre saneamento ambiental vai além de uma questão de saúde pública, envolve também outros aspectos sociais, econômicos e naturais, os quais são indispensáveis à dignidade humana. Incorporado ao contexto da sustentabilidade, a grande relevância de novos mecanismo de biotratamento se torna algo importantíssimo pois, quanto maiores forem os esforços em novas tecnologias sustentáveis, maiores serão as garantias para a saúde da população e do meio ambiente como um todo. Para isso é de grande relevância fomentar a prática da educação ambiental.

Esta, compromete-se com a formação de sujeitos ambientalmente responsáveis e com a construção de uma sociedade sustentável. Para Corrêa e Ashley (2018) a educação ambiental refere-se a uma forma diferente de enxergar e lidar com a relação humanidade e natureza, em que a conscientização é vista como um comprometimento com a transformação de uma sociedade injusta e desigual. Desta forma, ela também é educação para cidadania, resultando em sujeitos cidadãos, transformando a realidade ao seu redor e sua qualidade de vida.

O saneamento ecológico é um termo usado para o tratamento biológico de efluentes domésticos, no qual visa propor um cuidado alternativo de esgoto como solução econômica, social e ambientalmente favorável. Para isso, é necessário utilizar alguns métodos, sendo um deles conhecido por sistema Wetland (alagados construídos), no qual é composto por um tanque impermeabilizado preenchido com um leito de material filtrante, que serve de suporte para plantas aquáticas (GUTIERREZ, 2018). Esta é uma possibilidade que tem se revelado eficiente, de baixo custo e tem como finalidade a

fitorremediação, ou seja, técnica capaz de empregar sistemas vegetais e sua microbiota com o propósito de tratar os efluentes (PINAFFI, 2017).

Outro fator de grande relevância é a prática do reuso de águas oriundas de efluentes pós biotratamento, promovendo o desenvolvimento das atividades econômicas e redução da demanda de água. É importante ressaltar que as recomendações para o reuso são restritivas, por exemplo, para irrigação de alimentos ingeridos sem passar por cozimento conforme aponta a Resolução COEMA nº02/2017 (Conselho Estadual de Meio Ambiente).

É indispensável o cuidado quanto a presença de patógenos e poluentes, pois o contato direto com o efluente mesmo após o biotratamento ainda pode ser um risco à saúde pública, por esse motivo é necessária atenção prioritária ao pensar em suas aplicações respeitando assim os padrões de qualidade para água de reuso. Com isso, uma alternativa bastante viável é o reuso não potável na irrigação de árvores frutíferas e plantas não alimentícias, como é o caso da jardinagem.

Os sistemas de saneamento alternativos lutam pela eficiência dos recursos, redução do consumo de água e evitam a contaminação de corpos hídricos. O uso agrícola de recuperação dos compostos orgânicos e nutrientes contidos no esgoto melhora a estrutura e fertilidade do solo, aumentando a produtividade agrícola (PERJESSY, 2017).

Validando estudos anteriormente realizados e ressaltando aqui o projeto de pesquisa intitulado: Sistema Sustentável de Biotratamento de Efluentes via Fluxo Contínuo e por Acoplamento Vegetal e Bacteriano, é apresentado nesta Cartilha Educativa as vantagens, importância e elucidação, quanto a esta tecnologia alternativa de biotratamento na qual visa inovação e sustentabilidade em locais com ausência de serviços de esgotamento sanitário em comunidades rurais.

Deve-se incluir neste cenário a prática da educação ambiental na formação de atitudes multiplicadoras de hábitos ambientalmente corretos, pois são de extrema importância para que todo o processo de cuidado para com o meio ambiente aconteça.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	5
Você sabia?	6
O QUE SÃO SISTEMAS ALTERNATIVOS DE BIOTRATAMENTO UTILIZANDO- SE PLANTAS NO PROCESSO?	7
IMPORTÂNCIA DESTE ESTUDO	9
ESGOTO: PROBLEMA OU SOLUÇÃO?	12
REUSO	12
SISTEMA ALTERNATIVO DO PROJETO DE PESQUISA	14
Sistema Sustentável de Biotratamento de Efluentes Via Fluxo Contínuo e por Acoplamento Vegetal e Bacteriano.....	14
Materiais Utilizados para Montagem do Sistema.....	14
Procedimento de Montagem.....	15
Funcionamento do Sistema de Biotratamento	16
ATUAÇÃO DE OUTROS TRABALHOS	18
CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

INTRODUÇÃO

As populações mais vulneráveis social e economicamente tendem a ser as mais expostas a todos os prejuízos causados pela inadequação da oferta dos serviços de esgotamento sanitário. O potencial das tecnologias alternativas de tratamento de efluentes domésticos são capazes de minimizar os impactos à saúde da população e do meio ambiente sem dissociar da temática da sustentabilidade, fazendo com que utilizemos os recursos naturais. Estes incluem o solo e os meios hídricos para suprir nossas necessidades, sem que haja desgaste significativo deles para as futuras gerações.

Na atualidade, a procura por essas alternativas de tratamento de efluentes domésticos deve ser evidenciada, pois há formas simples e eficiente de realizar esse processo. É importante ressaltar que uma dessa tecnologia torna-se viável ao passo que além dos benefícios ao meio ambiente conduz-se para a prática da educação ambiental. Esta, por sua vez, é a base de todo o processo evolutivo do modo de pensar das pessoas quanto a importância das questões ambientais, tendo como principal consequência positiva as ideias formadas em prol do combate a poluição ambiental.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) as regiões Norte e Nordeste apresentam os menores percentuais de atendimento aos serviços de esgotamento sanitário (BRASIL, 2021). Surge a urgência de se investir nos métodos acessíveis àqueles menos favorecidos economicamente.

Há estudos que evidenciam a viabilidade dos sistemas de biotratamento bem como sua eficiência. A integralização desses processos de tratamento e em seguida o reuso de materiais antes considerados rejeitos, gera uma economia circular por meio de arranjos tecnológicos mais sustentáveis e dando uma nova definição e horizonte ao saneamento, que é a de saneamento ecológico (SANTOS *et al.*; 2019).

Conforme Santos *et al.* (2019) o saneamento convencional centralizado a ser aplicado em locais e comunidades mais afastados dos grandes centros, esbarra nos custos altíssimos de implantação de redes de coleta, sendo assim, as alternativas descentralizadas de novos arranjos tecnológicos se mostram viáveis para universalização do saneamento e proteção da saúde pública principalmente em zonas rurais.

Um exemplo desses novos arranjos tecnológicos de biotratamento é o sistema Wetlands (horizontais ou verticais), no qual é um complexo individual de tratamento que utilizam plantas aquáticas (macrófitas) em um meio suporte. Para Oliveira (2020) a construção destes agrupamentos a partir de materiais recicláveis ou alvenaria é viável, sendo realizada por um baixo custo e acessível a qualquer pessoa que deseje executá-lo, principalmente comunidades carentes de saneamento básico como zonas rurais, por exemplo.

O protótipo do sistema de biotratamento mostrado nesta cartilha denominado Sistema Sustentável de Biotratamento de Efluentes via Fluxo Contínuo e por Acoplamento Vegetal e Bacteriano, nomeado pelo autor como “SBVB”, é mais uma inovação proposta para oferecer as famílias carentes de saneamento básico uma alternativa de tratar de forma simples o seu esgoto doméstico gerado.

Você sabia?

- As inconformidades dos serviços de saneamento básico são uma das principais causa de doenças e de poluição ambiental no mundo;
- Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2021), apenas 54,1% da população brasileira teve acesso à rede de esgotamento sanitário;
- A cada R\$ 1 investido em saneamento, R\$ 9 são economizados em gastos com saúde (BRASIL, 2017);
- A água tratada por meio do biotratamento poderá ser propícia ao reuso, impulsionando o combate ao desperdício de água;



Fonte: Aplicativo Avatoon, 2021.

O QUE SÃO SISTEMAS ALTERNATIVOS DE BIOTRATAMENTO UTILIZANDO-SE PLANTAS NO PROCESSO?

A utilização de plantas no tratamento de esgotos é uma tecnologia emergente, por ser eficiente na remoção de nutrientes e matéria orgânica, também estética, pois além de tratar o esgoto há a expressividade visual obtida pelas plantas presentes no sistema, e de baixos custos energéticos e operacionais, por meio da flexibilidade de operação. Ademais, atualmente, tem se revelado como uma boa alternativa aos modelos convencionais e sido utilizada como opção para tratamento de esgoto doméstico de pequenas comunidades (OLIVEIRA; FERNANDES; SANTIAGO, 2017).

Estes sistemas utilizam plantas onde suas raízes atuam como filtros, removendo contaminantes e degradando microbiologicamente a matéria orgânica através de interações bioquímicas (JÚNIOR *et al.*; 2019). Ou seja, a degradação da matéria orgânica ocorre através do metabolismo (catabolismo e anabolismo) que acontece dentro do modelo, proporcionando o crescimento dos organismos decompositores e resultando no beneficiamento da flora presentes no ambiente de tratamento.

Piermatei (2018) explica que o tratamento biológico de efluentes através da fitorremediação é um processo que utiliza plantas capazes de absorver e degradar contaminantes da água e o motivo para sua absorção se resume na necessidade de absorver determinados componentes que são micronutrientes essenciais para o desenvolvimento e funcionamento delas.

A flora propícia ao processo de fitorremediação devem possuir determinadas características como uma boa capacidade de absorção e resistência ao poluente (PINAFFI, 2017).

Um exemplo desses sistemas de fitorremediação é o *Wetlands*, no qual é constituído de compartimento artificial, de baixa profundidade, preenchido com meio suporte inerte e cultivado com vegetação adaptada a ambientes aeróbios: que são capazes de utilizar o oxigênio em seu metabolismo; e/ou anaeróbios, que ao contrario, o metabolismo ocorre em ausência de oxigênio, como as macrófitas aquáticas que são vegetais que habitam ambientes aquáticos.

O tratamento ocorre pela ação conjunta da vegetação e do crescimento de biomassa aderida no meio suporte, essa biomassa é toda matéria orgânica, de origem vegetal ou animal presente no esgoto (SILVEIRA et al., 2020).

O sistema SBVB aqui exposto, comparado com outros biológicos de tratamento de esgotos domésticos, tem como vantagem o baixo custo de implantação, operação e manutenção, baixa mecanização, pois sua estrutura é apresentada de forma compacta e permite o fluxo contínuo do esgoto. Com isso, proporciona menor ocupação de espaço, facilidade para a introdução do efluente, simplicidade de manuseio e baixo custo econômico para comunidades de baixa renda e zonas rurais.

Esse sistema é basicamente composto por pequenas tubulações, nos quais serão preenchidos parcialmente com pedrisco e/ou brita e, plantas aquáticas, assim como, o efluente a ser tratado. Outra particularidade desse biotratamento deve-se ao uso de biofilme aderido ao material inerte (pedriscos e/ou brita), contribuindo na formação de colônias de bactérias e/ou fungos que crescem aderidos a superfícies e auxiliam na remoção da matéria orgânica e sobrecarga de nutrientes.

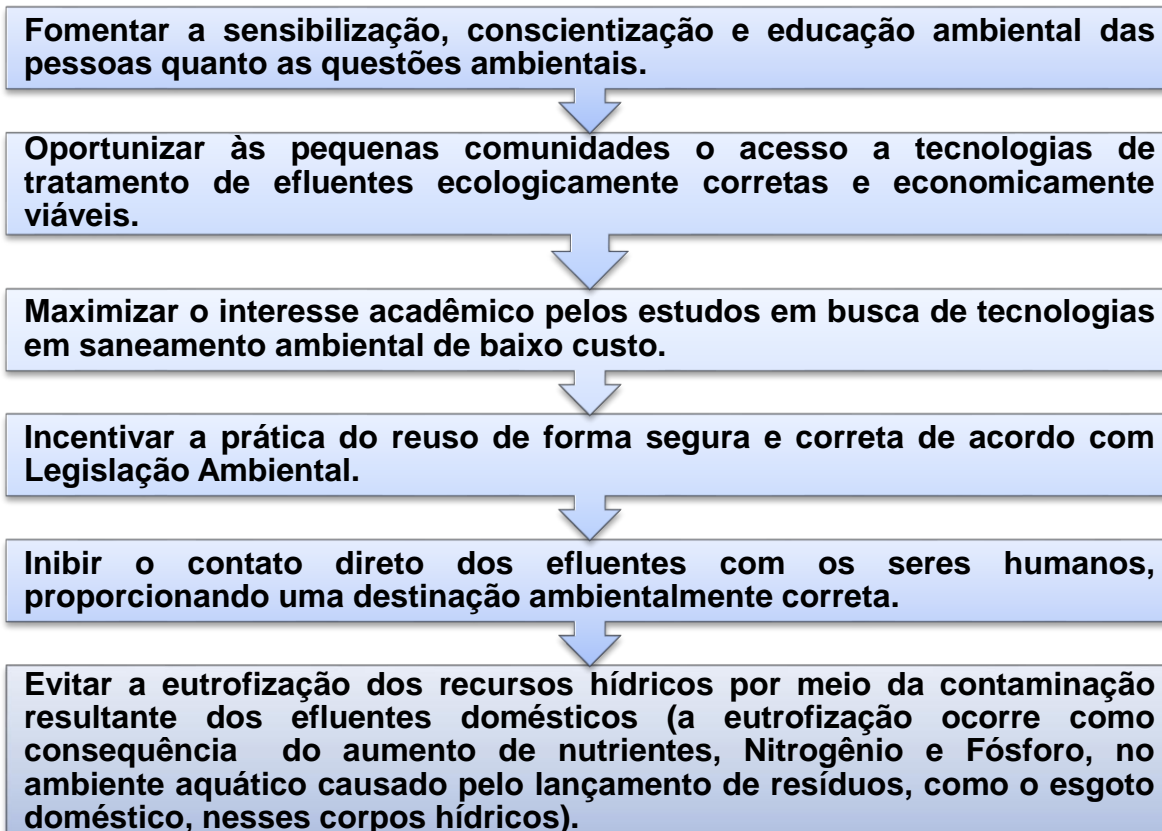
Dos microrganismos que promovem o tratamento biológico, as bactérias são essenciais para a eficácia do processo, pois são as principais responsáveis pela degradação da matéria orgânica, por meio de processos anaeróbios e aeróbios. As condições aeróbias são favorecidas principalmente pelo fornecimento de oxigênio pelas raízes das macrófitas aquáticas. A absorção de nutrientes para o bom desenvolvimento da planta ocorre em maior parte pelas raízes (OLIVEIRA et al, 2018).

Portanto, três componentes são de grande importância: o meio filtrante poroso (pedrisco e/ou pedras brita) e os microrganismos (biofilme bacteriano) e as macrófitas aquáticas.



Fonte: Aplicativo Avatoon,
2021

IMPORTÂNCIA DESTA PESQUISA



Atualmente os sistemas alternativos de tratamento de esgoto têm se revelado como uma boa possibilidade para pequenas comunidades rurais. Ressalta-se, a necessidade e a importância em se projetar soluções individuais que minimizem os impactos ambientais e sanitários em áreas rurais, e que sejam economicamente viáveis e sustentáveis (OUGO, OLIVEIRA, BOLONHESI, 2019).

É importante dizer que o sistema sustentável de biotratamento via acoplamento vegetal e bacteriano (SBVB), no qual foi proposto ao desenvolvimento deste projeto, tem como intuito operar em parceria com a interação das atividades vegetais e microrganismos presentes no meio, destacando a atividade bacteriana que atua em coparticipação com as plantas no ambiente de tratamento. Essa associação juntamente com outros fatores como pH, temperatura, remoção de macronutrientes e micronutrientes, supressão de material orgânico e odor, são fatores que promovem o biotratamento, elencado neste estudo. Sendo este um mecanismo de eliminação dos poluentes presentes no esgoto gerado nos domicílios.

Alguns estudos já realizados como o de Perjessy *et al* (2017) aborda o sistemas de zonas de raízes que: são reproduções de áreas alagáveis naturais construídas, utilizadas para realizar o cuidado de águas residuárias, se apresentam como uma alternativa viável para o tratamento de efluentes de origem doméstica, pois utilizam processos de fitorremediação.

Perjessy *et al* (2017) menciona ainda que na Europa, a tecnologia das estações de tratamento de esgoto por zona de raízes vem sendo muito utilizada em regiões não atendidas por redes coletoras de esgoto, principalmente na zona rural. Um fator relevante para o semiárido brasileiro, nesse sentido, é que essa tecnologia quando utilizada em regiões de climas tropicais há um acréscimo no seu desempenho, tendo em vista que nessa região do país, devido ao clima favorável, existe o beneficiamento do processo de fotossíntese nas culturas dos sistemas de zonas de raízes, principalmente as macrófitas aquáticas.

Este autor também aborda a metodologia do *Living Machine* (Máquina Viva) no qual utiliza sistemas biológicos naturais, criando um miniecosistema imitando o modelo de limpeza da água na natureza, com diversas comunidades bacterianas, algas, microrganismos, espécies de plantas e peixes que interagem como um todo em tanques e biofiltros, resultando no biotratamento de efluentes (Figura 01).

Figura 01: *Living Machine* (Máquina Viva)



Fonte: PERJESSY, 2017.

Tomando como base o comparativo com outros estudos pode – se entender melhor os mecanismos que ocorrem no biotratamento de esgoto e as eficiências adquirias com esse tratamento, e assim, verificar a possível viabilidade de outras

tecnologias inovadoras acessíveis, como SBVB por exemplo, dando acréscimo na importância dos sistemas sustentáveis de biotratamento de efluentes.

Em pesquisa sobre a avaliação do potencial de tratamento de águas residuárias em mecanismo híbrido de filtro anaeróbio e sistema wetlands, Oliveira (2020) constata a viabilidade do emprego deles de modo individuais de tratamento de esgoto doméstico, justamente por conta da sua simplicidade na construção e operação.

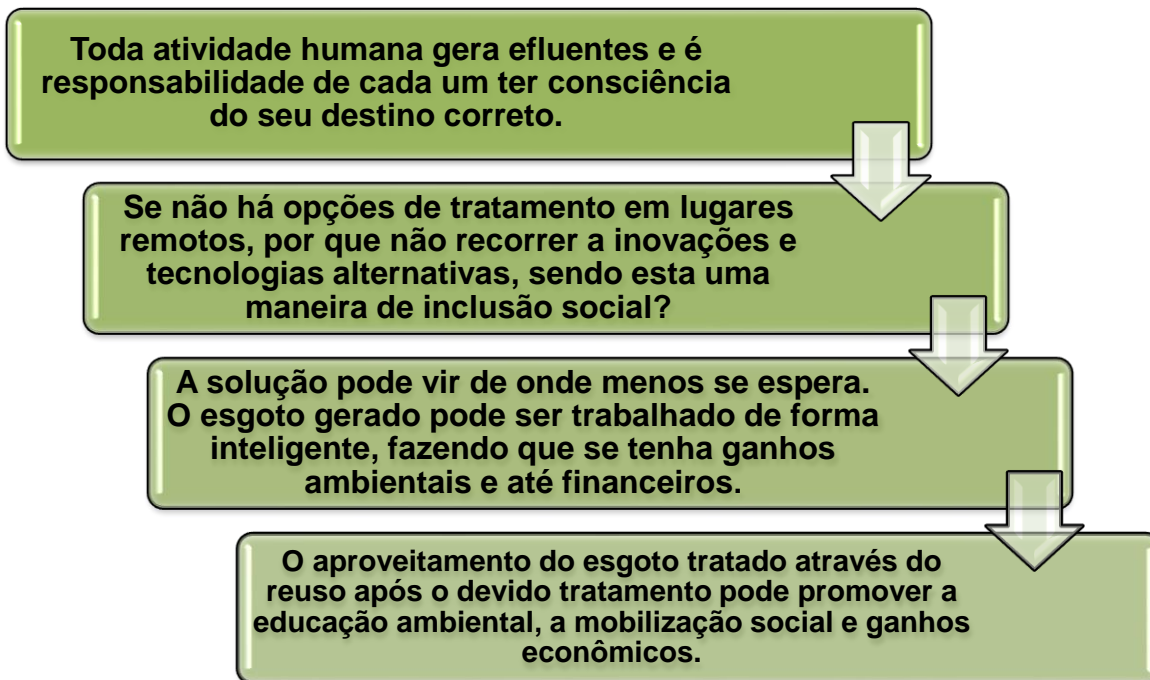
Segundo Figueiredo *et al* (2019) o reuso de água oriunda daqueles “efluentes” produzidos na lavagem de louças na cozinha, com aplicação em áreas de plantação frutífera tem possibilidade de desenvolvimento dessas plantas, resultado da presença de nutrientes (nitrogênio e fósforo) no esgoto, o que para o “SBVB” pode se tornar uma viabilidade de efluente a ser tratado e reaproveitado.

Para Pereira (2011) a água de reuso atende as demandas de diversas atividades/ finalidades, sejam elas realizadas com água potável ou não, e podem ser utilizadas com facilidade e segurança em processos de irrigação, jardinagem, limpezas de ruas e praças, bem como na agricultura evidenciando a sua potencialidade socioeconômica e ambiental. O autor ressalta ainda que cada 1 litro de água de reuso utilizada significa economizar 1 litro de água tratada, e os custos que seriam investidos no tratamento.

Em estudo feito utilizando-se bacia de evapotranspiração com a utilização de plantas de bananeiras e taiobas, houve bom desenvolvimento sugerindo que as condições nutricionais e hídricas foram satisfeitas (FIGUEIREDO, 2019).

Levando em consideração os estudos realizados pelos referidos autores, o protótipo aqui exposto demonstra ter uma correlação de tratamento e, com isso, a possibilidade potencial quanto ao tratamento de efluente doméstico. Bem como o reuso da água daquele, outrora esgoto tratado, em projetos paisagísticos, tendo como principal exemplo, a jardinagem.

ESGOTO: PROBLEMA OU SOLUÇÃO?



Fonte: Aplicativo Avatoon, 2021.

REUSO DE ÁGUA APÓS O BIOTRATAMENTO

A prática do reúso é muito utilizada em diversos países. Filho (2013) menciona que em Israel, as águas residuárias desempenham um papel dominante na agricultura, onde muitos sistemas de reciclagem de esgotos operam principalmente na irrigação agrícola.

O reúso de águas residuárias é uma alternativa sustentável, mas quando se fala de sistemas de tratamento em locais com carência de recursos ou mesmo com saneamento praticamente ausente, deve-se levar em consideração que a não desinfecção desses esgotos, conseqüentemente, limita as possibilidades de reutilização. E com isso, devido o reaproveitamento nas práticas agrícolas, quando se fala em irrigação de hortaliças ingeridas cruas, para garantir a saúde dos consumidores é necessário realizar o polimento do esgoto tratado.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2021) em experimento realizado com o cultivo de alface por meio de gotejamento do efluente tratado em estação de tratamento de esgoto, não houve contaminação nem qualquer diferença nos índices de produtividade (Figura 02).

Figura 02: Área cultivada com alface por meio de gotejamento de efluente tratado.



EMBRAPA, 2021.

Os sistemas alternativos de tratamento de efluentes tem grande potencial de reuso na agricultura. No entanto, deve-se ter o cuidado, pois o reaproveitamento deles na irrigação aplica-se para alimentos ingeridos após o cozimento, uma vez que a não desinfecção do esgoto pode oferecer algum risco quando para os alimentos ingeridos *in natura*, como o alface. Também possui grande potencial na irrigação de algumas plantas frutíferas, como bananeiras, não alimentícias, ou mesmo na irrigação das ornamentais (SILVA, 2018).

Outra questão importante é salientar que essa forma de reuso não potável pode ser destinada para fins agricultáveis, mas não é indicada para o consumo humano.

Vale enfatizar que usar o esgoto tratado, ou o lodo resultante do tratamento com destino na agricultura, pode suprir as necessidades nutritivas do solo, pois o aporte de nutrientes: nitrogênio e o fósforo, tem potencial para compensar o uso de adubos químicos. Desta forma, tem-se uma maneira inteligente de utilizar esgoto oriundo de biotratamento para obter ganhos financeiros, transformando assim, a problemática do esgoto em solução econômica para o caso de população com baixa renda.

SISTEMA ALTERNATIVO DO PROJETO DE PESQUISA

Sistema Sustentável de Biotratamento de Efluentes Via Fluxo Contínuo e por Acoplamento Vegetal e Bacteriano - "SBVB"

Constitui-se em reservatório (com tampa) que armazena efluente bruto, situado acima de um suporte, no qual com auxílio de torneira transporta o esgoto bruto com destino a uma sequência de tubulações. Estas serão compartimentos onde o efluente passará pelo processo de biotratamento. Em suas divisões internas contém o material inerte (pedra brita e/ou pedrisco) onde estará presente o biofilme bacteriano.

Ademais, as plantas aquáticas estarão nos orifícios onde ocorrerá a ação dos vegetais na absorção de nutrientes, como por exemplo, a assimilação de fósforo e ortofosfato que acontecerá na fase de crescimento e floração das plantas. Nesta época, vale ressaltar que é o período em que ocorre a maior assimilação nutricional (REISMANN; VIEIRA; RODRIGUES, 2017).

O sistema será apresentado em estrutura compacta exibindo fluxo contínuo do esgoto, ou seja, proporcionando o escoamento do efluente ao longo de todo o complexo. O equipamento também permite menor ocupação de espaço, facilidade para alimentação para ele e boa perspectiva econômica para comunidades de baixa renda e zonas rurais.

Materiais Utilizados para Montagem do Sistema	
Reservatório para armazenar o efluente (suficiente para o armazenamento do efluente com base nos testes realizados).	Pedras brita e/ou pedrisco (dentro da tela de tecido): facilitar a formação de biofilme
Madeira para a sustentação	Cimento: para sustentação do suporte no solo
Gesso para construção civil (pequena quantidade), com o objetivo de nivelar o escoamento do efluente dentro das tubulações.	Suporte para aderir os canos na grade de sustentação: abraçadeiras de nylon e de aço, e parafusos.

Cano PVC de 4,5 cm de diâmetro: 1,95 m.	8 joelhos de cano PVC
Sugestão do Vegetal a ser utilizado: macrófitas da espécie <i>Eichhornia crassipes</i> (aguapé)	Tela de polietileno e 2 Torneiras

Dentre as plantas aquáticas com alto potencial na incorporação de nutrientes e agentes tóxicos e que apresenta alto desempenho no tratamento de efluentes é o Aguapé (*Eichhornia crassipes*). Esta espécie foi escolhida para este estudo por ser originária das regiões tropicais, com caule curto e raízes plumosas. Em estudo feito por Enrique *et al* (2019) teve-se como resolução que a macrófita aquática da espécie *Eichhornia crassipes* é eficiente na fitorremediação de nutrientes constituintes em efluente doméstico e a maior eficiência de remoção está para compostos nitrogenados e fosfatados.

Procedimento de Montagem

Inicialmente foram feitos orifícios na parte horizontal dos canos, onde posteriormente a vegetação irá ser plantada (Figura 03) e em cada borda, na metade da circunferência dos canos colocou-se o gesso com a finalidade proporcionar maior tempo de permanência do efluente no sistema e escoamento homogêneo dos líquidos (Figura 04).

Foi utilizado um suporte de madeira (Figura 05) para dar sustentação à tubulação e aos acessórios (abraçadeiras de *nylon* e aço e pregos) para fixar a canalização no suporte (Figura 6). Foram adicionados pedras brita envolta em polietileno na parte vertical dos canos o que irá contribuir na formação do biofilme bacteriano (Figura 07).

Figura 03: orifícios na parte horizontal



Figura 04: gesso na metade da circunferência



Figura 05: suporte de madeira



Figura 06: braçadeiras de nylon e aço



Figura 07: pedra brita envolta com tela de polietileno

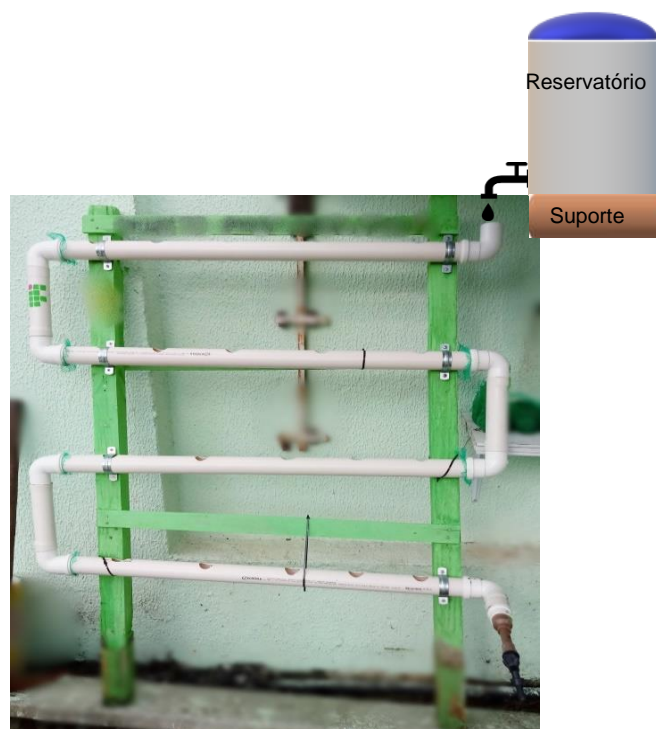


Fonte: Autor (2021)

Funcionamento do Sistema de Biotratamento

Acima do sistema haverá um balde (reator anaeróbio), sobre um suporte, com tampa e torneira, para alimentar o todo. As plantas serão adicionadas nas aberturas contidas no decorrer dos canos (parte superior dos canos) e fixadas em uma pequena quantidade de pedra brita. Abaixo do complexo haverá uma torneira para coletar o efluente de saída (Figura 08).

Figura 08: Visão geral do mecanismo de funcionamento



Fonte: Autor (2021)

Os testes iniciais foram realizados com água para se entender na prática o funcionamento do sistema quanto ao fluxo que o esgoto irá percorrer e com isso realizar as adequações necessárias. Após este procedimento serão realizados os testes iniciais com efluente.

Todo esse mecanismo se dará da seguinte forma: o efluente doméstico será adicionado ao sistema através de um balde acoplado com torneira (reator anaeróbio). Ao abrir a torneira o esgoto será inserido no orifício localizado no início do arranjo. O fluxo contínuo do líquido passará a ocupar os espaços vazios de todo o montante e assim iniciará o biotratamento do efluente com o auxílio da vegetação existente em cada orifício circular ao longo da tubulação e o biofilme bacteriano contido no meio (Figura 08).

Tem-se como expectativa por meio de testes futuros e em momento apropriado o funcionamento adequado do sistema e a oportunidade de ofertar um mecanismo capaz de proporcionar um biotratamento de efluente doméstico eficaz, bem como, a possibilidade de contribuir com inovações tecnológicas e sustentáveis à população

mais vulnerável, principalmente nas comunidades rurais que, infelizmente, não são amplamente assistidas por um complexo de esgotamento sanitário.

Espera-se que em um momento oportuno e em testes posteriores para a verificação da eficiência no tratamento do efluente, seja possível realizar as análises físicas e químicas do efluente em laboratório, em termos de qualidade do líquido antes e depois de passar pelo biotratamento. O que se sugere como recomendação nesta cartilha afim de validar o protótipo e a potencialidade do seu uso em zonas rurais por exemplo, são os procedimentos que serão responsáveis por comprovar os parâmetros de eficiência do tratamento em análises laboratoriais: Turbidez, pH, Nitrito, Amônia, Nitrato, DQO (Demanda Química de Oxigênio), Fósforo, Ortofosfato, Sólidos Totais, Sólidos Voláteis e Temperatura.

Desse modo, ele poderá ser aplicado para o reuso ao se comprovar a sua eficácia por meio de um efluente tratado com parâmetros de carga orgânica e de macronutrientes inferiores ao efluente bruto e, corroborados por resoluções e normas ambientais. Recomenda-se em cenários de testes futuros, o monitoramento do sistema por no mínimo 6 (seis) meses através de uma escala sequencial e constante, de forma que as variáveis estatísticas corroborem com a delineação da eficácia deles. Assim como, conhecer as possibilidades de aperfeiçoamento e também a obtenção de dados para comparar com os estudos já existentes, fomentando uma maior segurança em sua utilização.

ATUAÇÃO DE OUTROS TRABALHOS

As Figuras 09 e 10 ilustram um exemplo de grande relevância demonstrado por Oliveira (2020), no qual em sua pesquisa intitulada: “Avaliação do potencial de tratamento de águas residuárias via mecanismo híbrido de filtro anaeróbio e sistema *wetlands*”, foi utilizada a planta da espécie beri silvestre (*Canna limbata*) que ressalta, nas imagens abaixo, os aspectos visuais da flora e com isso comprova a adaptação delas ao modelo.

Conforme resultados de parâmetros físico-químicos e ao longo do trabalho da autora, foi verificado a efetividade na remoção de Fósforo e Ortofosfato, fato da apropriação de fósforo pelas macrófitas no qual foi observado no momento em que a

espécie teve sua floração (Figura 10), o qual demonstra o favorecimento à produtividade da planta, assim como a capacidade de remover poluentes das águas residuárias.

Oliveira (2020) evidencia ainda que conforme o observado nos dados adquiridos pelas análises do efluente (antes e depois do tratamento) realizadas em laboratório, o sistema apresentou eficiência de redução considerável de alguns parâmetros, como por exemplo, os macronutrientes.

Constatando assim, a viabilidade do emprego do sistema de tratamento de águas residuárias domésticas como a opcionalidade em reuso na jardinagem e como fonte nutricional das plantas.

Figura 09: Início da operação do sistema



Figura 10: Floração da macrófita



Fonte: OLIVEIRA, 2020.

Perjessy (2017) em estudo realizado para identificar e descrever técnicas para o tratamento de esgoto, bem como sua aplicabilidade, mostra um sistema biológico chamado de “zona de raízes”, que recicla toda a água usada domesticamente (incluindo dos banheiros) e permite usá-la para irrigação (Figura 11).

Para Perjessy (2017) esse sistema quando utilizado em regiões de climas tropicais, há um acréscimo no seu desempenho devido ao clima favorável. Destaca

ainda que o tratamento por zona de raízes pode mudar a consciência em relação aos cuidados com a água e seus usos na residência, por meio da observação do aspecto paisagístico e da qualidade do efluente.

Figura 11: Zona de Raízes



Fonte: PERJESSY, 2017.

Em estudo realizado sobre o tratamento de esgoto em zona rural de Pedra Branca, Campinas/SP, Figueiredo (2019) expõe a tecnologia da Bacia de Evapotranspiração (BET) e traz os resultados da sua aplicação na comunidade rural. A BET consiste em um tanque impermeabilizado, preenchido com diferentes camadas de material filtrante e plantado com espécies vegetais (Figura 12).

Figura 12: Bacia de Evapotranspiração



Fonte: FIGUEIREDO, 2019.

Através da evapotranspiração a água é eliminada do sistema, enquanto os nutrientes são incorporados à biomassa dos vegetais. As plantas são parte

fundamental do processo e deve ser dada preferência às espécies de crescimento rápido e alta demanda por água. Neste estudo foram plantadas quatro mudas de banana nanica (*Musa sp*) e 30 mudas de taioba (*Xanthosoma sagittifolium*) (figura 12).

Figueiredo (2019) afirma que várias pesquisas realizadas comprovam que os frutos e folhas produzidas na BET são isentos de contaminação por patógenos (bactérias do grupo coliformes e *Salmonella*) e adequados para o consumo humano.

Em resultado alcançado, Figueiredo (2019) identificou que três bananeiras frutificaram durante o período de acompanhamento do projeto e as folhas da taioba também foram colhidas e consumidas. Foi observada uma excelente remoção de SST (sólidos suspensos totais) e também foi muito alta a eliminação de matéria orgânica na forma de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio), indicando que além dos processos físicos de filtração e decantação, os processos biológicos de digestão anaeróbia também auxiliam no bom desempenho do sistema.

Estes trabalhos correlatos demonstram a eficácia no tratamento de efluentes domésticos em zonas rurais e ressaltam a importância de tecnologias alternativas para o biotratamento deles.

Tendo como referência alguns estudos realizados, pode-se considerar que o sistema proposto e previamente construído para este projeto de pesquisa tende a apresentar potencial aproximado ou similar ao elencado pelos autores acima. Entretanto existe a necessidade de recomendação em cenários futuros de testes dos efluentes em laboratório, de forma a permitir a real comprovação científica de sua eficiência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na atualidade, a informação é peça chave para o desenvolvimento sustentável e espera-se que a utilização desta cartilha educativa possa promover conhecimento acerca da importância de sistemas sustentáveis de biotratamento de efluentes e impactar de forma instrutiva na educação ambiental e a viabilidade de se estudar técnicas propícias ao reuso desse material.

Dentre os aspectos de informação e novas tecnologias sustentáveis espera-se que esta cartilha possa servir de norte para o auxílio na compreensão e de estímulo para estudantes engajados com as questões ambientais, elencando aqui, aos alunos do curso Superior em Tecnologia em Saneamento Ambiental e do Técnico em Meio Ambiental e Pós Graduação em Gestão Ambiental no âmbito do IFCE – *Campus Sobral*.

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina através de resolução os padrões corretos para o lançamento de efluentes em corpos hídricos. A Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, que complementa e altera a Resolução nº 357/05, é o principal instrumento na legislação nacional sobre a qualidade das águas de corpos receptores e de projeção de efluentes líquidos (BRASIL, 2011).

Na esfera estadual, o embasamento sobre o tema acontece por meio da Resolução COEMA nº02/2017 (Conselho Estadual de Meio Ambiente) que dispõe sobre padrões e condições para lançamento e reuso de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras (COEMA, 2017).

É importante ressaltar que caso os parâmetros atendam a legislação estadual (Resolução COEMA nº02/2017) consequentemente atenderá a federal (Resolução CONAMA nº430/2011).

Os parâmetros a serem alcançados no sistema SBVB devem apresentar valores que atendam aos limites estabelecidos pela legislação. Para o controle e monitoramento do efluente foram definidos os seguintes parâmetros a serem alcançados: Turbidez, pH, Série Nitrogenada (Nitrito, Amônia e Nitrato), DQO (Demanda Química de Oxigênio), Fósforo, Ortofosfato, Sólidos Totais, Sólidos Voláteis e Temperatura.

Outro fator de relevância a ser mencionado quanto ao reuso é que a Resolução COEMA nº02/2017 estabelece diretrizes, critérios e parâmetros específicos para o reuso não potável de água de acordo com as modalidades regulamentadas. Sendo algumas dessas condições e padrões para isso, a aplicação dessas águas para a produção agrícola e cultivo de florestas plantadas (COEMA, 2017).

Como limitação deste estudo tem-se a não realização de análises físicas e químicas em laboratório para comprovação científica da eficiência do “SBVB” devido ao distanciamento social provocado pela pandemia do Sars-CoV-2, causador da Covid-19.

Com isso, vale enfatizar os estudos já realizados com a aplicabilidade de sistemas de biotratamento com características semelhantes ao proposto neste projeto, nos quais obtiveram eficácia comprovada. Nesse sentido, aqueles citados no decorrer desta cartilha nos quais possuem homogeneidade no tratamento de efluentes domésticos com o próprio “SBVB”, como: o Wetland, a bacia de evapotranspiração e o de zona de raízes, inclinam a servir, ao menos preliminarmente, como referência para se esperar que os testes futuros, realizados com o SBVB possa ter resultados próximos, ou então, melhores em termos de eficiência de remoção.

Entretanto, espera-se que a cartilha sirva também de estímulo para difundir com maior ênfase o uso de tecnologias inovadoras acessíveis à população mais vulnerável, com enfoque nas áreas rurais, para que os impactos negativos causados pelos despejos inadequados de efluentes possam ser mitigados evitando a poluição e contaminação de mananciais.

Se novas abordagens de saneamento estão sendo promovidas, precisa-se entender como introduzir essas ideias e motivar as pessoas a adotarem ou adaptá-las, pois um fator crucial é a aceitação do público alvo. A educação ambiental é fator chave para possibilitar a participação da população, pois contribui para fortalecer a disseminação de práticas ecológicas e corretas para o despejo e tratamento do esgoto, evitando, assim, a contaminação ambiental e mudando a consciência em relação aos cuidados com a natureza.

Outro fator positivo sobre as tecnologias de biotratamento de efluentes é em relação ao contexto ecológico e social, podendo obter significativos ganhos ambientais, sociais e econômicos através da prática do reuso de água por meio da observação do aspecto paisagístico e da qualidade do efluente pós tratamento.

Por fim, é importante ressaltar que o protótipo apresentado no projeto de pesquisa, o “SBVB”, teve limitações quanto ao seu desenvolvimento devido, a impossibilidade de realização das atividades de forma presencial na área de estudo

do *campus* do IFCE reservada ao desenvolvimento do projeto, bem como ao impedimento da concretização de análises laboratoriais na própria instituição de ensino. Tudo isso devido ao distanciamento social provocado pela pandemia do Sars-CoV-2, a Covid-19.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC IFCE/CNPq/FUNCAP pela concessão da bolsa junto à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação - PRPI. A todos os professores pelos ensinamentos repassados. A todos os funcionários do IFCE *campus* Sobral que me ajudaram nesse crescimento. Agradeço ao Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental pelas oportunidades durante a graduação e pela oportunidade de me tornar uma profissional do meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **I Congresso Internacional de Engenharia de Saúde Pública e Saúde Ambiental**. Belém, PA. nov. 2017. Disponível em:< http://www.funasa.gov.br/todas-as-noticias/-/asset_publisher/lpnzx3bJYv7G/content/-cada-real-gasto-em-saneamento-economiza-nove-em-saude-disse-ministro-da-saude?inheritRedirect=false>. Acesso em: 07 abr. 2021.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011. **Ministério do Meio Ambiente**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. maio. 2011.

COEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente. Resolução COEMA Nº 2, de 02 de fevereiro de 2017. **Diário Oficial do Estado**. Fortaleza, CE, fev. 2017.

CORRÊA, M. M.; ASHLEY, P. A. Desenvolvimento Sustentável, Sustentabilidade, Educação Ambiental e Educação para o Desenvolvimento Sustentável: Reflexões para ensino de graduação. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**. Rio Grande, v. 35, n. 1, p. 92-111, jan./abr. 2018.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Estação de tratamento de esgoto garante água limpa para irrigação de hortaliças. Brasília, DF. Maio. 2021. Encontrado em <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/58709631/estacao-de-tratamento-de-esgoto-garante-agua-limpa-para-irrigacao-de-hortalicas>>.

Acesso em: 05/05/2021.

FIGUEIREDO, I. C. S. *et al.* Águas cinzas em domicílios rurais: separação na fonte, tratamento e caracterização. **Revista DAE**, São Paulo, v. 67. n. 220. p. 141 – 156. nov. 2019.

FIGUEIREDO, I. C. S. **Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas**. Campinas, 2019. 318f.

Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, 2019.

FILHO, E. J. S. **Reuso de esgoto doméstico tratado, baseado em diferentes níveis de reposição nutricional para cultura da melancia no semiárido Pernambucano.** 2013. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco – Recife, Pernambuco, 2013.

GUTIERREZ, A. D. A. **Soluções de saneamento ecológico para as instalações do Parque Natural Municipal do Atalaia, Macaé/RJ.** 2018. 99f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé, 2018.

HENRIQUE, I.N. et al. **Fitorremediação utilizando macrófitas aquáticas no tratamento de efluentes de esgoto doméstico.** In: 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2., 2019, Natal. Anais. Natal, 2019. P 1 – 7.

JÚNIOR, E. G. F. et al. Utilização de jardins sépticos no tratamento de esgoto doméstico com vala de infiltração saturada. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Pernambuco, v.10, n.6, p.231-240, nov. 2019.

MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2019.** Disponível em: < <http://snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-esgotamento-sanitario>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

OLIVEIRA, T.J.J.; FERNANDES, K.N.; SANTIAGO, A.F. **Conceitos e tecnologias para o manejo de efluentes domésticos em pequenas comunidades rurais.** In: CONGRESSO ABES FENASAN, 2., 2017, São PAULO. Anais. São Paulo, 2017. p 1 – 15.

OLIVEIRA, S. M. A. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS VIA MECANISMO HÍBRIDO DE FILTRO ANAERÓBIO E SISTEMA WETLAND.** 2020. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Saneamento Ambiental) – Instituto Federal do Ceará, Sobral, Ceará, 2020.

OLIVEIRA, L.P, *et al.* Avaliação da eficiência de Wetlands na remoção de matéria orgânica de esgoto sanitário. **Periódico Científico do Núcleo de Biociências**, Belo Horizonte, v. 8, n. 15, p. 68 – 83, jun. 2018.

OUGO, A. M. M.; OLIVEIRA, R. M. S.; BOLONHESI, I. B. T. M. Soluções individuais para o sistema de esgotamento sanitário de um loteamento rural na cidade de Sertaneja-PR, **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.15; n.4; 2019.

PINAFFI, D. D. **Desempenho de plantas aquáticas na minimização da carga poluente de dejetos líquidos de suinocultura**. 2017. 51f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) – Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, São Paulo, 2017.

PERJESSY, J. R. **Modelos sustentáveis para o tratamento de efluentes sob abordagem da gestão ambiental**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) Universidade Federal de São Carlos – Campus Sorocaba, SP. 2017.

PIERMATEI, L. A. P. **AVALIAÇÃO DA PLANTA DE PAISAGISMO *Spatiphyllum Wallisii* EM FITORREMEDIAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS**. 2018. 92 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

PEREIRA, E. P. **O uso da unidade *Wetland* no sistema de pós-tratamento de esgoto: um estudo de caso no semiárido nordestino**. Rio de Janeiro, 2011. 209f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.

REISMANN, H.; VIEIRA, B.; RODRIGUES, T. M. **Remoção de nitrogênio e fósforo em efluentes: principais técnicas existentes, características, oportunidades e desafios para o tratamento terciário de efluentes**. In: CONGRESSO ABES FENASAN, 2., 2017, São PAULO. Anais. São Paulo, 2017. P 1 – 18.

SILVA, E. O. A. **REUTILIZAÇÃO DA AGUA NAS EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS.** 2018. 30f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário CESMAC, Maceió, AL. 2018.

SILVEIRA, J. R *et al.* Tratamento de Efluentes Sépticos em Wetlands Construídos de uma Unidade Universitária. **Tecnia.** Goiânia, v. 5, n.1, p. 137 – 152. Dez. 2020.

SANTOS, C. R. S. *et al.* **Agroflorestas Sintrópicas: Tecnologia baseada nos processos naturais de sucessão das florestas, auxiliando na evolução socioambiental descentralizada por meio da alta produção de alimentos agroecológicos; do saneamento ecológico; da inclusão social por meio do manejo; e da restauração e preservação dos solos, aquíferos e biomas locais.** XVI Encontro Nacional de Engenharia e Desenvolvimento Social, 2019. Belém, Pará. p. 1 -14. nov. 2019.