



INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE
COORDENAÇÃO DE SANEAMENTO AMBIENTAL- CSA
SOANNE HEMYLLE DE JESUS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE UM *WETLAND*: SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO PARA
TRATAMENTO DE ESGOTO**

ARACAJU
2017

SOANNE HEMYLLE DE JESUS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE UM *WETLAND*: SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO PARA
TRATAMENTO DE ESGOTO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Instituto Federal de
Sergipe como pré-requisito para a
obtenção do grau de Tecnóloga em
Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Ma. Carina Siqueira
de Sousa

Coorientadora: Ma. Florilda Vieira da
Silva

ARACAJU
2017

SOANNE HEMYLLÉ DE JESUS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE UM *WETLAND*: SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO PARA
TRATAMENTO DE ESGOTO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Instituto Federal de
Sergipe como pré-requisito para a
obtenção do grau de Tecnóloga em
Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Ma. Carina Siqueira
de Sousa

Coorientadora: Ma. Florilda Vieira da
Silva

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Ma. Carina Siqueira de Souza
Instituto Federal de Sergipe- IFS

Prof. Dr. Gustavo de Brito Cardoso
Instituto Federal de Sergipe- IFS

Prof. Me. Rodrigo Gallotti Lima
Instituto Federal de Sergipe- IFS

AVALIAÇÃO DE UM WETLAND: SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO PARA TRATAMENTO DE ESGOTO

SOANNE HEMYLLLE DE JESUS SANTOS¹

Resumo

A falta de saneamento básico compromete a qualidade de vida no território brasileiro, principalmente em regiões mais carentes que sofrem com o descaso do poder público com relação a obras de esgotamento sanitário. Dessa forma, faz-se necessário o desenvolvimento de sistemas para o tratamento de esgoto que apresentem baixos custos tanto em sua fase de implantação quanto na de operação, já que o país encontra-se em grave crise econômica. Assim sendo, o presente estudo avaliou um sistema alagado construído de baixo custo - *Wetlands* através de um modelo piloto com a finalidade de monitorar o sistema e examinar sua eficiência para o tratamento de esgotos domésticos. Neste trabalho utilizaram-se pesquisas bibliográficas a respeito do tema proposto bem como, realizaram-se análises no laboratório de Saneamento Ambiental do IFS *campus* Aracaju, com a finalidade de observar a eficiência do sistema. Pôde-se perceber que o sistema apresentou resultados satisfatórios, principalmente nos parâmetros de Turbidez, DQO, DBO, Fósforo e Nitrogênio Amoniacal. Mesmo que alguns destes expressaram valores em desacordo com as legislações vigentes, suas taxas de remoção foram significativas uma vez que o sistema encontrava-se em fase de estabilização.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes; *Wetlands* construídos; Sistemas Alagados.

¹ Graduanda do curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Instituto Federal de Sergipe (IFS), participa atualmente dos projetos (AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS NOS CANAIS DE DRENAGEM URBANA NO MUNICÍPIO DE ARACAJU-SE) e (ANÁLISE DOS FLUXOS COMERCIAIS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS RECICLÁVEIS DAS CAPITALS DO NORDESTE) do IFS. Exerceu a monitoria referente a disciplina de Hidrologia ambiental do IFS.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional associado à falta de planejamento urbano nas cidades desenvolveu uma série de impactos no ambiente. Dentre eles, a falta de saneamento básico destaca-se como uma das principais causas de doenças e poluição no mundo.

De acordo com Brasil (2015), as ações de saneamento são formas de intervenção destinadas à preservação e recuperação da qualidade ambiental a fim de assegurar a saúde e a dignidade da vida humana, visando estabelecer a salubridade ambiental através do abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

Diante disso, o tratamento das águas residuárias torna-se um fator determinante na qualidade de vida das cidades. Conforme dados expostos no Atlas Digital de Esgotos elaborado pela Agência Nacional de Águas (2017), cerca de 61,42% da população urbana brasileira possui rede coletora de esgoto, considerando que 18,8% dos esgotos coletados não são tratados. Dessa forma, a parcela atendida com coleta e tratamento dos esgotos corresponde a 42,6% da população urbana total, indicando que 9,7 milhões de pessoas não dispõem de tratamento coletivo de esgotos, tornando imprescindível a universalização do saneamento básico dentro do território brasileiro.

Para tanto, a escolha de um sistema de tratamento de efluentes principalmente em regiões em desenvolvimento devem estar associadas ao custo de operação e implantação bem como a sustentabilidade da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). Dentre diversas tecnologias, os sistemas de *Wetlands* construídos têm-se demonstrado sistemas versáteis que podem ser configurados para diversas aplicações com facilidade operacional seguindo critérios de engenharia e atendendo com segurança à legislação.

Estes sistemas têm sido matéria de muitas discussões, as quais apresentam um ponto positivo: o desenvolvimento de pesquisas e experimentos conduzindo para um maior conhecimento e experiências nessa linha de pesquisa (TAMURA, 2014). Demonstrando que o desses sistemas de *Wetlands* construídos é um campo promissor para o estudo científico.

Segundo Nunes (2012), muitas pesquisas referentes aos *wetlands* construídos em escala real e experimental tem demonstrado boa capacidade de redução de DBO,

sólidos em suspensão, nitrogênio, fósforo, traços de metais e organismos patogênicos. De tal modo que as remoções desses poluentes são feitas através dos mecanismos de sedimentação, filtração, adsorção, precipitação, decomposição, metabolismo microbiano, metabolismo das plantas e decaimento bacteriano.

Portanto, este trabalho avaliou um sistema alagado construído de baixo custo - Wetlands através de um modelo piloto com a finalidade de monitorar o sistema e examinar a sua eficiência para o tratamento de esgotos domésticos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 “WETLANDS”

Os *Wetlands* são conhecidos como grandes áreas alagadas naturais, tais como, pântanos, brejos, várzeas entre outros, que engloba todo um ecossistema dinâmico composto por fatores bióticos e abióticos, proporcionando um equilíbrio entre as relações ecológicas no ambiente (SFREDO, 2013). Com isso Von Sperling (2013), afirma que:

“Os *Wetlands* construídos são áreas alagadas com um sistema devidamente projetado e construído, sendo considerada uma obra de engenharia com a finalidade de reduzir o potencial poluidor do efluente através de processos físicos (filtração, sedimentação, volatilização), químicos (adsorção, oxidação, redução, precipitação) e biológicos através da degradação e absorção efetuada pelos microrganismos, bem como decaimento de patógenos e entre outros”.

Desde a década de 60, essa tecnologia vem ganhando espaço no mercado mundial, por ser um sistema alternativo e exigir baixos custos de implantação e operação, uma vez que, trata-se de um sistema composto por vários mecanismos de atuação, tais como, filtros, comunidade bacteriana, plantas aquáticas e variáveis hidráulicas, que variam de acordo com o tipo de efluente a ser tratado e fatores socioeconômicos, contudo, sua simplicidade operacional não compromete a eficiência do mesmo.

Desse modo, conforme Sanguinetto (2011), estes sistemas melhoram a qualidade dos efluentes, sejam domésticos, industriais ou até mesmo de drenagem das águas pluviais urbanas com a finalidade de minimizar a contaminação dos corpos d'água e propiciar *habitat* para novas espécies desenvolvendo ciclos positivos de

embelezamento e saúde, além de, amortecerem as cheias resultantes de chuvas intensas em grandes áreas.

Os *Wetlands* construídos são comumente conhecidos no Brasil como Sistemas Alagados Construídos (SAC's), zona por raízes, filtros plantados, leito de raízes, zonas úmidas, leitos cultivados e entre outros termos.

2.2 TIPOS DE “WETLANDS” CONSTRUÍDOS

Segundo Monteiro (2009), existem diversas classificações para definir os tipos de *wetlands* construídos variando de acordo com alguns critérios, dos quais destacam-se a vegetação utilizada, o fluxo de direção do efluente (superficial, subsuperficial vertical e subsuperficial horizontal), e as características da água que deseja ser tratada (águas cinzas, esgoto doméstico e efluente industrial).

a) Sistemas superficiais

Os *wetlands* de fluxo superficial possuem uma lâmina d'água exposta na superfície do sistema, o qual escoar sob o leito filtrante composto principalmente pelas macrófitas aquáticas.

Alguns estudos realizados no território nacional apontam que o sistema de fluxo superficial é o mais utilizado para promover a remoção da matéria orgânica e sólidos suspensos, pois tem um tempo maior de detenção hidráulica, quando comparado com os outros modelos. Neste tipo o efluente flui em baixas velocidades sobre a superfície do solo, passando entre caule e raízes das plantas, tornando-se também importante a implantação do leito filtrante para fornecer suporte às plantas, desta forma, apresentam similaridade com as lagoas de estabilização conforme exposto na Figura 1.

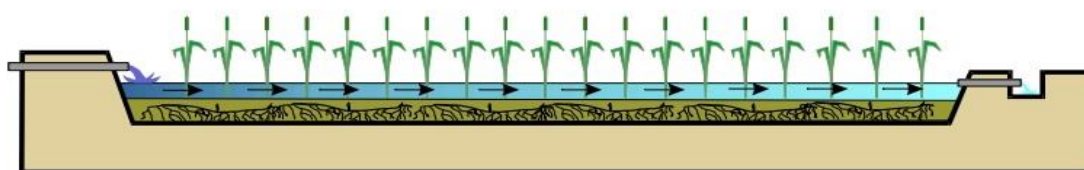


Figura 1: *Wetland* de fluxo superficial.

Fonte: Salati, *et al.* (2009).

Conforme Poças (2015), nos Estados Unidos o sistema de fluxo superficial é muito utilizado no tratamento terciário de grandes volumes de águas residuárias, com a finalidade de dar um polimento ao efluente tratado.

Desse modo, nos sistema superficiais com plantas emergentes utilizam-se plantas adaptadas a solos úmidos que desenvolvem seu sistema radicular preso com o caule e as folhas parcialmente submersas, como demonstrado na Figura 1, as quais se destacam a *Phragmites australis*, a *Typha latifolia* e a *Scirpus lacustris* comumente utilizadas em projetos conforme exposto por (SALATI *et al.*, 2009).

Assim sendo, o processo de tratamento realiza-se através da ação dos microorganismos que se fixam na superfície do solo e na parte submersa da caule das plantas (SILVA *et al.*, 2015).

b) Sistema subsuperficial

O sistema de fluxo subsuperficial é o inverso do fluxo superficial, ou seja, a superfície úmida não está em contato direto com a atmosfera. Para tanto, conforme Lima (2016), o sistema requer maiores detalhes em seu projeto, uma vez que o líquido é drenado através do material filtrante, entrando em contato com os microorganismos que vivem em associação ao meio suporte e as raízes das plantas podendo ter a direção do seu fluxo de maneira horizontal ou vertical.

Nos *wetlands* construídos de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal (Figura 2), o efluente deve ser aplicado abaixo da superfície do substrato no leito de tratamento, o qual percola até a zona de saída devido a sua declividade de fundo.

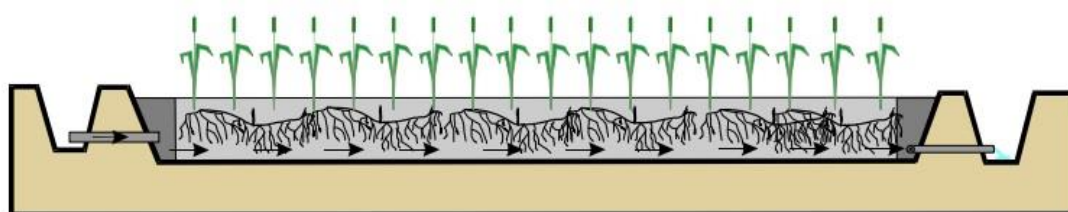


Figura 2: *Wetland* de fluxo subsuperficial horizontal.

Fonte: Salati, *et al.* (2009).

Para tanto, no momento da percolação do líquido, o esgoto entrará em contato com regiões aeróbias, anóxicas e anaeróbias sendo que a camada aeróbia é mais evidente ao redor das raízes das plantas, pois estas tendem a transportar oxigênio da

parte aérea para as raízes e, sobretudo, ocorre nessa porção do material filtrante uma intensa convecção e difusão de oxigênio atmosférico (SEZERINO et al., 2015). Neste modelo, estudos mostram que o efluente a ser tratado geralmente é mais clarificado e com menores teores de sólidos.

Nos sistemas *Wetlands* construídos de escoamento subsuperficial de fluxo vertical (WCFV), os filtros são preenchidos por materiais que darão base aos vegetais (SILVA, 2007). Assim, neste modelo o efluente é aplicado abaixo do leito superficial o qual tende a percolar e cobrir toda a área que foi cultivada e, posteriormente, o efluente será drenado e captado pelo fundo conforme exposto na Figura 3.

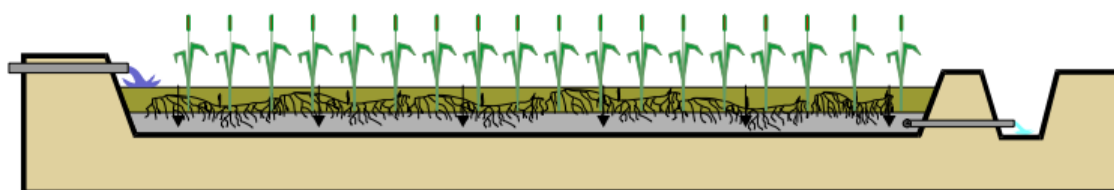


Figura 3: *Wetland* de fluxo subsuperficial vertical.

Fonte: Salati, et al. (2009).

De acordo com Faissal (2016), o WCFV possibilita maior entrada de oxigênio no sistema devido à movimentação causada pelo recebimento vertical do efluente. Isso faz com que esse *design* seja preferível no tratamento de efluentes ricos em amônia, pois sua conversão será mais eficiente com a presença de oxigênio, além de apresentar vantagem de necessidade de área muito menor quando comparado aos outros tipos.

c) Sistemas Híbridos

Outra configuração que vem ganhando destaque no uso dessa tecnologia são os sistemas híbridos, os quais misturam diferentes tipos de sistema com o objetivo de obter um tratamento mais avançado, onde cada parte terá maior eficiência em certos processos do tratamento de efluente. Dentre algumas configurações o sistema Francês é o que apresenta maior relevância composto por *wetland* de fluxo vertical e *wetland* de fluxo horizontal. Conforme Faissal (2016), na primeira fase desse sistema deve ocorrer a remoção em altos níveis de DQO e a ótima capacidade de filtrar partículas grandes e em suspensão (SST), já no segundo momento do sistema ocorre a remoção de nitrogênio e de organismos patogênicos para finalização do tratamento.

2.3 CARACTERÍSTICAS DOS “WETLANDS”

Os sistemas de *wetlands* construídos apresentam diferentes características e princípios de funcionamento variando principalmente de acordo com o que deseja-se alcançar, para obter máxima eficiência de tratamento, ou interesse paisagístico, produção de biomassa, sendo que um não exclui o outro (LIMA, 2016).

Desse modo, conforme Ornonde (2012), o tratamento de esgoto doméstico por meio das plantas condicionadas em solos úmidos, está associado ao seu relacionamento com os microrganismos das raízes, os quais degradam moléculas orgânicas, enquanto as plantas absorvem os produtos da decomposição.

Nestes sistemas as plantas tendem a produzir o carbono, aumentar a área de contato e aderência do biofilme por meio de raízes, caule e rizomas, impedir a colmatação do solo, transportar o oxigênio até as raízes, promovendo condições aeróbias. A vegetação mais comumente usada são as macrófitas aquáticas, Três das macrófitas que são mais empregadas em filtros plantados em todo o mundo são: *Phragmites australis*, *Typha spp.* e *Juncus spp.* (OLIJNYK , 2008). No Brasil, têm-se utilizado bastante, entre outras espécies, a *Typha* e o *Juncos* (BRASIL, 2015). Além dessas, também podem ser utilizadas plantas ornamentais que se adaptam a solos úmidos. Dependendo da espécie utilizada, várias atividades podem ser desenvolvidas movimentando o setor econômico com a venda de flores, cestaria e artesanato com fibras.

Além da vegetação, o maciço filtrante é um dos materiais atuantes no sistema de *wetlands* construídos apresentando alta permeabilidade, capacidade de troca catiônica e atividade microbiológica, composto basicamente por camadas de brita e areia. Lima (2016) salienta que atualmente vem-se utilizando nestes sistemas materiais alternativos, tais como, fibra de coco, casca de coco, pneu picado, cascalhos, escória de aciaria (subproduto do processo da fabricação do aço), caco de telha, bambu e dentre outros, que servem como suporte físico para as plantas, bem como, atuam como meio de aderência para a população microbiana e promove a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos por processos físicos e químicos.

Nos sistemas de *wetlands* construídos, destacam-se também os microrganismos que são os principais responsáveis pela degradação dos poluentes, dentre estes se destacam: algas, fungos, protozoários e bactérias (SILVA, 2007). Dos diversos microrganismos que habitam nestes sistemas, as bactérias são as mais

representativas, responsáveis pelos processos de decomposição da matéria orgânica, de nitrificação e desnitrificação (OLIJNYK, 2008). Sendo assim, o processo de purificação do efluente ocorre sequencialmente com o movimento das águas residuárias através dos sistemas.

2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Os sistemas de *Wetlands* construídos vêm ganhando espaço nos últimos anos devido apresentar diversas vantagens em sua implantação conforme exposto no Quadro 1, bem como, expõe algumas desvantagens do sistema.

Quadro 1: Vantagens e Desvantagens dos sistemas *Wetlands* construídos.

Vantagens	Desvantagens
Apresenta custos reduzidos de operação e implantação.	Demandam grandes áreas o que dificulta a sua implantação em algumas localidades.
A utilização de requisitos energéticos são praticamente nulos ou inexistentes.	Necessidade de manejo das macrófitas.
Possui enorme facilidade operacional e Independência de produtos químicos.	Longo período para adaptação das plantas no leito.
Satisfatórias eficiências na remoção de matéria orgânica, sólidos e nutrientes.	Risco de colmatção que o sistema pode desenvolver.
Apresenta harmonia paisagística.	Os sistemas de fluxo superficial estão suscetíveis à proliferação de vetores e incidência na produção de odores devido à lâmina d'água que se mantém exposta.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2013).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

No primeiro momento, o presente trabalho desenvolveu-se a partir de pesquisas bibliográficas relacionadas ao tema, através de livros, legislação vigente, publicações científicas e fontes eletrônicas *on-line*, com a finalidade de definir o tipo de sistemas alagado construído a ser adotado e testado experimentalmente para o tratamento de esgoto.

3.1.2 Estrutura

Para a definição do tipo do sistema, levou-se em consideração as possíveis implicações sanitárias que poderiam ser desenvolvidas, no período de operação do sistema, tal como, o aparecimento de vetores. Sendo assim, o sistema proposto foi do tipo subsuperficial, implantado no Instituto Federal de Sergipe (IFS), *campus* Aracaju. A localização do sistema experimental dentro do *campus* foi determinada pela posição das caixas de passagem de esgoto na área lateral do prédio administrativo da instituição, próximo o campo de futebol. Vale ressaltar que, o esgoto usado no sistema experimental é proveniente do prédio administrativo da instituição.

Para o experimento foram utilizadas 4 caixas d'água com o volume útil de 150 litros cada, sendo duas utilizadas como tanques para o armazenamento do efluente e as outras duas, postas em série, contendo o maciço filtrante composto por brita nº3, fibra de coco e areia, demonstrados na Figura 4.



Figura 4: Caixas com o maciço filtrante.

Aderido ao maciço foram colocadas mudas da planta ornamental *Heliconia Rostrata* (Figura 5), com aproximadamente 15 mudas em cada unidade.



Figura 5: Mudadas aderidas no leito filtrante.

Na Figura 6, expõe-se o sistema experimental, no qual a sua alimentação dava-se a cada 48 horas por meio de uma bomba a combustão e encanações necessárias. Desse modo, no dia de encher o sistema, primeiramente, conecta-se na bomba as canalizações: uma de sucção com a finalidade de coletar o esgoto da caixa de passagem e outra para direcionar o efluente até as caixas d'água que servem como tanques de armazenamento.



Figura 6: Sistema experimental de tratamento de efluentes

Durante todo o seu período de operação, o sistema fluiu a uma vazão volumétrica de 0,280 l/min. É importante salientar, que as coletas ocorreram manualmente a cada 15 dias durante os meses de setembro, outubro e novembro de 2017.

3.1.3 Análises

Foram realizadas 4 coletas de amostras na entrada e saída do sistema e as análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LABSAN) do IFS, *Campus* Aracaju. Para medir os parâmetros: potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez, Oxigênio Dissolvido (OD) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD), utilizou-se a Sonda multiparâmetros da marca HORIBA e modelo U52-G. Além desses, realizaram-se também as análises de Nitrogênio Amoniacal, Fósforo, Demanda

Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na bancada do laboratório, seguindo os métodos analíticos apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Métodos analíticos e os equipamentos utilizados

Parâmetros	Métodos Analíticos e Equipamentos
DQO	Digestão em meio ácido através da oxidação por dicromato de potássio/Espectrofotômetro UV VIS SPECTRO 3000 W.
Fósforo	Em meio ácido o molibdato de amônio e o tartarato de potássio e antimônio reagem com o íon ortofosfato e forma o ácido fosfomolibdico que é reduzido pelo ácido ascórbico/ Espectrofotômetro UVVIS SPECTRO 3000 W.
Nitrogênio Amoniacal	Destilação em meio básico/ titulométrico/Destilador de Nitrogênio.
DBO	Método Monométrico/ modelo BOD Oxidirect.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos foram significativos tanto em sua eficiência de remoção, considerando o pouco período de tempo de operação do sistema, quanto em seu custo de implantação. Para a melhor compreensão destes resultados, realizaram-se gráficos, quadros e tabela demonstrando a eficiência de cada atributo.

4.1 ORÇAMENTO DISCRIMINADO DO SISTEMA EXPERIMENTAL

Uma das grandes vantagens dos sistemas alagados construídos são os custos reduzidos que esta tecnologia apresenta devido a sua independência de produtos químicos e recursos energéticos. Segundo Matos *et al.* (2013), tais sistemas caracterizam-se por serem, de baixo custo e de simples operação e manutenção, sendo considerada uma alternativa que ajudará a suprir o déficit de saneamento básico no Brasil.

Para a implantação do sistema, foi necessário o custeio de alguns materiais descritos na Tabela 1, que vão desde acessórios e ferramentas a materiais de construção.

Tabela 1: Custeio dos materiais para construção do sistema.

Produtos	Quantidade	Valor	Subtotal
Torneira	4	3,89	15,56
Brita nº3 (carroça)	1	47,5	47,5
Areia grossa (carroça)	2	31,25	62,5
Tela	3	6,67	20,01
Tubo	3	17,67	53,01
Adesivo	1	2,22	2,22
Joelho	4	0,5	2
Serra aço	1	7,22	7,22
Fita veda rosca	1	2	2
Caixa d'água	2	115	230
Total			442,02

De modo geral, observa-se que o sistema mostrou-se economicamente viável, podendo ser implantado em áreas rurais onde não tem tratamento do esgoto sanitário, uma vez que, ao contrário das estações de tratamento convencionais não há lodo a ser tratado, e a biomassa proveniente das plantas pode ser reutilizada como adubo (IAQUELI, 2016). Diante disso, a implantação dos *wetlands* construídos em áreas rurais pode diminuir o potencial poluidor do esgoto melhorando a qualidade de vida de uma determinada população.

4.2 CRESCIMENTO DA VEGETAÇÃO

Conforme exposto anteriormente, a vegetação desempenha funções importantes para os *wetlands* construídos. Dentre algumas funções, Matos *et al.* (2015), discorre que a planta e seu sistema radicular colaboram para o aumento do

tempo de vida útil das unidades, dificultando o processo de obstrução do meio poroso.

Desse modo, no Brasil vêm-se utilizando algumas plantas ornamentais como a Helicônia e Lírio-do-brejo, nos *wetlands* construídos, por se adaptarem muito bem em solos úmidos e ricos em matéria orgânica (LO MONACO *et al.*, 2017). Assim, a Figura 7 revela a situação do sistema experimental na última semana de coleta, demonstrando a evolução da vegetação e o seu efeito paisagístico com a aplicação do efluente, quando comparado à Figura 6.



Figura 7: Sistema na última semana de coleta.

Em vista disso, subentende-se que o crescimento da vegetação é sinônimo da remoção dos constituintes do esgoto tratado no sistema, devido principalmente, as reações biológicas que ocorrem dentro do sistema. Atualmente, têm-se intensificado o estudo dos *wetlands* construídos com plantas ornamentais, tais como a *Hemerocallis flava* L. (Prata *et al.*, 2013) e a *Zantedeschia aethiopica* (Zurita *et al.* 2009), as quais podem estar relacionados com a satisfatória eficiência na remoção dos poluentes das águas residuárias, além do efeito paisagístico que proporcionam.

4.3 ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICOQUÍMICOS

4.3.1 TURBIDEZ

O primeiro parâmetro a ser analisado foi a turbidez com intuito de inferir o funcionamento do sistema, uma vez que, devido ao seu leito filtrante, em seu período inicial, o sistema poderia apresentar maiores níveis de sólidos na saída do que na entrada.

Na primeira coleta, a turbidez apresentou-se maior na saída (31,9 NTU) do que na entrada (15 NTU). No entanto, conforme exposto na Figura abaixo, a eficiência de remoção depois dos primeiros trinta dias (2ª coleta), o leito filtrante não mais contribuiu com sólidos em suspensão, e um ecossistema começou a se formar, o que proporcionou remoção da turbidez, apresentando valores de 106,6; 102,8 e 50,2 NTU na entrada e 24,8; 19,9 e 19,4 NTU na saída, indicando uma eficiência média no período das três coletas de 75,30%.

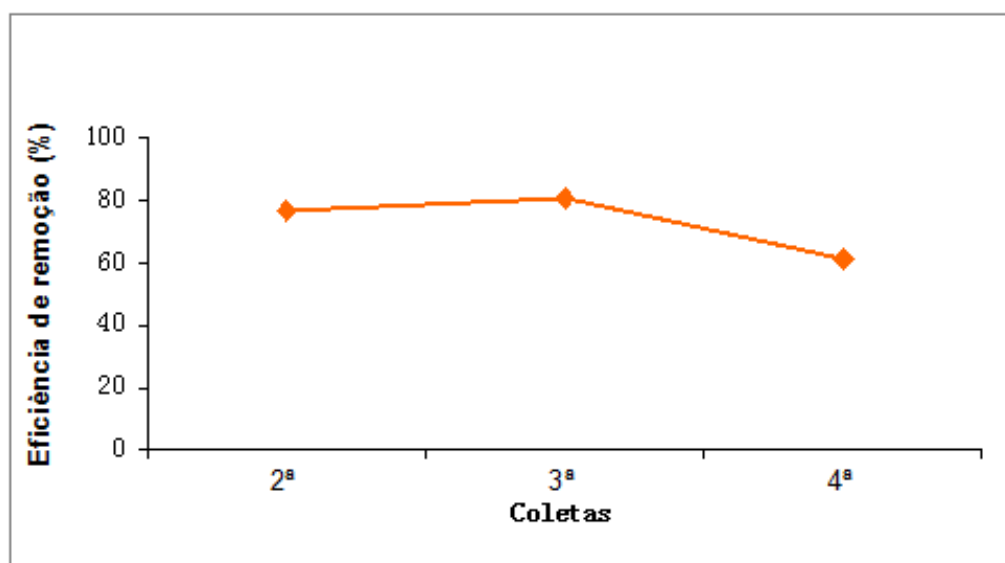


Figura 8: Eficiência de remoção de turbidez.

Observa-se que os resultados obtidos neste trabalho foram inferiores aos de Lo Monaco *et al.* (2017), que obteve eficiência média de 83,4% de remoção de turbidez em um sistema alagado construído cultivado com *Heliconia-papagaio*, além do mesmo, possuir eficiência superior ao outro sistema não cultivado. Com isso, percebe-se a capacidade do sistema de obter um maior nível de eficiência quando sair de sua fase de estabilização.

Ao comparar com o que estabelece a Resolução Conama 357/2005, nas águas doces de classe 2, o parâmetro turbidez deve ter até 100 NTU, sendo que nesse parâmetro o sistema se enquadra com o que preconiza a legislação supracitada.

4.3.2 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) indicaram a partir da segunda coleta valores na entrada (612; 579 e 653 mg/L) e (468; 412 e 548 mg/L) na saída do tratamento, apresentando uma remoção média de 23%, (Figura 9) os quais, enquadram o efluente na Resolução Conama 357/2005 para águas doces de classe 2, que determina até 500 mg/L de sólidos totais dissolvidos, exceto na última coleta, o limite ultrapassou o valor estabelecido com 548 mg/L na amostra de saída do sistema. Vale ressaltar que, na primeira coleta não houve remoção de sólidos totais dissolvidos, porque o sistema estava em fase de partida.

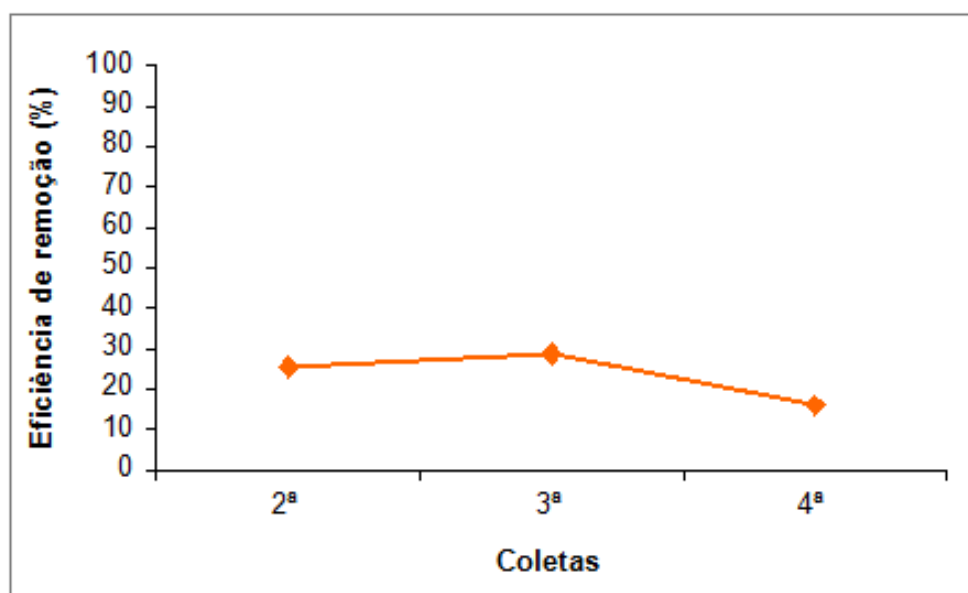


Figura 9: Eficiência de remoção de TDS.

4.3.3 potencial Hidrogeniônico (pH) E OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

Os valores de pH apresentaram pouca variação (Figura 10) tendo as médias de entrada e saída no sistema respectivamente 7,6 e 6,5. Em um estudo realizado por Fia *et al* (2017), os valores de pH observados no seu sistema plantados com a Taboa, e o Capim tifton-85, estiveram na faixa entre 7,6 a 7,9, proporcionando assim,

condições ideais para a sobrevivência das bactérias responsáveis pela degradação da matéria orgânica.

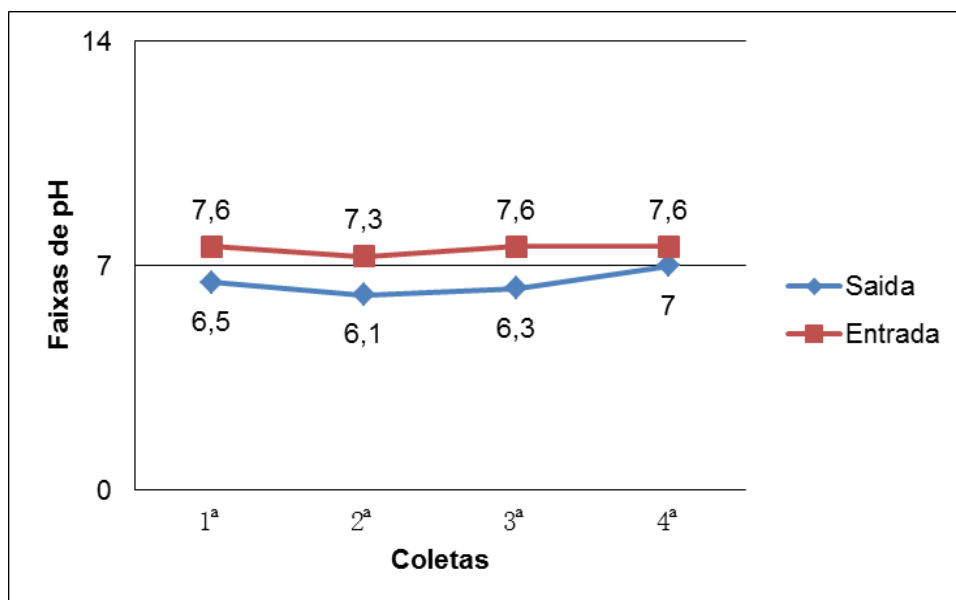


Figura 10: Faixas de pH no experimento.

De acordo com a Resolução CONAMA nº430 de 2011, que trata dos padrões de lançamento de efluentes, o pH deve estar situado entre 5 e 9. Em vista disso, conclui-se que a faixa de pH na saída do sistema está no padrão permitido.

Schmidell *et al.* (2007), discorre que o pH interfere em todas as reações químicas e bioquímicas, além de interferir na conformações espaciais das moléculas. Diante disso, os valores de pH na saída do tratamento oscilaram de ácido a neutro, devido às condições de anaerobiose demonstrando baixos níveis de oxigênio dissolvido, na entrada do sistema (3,99; 0,84 e 0,67 mg/L) e na saída (3,25; 2,54 e 2,68 mg/L).

De acordo com o que preconiza a Resolução Conama 357/2005, que indica o limite máximo de 5 mg/L de OD para as águas doces de classe 2, observamos que o sistema apresentou resultados abaixo do que preconiza a legislação citada, mas, provavelmente, com o passar do tempo quando o sistema atingir uma maior eficiência poderá apresentar resultados satisfatórios com relação ao Oxigênio Dissolvido.

4.3.4 NITROGÊNIO AMONIAL

O sistema proposto removeu consideravelmente nitrogênio amoniacal com uma eficiência média de 57,30% (63,3; 60,7; 85,5 e 118,6 mg/L na entrada e 41,7; 26,9 ;23,2 e 48,4 mg/L na saída), conforme exposto na Figura 11. Conforme, Von Sperling (2013), o sistema de *wetlands* construídos apresenta eficiência de 60% na remoção de NTK (Nitrogênio Total Kjeldahl), gerando um efluente com concentração média de amônia de 10 mg/L. Com efeito, observa-se que o sistema indicou na terceira coleta uma concentração de nitrogênio amoniacal de 23,2 mg/l, demonstrando a sua capacidade de atingir eficiências maiores quando o sistema permanecer estabilizado, pois uma das principais ações na remoção de nitrogênio amoniacal é a oxigenação do meio pelas plantas, onde as bactérias nitrificantes utilizam o oxigênio para oxidar o nitrogênio amoniacal no processo de nitrificação (ABRANTES, 2009).

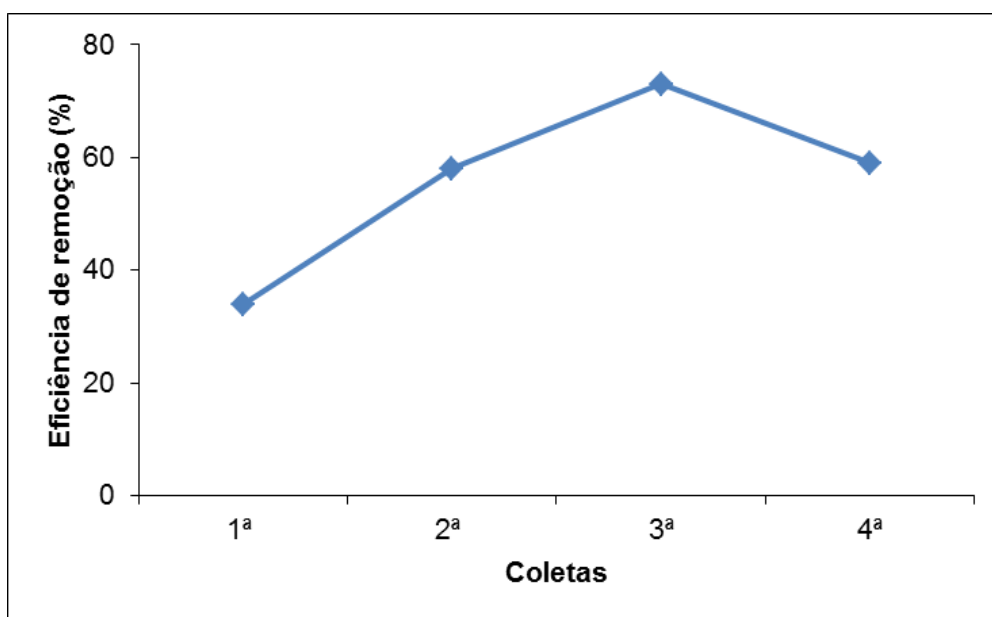


Figura 11: Eficiência de remoção de Nitrogênio Amoniacal.

Em vista disso, pode-se inferir que, apesar do sistema não estar dentro do que estabelece a Resolução CONAMA 430/2011 com limite máximo 20 mg/L, o sistema apresentou boa remoção de nitrogênio amoniacal quando observa-se o seu curto período de funcionamento com aproximadamente 90 dias.

4.3.5 FÓSFORO

A eficiência de Fósforo oscilou de 22% a 87% de remoção (Figura 12), que expôs resultados na entrada (1,93; 0,90 e 0,71 mg/L) e saída (1,50; 0,54 e 0,090 mg/L) nas três últimas coletas. Conforme o art.17 da Resolução CONAMA 430/2011, cabe ao órgão ambiental competente definir os padrões específicos para o parâmetro fósforo no caso de lançamento de efluentes em corpos receptores com registro histórico de floração de cianobactérias, em trechos onde ocorra a captação para abastecimento público. Já o CONAMA 357/2005 em seu art. 15 inciso IX, para águas doce classe 2, determina que o teor de fosforo total deve no máximo 0,030 mg/L, em ambientes lênticos e de até 0,050 mg/L, em ambientes intermediários e tributários diretos de ambiente lêntico.

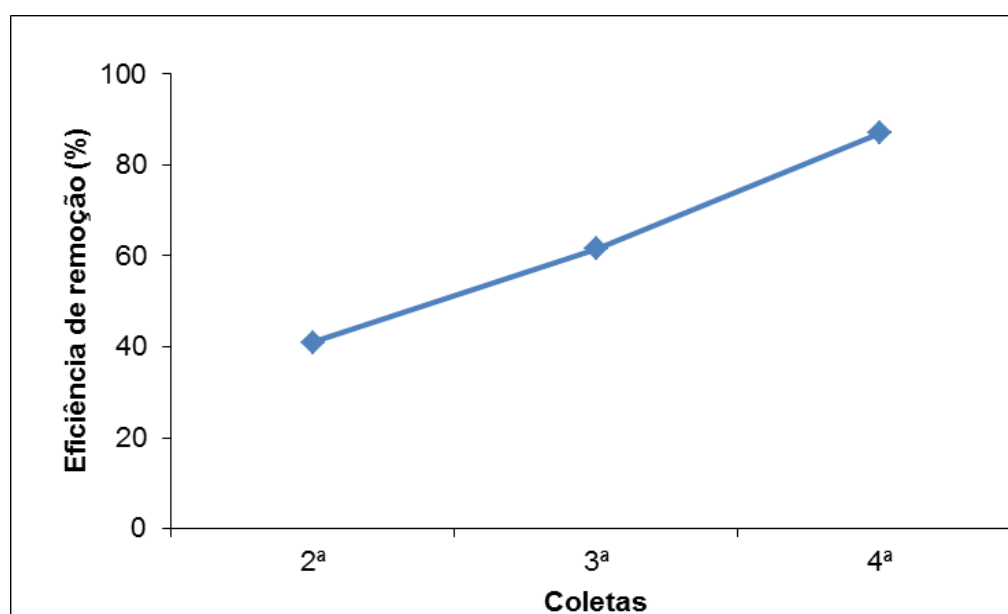


Figura 12: Eficiência de remoção de Fósforo.

Em um estudo realizado por Pitaluga (2011), o qual observou o percentual médio da remoção de fósforo total de 93,9% em um alagado construído, de fluxo horizontal, preenchido com areia e vegetado com a planta ornamental Lírio-do-brejo. Assim também, Quege (2011), utilizou um sistema alagado construído de fluxo vertical, cultivado com uma espécie de bambu, *Guadua angustifolia*, que encontrou uma média percentual para a remoção de fósforo no valor de 98,4%. Na presente pesquisa, a eficiência média de remoção de fósforo total verificada foi de 40%. Sobretudo, vale ressaltar que o curto período de tempo de funcionamento do sistema,

interfere diretamente nos resultados, uma vez que, todo o ecossistema ainda estava se desenvolvendo e a remoção de fósforo é realizada através da adsorção do material de substrato e pela absorção das plantas (SIQUEIRA, 2014). Nesse sentido, o sistema experimental deve apresentar resultados mais satisfatórios de remoção de fósforo total de acordo com o seu tempo de operação.

4.3.6 DQO E DBO

A DQO máxima do afluente foi de 160 mg/L e a mínima do efluente <71,9 mg/L que é o limite de detecção da curva utilizada no laboratório. O sistema apresentou taxas de remoção de DQO entre 11% e 47% (110,4; 108,9; 157,6 e 160,6 mg/L na entrada e 98,5; 71,9; 83,7 e 84,7 mg/L na saída) e eficiência média de remoção de 37%. Nas análises de DBO, os resultados (Figura 13) mostraram-se satisfatórios com taxas de remoção entre 69% a 74% exibindo valores na saída de 16; 19 e 17 mg/L com eficiência média de 69%. Von Sperling (2013) atingiu eficiência média de DQO (79%) e DBO (85%) em seu filtro plantado com Tifton-85. Já em um estudo realizado por Lo Monaco *et al* (2017), em seu sistema cultivado com *Helicônia-papagaio*, obteve-se eficiência de 82,4% de DBO. Tais resultados mostram que os sistemas cultivados com plantas ornamentais também são eficientes na remoção de material biodegradável.

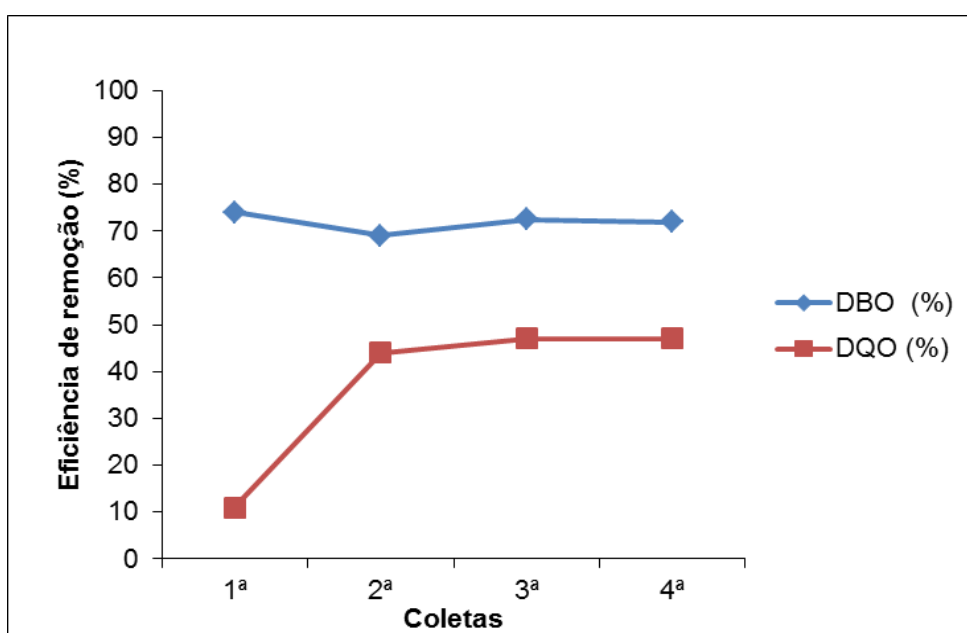


Figura 13: Eficiência de remoção de DBO e DQO.

A luz da resolução CONAMA 430/2011, a qual estabelece remoção mínima de 60% de DBO 5 dias, pode-se afirmar que a partir desse, o sistema está de acordo a legislação.

No entanto, considerando a relação DQO/DBO conforme Nunes (2012), o qual estabelece um tratamento biológico para valores abaixo de 2, um tratamento físico-químico para valores acima de 3,5 e para valores entre 2,5 a 3,5 fica a critério do técnico definir o tratamento do efluente. Ao observar a relação DQO/DBO das amostras do sistema (1,75; 2,54 e 2,60 na entrada e 4,22; 4,40 e 4,90 na saída), pode-se afirmar que deve ser feito um tratamento físico-químico com o efluente da saída do sistema, para que se tenha a remoção completa dos poluentes.

Diante das análises expostas, pode-se perceber bons resultados através do sistema em questão, dessa forma, incitando para a propagação de pesquisas científicas e futuros investimentos dos órgãos competentes em sistemas de implantação com a finalidade de promover o efetivo saneamento básico para a população brasileira.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que a construção do sistema *Wetland* foi viável, apresentando facilidade tanto na fase de implantação quanto na operação do sistema, além de demonstrar custos reduzidos para a sua implantação.

O sistema de tratamento avaliado indicou capacidade de tratamento de esgoto sanitário, uma vez que apresentou redução significativa a partir das taxas de eficiência média de remoção de Turbidez com 75,30%, Fósforo 40%, Nitrogênio Amoniacal 57,30%, DBO 69% e DQO 37% demonstrando a real eficiência do sistema. Como também, diante da relação de DQO/DBO conclui-se que se deve realizar um tratamento físico-químico com o efluente da saída do tratamento para que se tenha a remoção completa dos poluentes.

Observou-se também a variabilidade das características físico-químicas do esgoto tratado, isso foi importante para avaliar o comportamento inicial do sistema e de seu desempenho posteriormente.

EVALUATION OF A CONSTRUCTED ALAGED SYSTEM: WETLAND FOR DOMESTIC SEWAGE TREATMENT

Abstract

The lack of basic sanitation compromises the quality of life in the Brazilian territory, especially in the poorest regions that suffer from the neglect of government in relation to works of sanitary sewage. In this way, it is necessary to implement sewage treatment systems with low costs, since the country is in serious economic crisis. Thus, this study evaluated a low cost constructed wetlands system through a pilot model for the purpose of monitoring the system and examining its efficiency for the treatment of domestic sewage. In this work was used bibliographical research about the proposed theme as well as the analysis were made in the Environmental Sanitation Laboratory of IFS Campus Aracaju in order to observe the efficiency of the system. However, it can be seen that the system presented satisfactory results, especially in the parameters of Turbidity, COD, BOD, Phosphorus and Ammoniacal Nitrogen, even though some of them expressed values in disagreement with the current laws, their removal rates were significant once the system was in the stabilization phase.

Keywors: Wastewater treatment; Constructed Wetlands; Efficiency

REFERÊNCIAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10664, Águas- Determinação de Resíduos (sólidos)- Método gravimétrico. 1989. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/69586402/NBR-10664-1989-Aguas-Determinacao-de-Resi-duos-Solidos-Metodo-Gravimetrico>>.

ABRANTES, L.L.M. **Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos utilizando *Typha angustifolia* e *Phragmites australis***. 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

Agência Nacional de Águas (ANA). **Atlas esgotos: depoluição de bacias hidrográficas** / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017. 88 p.

BRASIL– Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. 4. ed. Brasília: Funasa, 2015. 642 p. Disponível em: <www.saude.gov.br/bvs>.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, completa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. Brasília, DF, 2011.

BRASIL. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005.

FAISSAL, A.A. **Sistema Construtivo Alternativo para Wetland de fluxo horizontal empregado no tratamento de esgoto de Restaurante Universitário**. 2016. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

IAQUELI, A.L. **Wetlands construídos: Aplicações, benefícios e vantagens do sistema**. São Paulo, 2016.

JÚNIOR, E.D.S. **Tratamento do lodo de resíduos de fossas e tanques sépticos em um sistema de alagado construído**. 2013. 76 f. Dissertação (Engenharia do Meio Ambiente). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

LIMA, R.F.S. **Potencialidades dos Wetlands Construídos Empregados no Pós-tratamento de Esgotos: Experiências Brasileiras**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

LO MONACO, P.A.V.; SOELA, D.M.; HADDADE, I.R.; OZA, E.F.; SANTOS, M.M. Tratamento De Água Residuária De Suinocultura Em Sistemas Alagados Construídos Cultivados Com Heliconia Psittacorum e Hedychium Coronarium. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG. v.25, n.6, 2017.

MATOS, A.T. **Manual de análise de resíduos sólidos e águas residuárias**. 1 ed. Viçosa: Editora UFV, MG. 2015. 149p.

MONTEIRO, R.C.M. **Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo “wetlands” para tratamento de água cinza visando reuso não potável**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

NUNES, J.A. **Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 3 ed. Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2012.

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

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

POÇAS, C.D. **Utilização da Tecnologia de Wetlands para Tratamento Terciário: Controle de Nutrientes**. 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2015.

PITALUGA, D.P.S. **Avaliação de diferentes substratos no tratamento de esgoto sanitário por zona de raízes**. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

PRATA, R.C.C.; MATOS, A.T.; CECON, P.R.; LO MONACO, P.A.V.; PIMENTA, L.A. Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com lírio amarelo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.6, 2013.

QUEGE, K.E. Tratamento de esgoto sanitário pelo sistema zona de raízes utilizando plantas de bambu. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

SALATI, E.; FILHO, E.S.; SALATI, E.F. **Utilização de sistemas de Wetlands construídas para tratamento de águas**. 23 f. Piracicaba, 2009.

SANGUINETO, E.C. Bases conceituais para projetos sustentáveis e biofílicos. **Labverde**, São Paulo, n. 3, nov. 2011.

SCHMIDELL, W.; SOARES, H.M.; ETCHEBEHERE, C.; MENES, R.J.; BERTOLA, N.C.; CONTRERAS, E.M. **Tratamento biológico de águas residuárias**. Florianópolis: Gráfica PaperPrint, 2007.

SEZERINO, P.H. BENTO, A.P.; DECEZARO, S.T.; MAGRI, M.E.; PHILIPPI, L.S. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.20, n.1, 2015.

SFREDO, Júlia Borem. **Eficência de um sistema wetland construído no tratamento de águas cinzas**. 2013. 88 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel e Licenciada em Ciências Biológicas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.

SILVA, S. C.; BERNARDES, R. S.; RAMOS, M. L. G. Removal of organic matter fraction from sewage in constructed wetland soil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, v.20, n.4, 2015.

SILVA, S.C. **"Wetlands construídos" de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. 2007. 231 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

SIQUEIRA, E.R. **Tratamento dos resíduos de fossas e tanques sépticos em um Sistema de Alagado Construído**. 2014. 83 f. Dissertação (Engenharia do Meio Ambiente). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

TAMURA, M.M. **Wetland Construído tipo lagoa de macrófita flutuante empregado na remoção de nitrogênio**. 2014. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

UCKER, F.E.; ALMEIDA, R.A.; KEMERICH, P.D.C. Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver. **Ambi-Agua**, Taubaté, v.7, n.3, 2012.

VON SPERLING, Marcos. Avaliação e análise comparativa de três diferentes sistemas de "Wetlands"- Fluxo Superficial, Vertical e Subsuperficial- utilizados para o tratamento de curso d'água poluído por fontes difusas e pontuais, para o tratamento de esgotos brutos e para o pós-tratamento de efluentes de reatores UASB. In: BRASIL- Fundação Nacional da Saúde. **7º Caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública**. 1.ed. Brasília: Funasa, 2013. p. 81-108.

ZURITA, F.; ANDA, J.D.; BELMONT, M.A. Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v.35, n.5, p.86, 2009.