

CONSTRUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DE DOIS SISTEMAS *WETLANDS* EM ESCALA PILOTO APLICADOS AO TRATAMENTO DE EFLUENTE DOMÉSTICO

Lucas Matheus dos Santos Nascimento¹

Joana Rupprecht Zablonsky²

Davi Paula da Silva³

Naiury da Silva Marcondes⁴

Barbara Lizandra Perini de Souza⁵

Resumo: Os sistemas *wetlands* têm se desenvolvido e tornam-se referência quando o assunto é o tratamento descentralizado de esgoto. Esses sistemas podem ser definidos como áreas construídas que simulam as reações e a função de pântanos naturais, que é a depuração da matéria orgânica, e que podem vir acompanhadas de espécies vegetais que também auxiliam na decomposição e nas reações de oxidação de compostos que são considerados tóxicos a vida humana. O objetivo deste trabalho é de construir dois sistemas *wetlands*, um vegetado com o gênero *Typha sp.*, conhecida como Taboa, e o outro com a ausência de espécie vegetal. Além disso, descrever e analisar o desenvolvimento de microrganismos (bactérias heterotróficas e fungos) em cada sistema de tratamento. Os sistemas foram construídos e analisados nos seus três meses iniciais, de acordo com dados abióticos (temperatura, umidade, pluviosidade e pH) e dados microbiológicos. O efluente utilizado no sistema é produzido em laboratório e é baseado na composição de efluentes domésticos. Os resultados podem ser considerados iniciais, mas cumprem os objetivos propostos neste trabalho, e mostram que, o sistema plantado está exposto há uma perda de água por evapotranspiração, podendo chegar a 50% da quantidade de líquido em seu corpo. Além disso, foi possível observar que com o desenvolvimento do sistema e das bactérias em biofilme no substrato, o crescimento de fungos diminui, podendo também ser causado pelo excesso de sais de amônio, NH_4^+ . Ademais, recomenda-se que estudos que combinem esses sistemas sejam realizados para potencialização do tratamento de efluentes.

Palavras-chave: *Wetland*. Tratamento de esgoto. Análise microbiológica. Taboa.

¹ Técnico em Meio Ambiente pelo Instituto Federal do Paraná - *Campus* Paranaguá, e-mail: Lucasmatheus568@gmail.com.

² Mestre em Engenharia Civil - Docente do Instituto Federal do Paraná - *Campus* Paranaguá, e-mail: joana.zablonsky@ifpr.edu.br

^{3,4} Alunos do curso Técnico em Meio Ambiente do Instituto Federal do Paraná - *Campus* Paranaguá, e-mail: davipaulasilva@hotmail.com; naiurydasilvamarcondes@gmail.com

⁵ Mestre em Biotecnologia (UCS) -Técnica de Laboratório do Instituto Federal do Paraná - *Campus* Paranaguá, e-mail: barbara.souza@ifpr.edu.br

Abstract: Wetlands systems have developed and become reference when the subject is the decentralized sewage treatment. These systems can be defined as constructed areas that simulate the reactions and function of natural marshes, which is the depuration of organic matter, and which may be accompanied by plant species that also aid in the decomposition and oxidation reactions of compounds that are considered toxic to human life. The objective of this work is to build two wetland systems, a vegetation with the genus *Typha sp.*, known as Taboa, and the other with the absence of plant species. In addition, describe and analyze the development of micro-organisms (heterotrophic bacteria and fungi) in each treatment system. The systems were built and analyzed in their initial three months, according to abiotic data (temperature, humidity, rainfall and pH) and microbiological data. The effluent used in the system is produced in a laboratory and is based on the composition of domestic effluents. The results can be considered as initial, but they fulfill the objectives proposed in this work, and show that, the planted system is exposed there is a loss of water by evapotranspiration, and can reach 50% of the amount of liquid in your recipient. Moreover, it was possible to observe that with the development of the system and of the bacteria in biofilm in the substrate, the fungi growth decreases, and may also be caused by the excess of ammonium salts, NH_4^+ . Furthermore, it is recommended that studies that combine these systems are carried out for the potential of wastewater treatment.

Key words: Wetlands. Sewage treatment. Microbiological analysis. Taboa.

1 INTRODUÇÃO

Entre as condições básicas para o desenvolvimento humano e da qualidade de vida, os aspectos relacionados ao saneamento básico possuem grande importância, visto que são essenciais para o grau de desenvolvimento de um país. Além disso, relaciona-se com o controle de surtos de doenças de veiculação hídrica e o aumento da qualidade de vida das classes sociais menos favorecidas socialmente e historicamente excluídas desses serviços.

Dados do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) 2015, mostraram que, apesar da grande distribuição de água tratada por todo o território brasileiro, 83,3%, o tratamento de esgoto só ocorre em 42,67% dos domicílios. Além disso, esses dados são corroborados com estudos realizados pelo Instituto Trata Brasil, trazendo consigo dados mais apurados de acordo com cada região e municípios, em Estudo Trata Brasil “Ranking do Saneamento – 2015”.

Com isso, o desenvolvimento de novas tecnologias que visem o tratamento descentralizado e de baixo custo é essencial para a melhoria das condições às quais os grupos que não possuem esse serviço básico estão expostos. O tratamento descentralizado é também uma das formas de redução de custos, visto que assim pequenas unidades podem atender áreas ou domicílios que não seriam atendidos por sistemas tradicionais, tendo que esses demandam grandes obras. Já em relação ao custo-benefício, devem ser analisadas que apesar de demandar um investimento inicial, os benefícios devem possuir longo prazo de uso. Ademais, estudos que otimizem o consumo de energia elétrica devem ser utilizados, evitando assim o uso de bombas d’água para realização do tratamento. Dessa forma, sistemas *wetlands* surgem como exemplos de tecnologia limpa, barata e sustentável.

Resultados obtidos por Morais et al. (2015) mostram que os sistemas *wetlands*, sejam eles vegetados ou não, possuem ótimos índices de eficiência em Demanda Química de Oxigênio (DQO) com 80 e 90%, Turbidez 93 e 97%, Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) 64 e 76%, Nitrogênio Amoniacal 93 e 89% e Fósforo total, ambos com 97%. Além disso, o autor citado mostra ainda que a remoção de íons Nitrato e Nitrito é maior no sistema vegetado.

Análises realizadas por Sezerino et al. (2015) mostram que apesar de sistemas *wetlands* com idade superior a 8 anos, as taxas de remoção de matéria orgânica (DQO) conseguem manter-se em nível de tratamento secundário, com remoção de até 89%, além da remoção de 90% de Sólidos Suspensos, ação direta do filtro.

Esses sistemas têm se desenvolvido, atualmente, com base em pesquisas na área de saneamento e saúde, no entanto, o seu desenvolvimento não possui normas específicas, sendo que os mesmos são desenvolvidos para diferentes locais e com especificidades muito diferentes. Assim, se faz necessário a realização de pesquisas em sistemas de menor proporção para que se possa entender qual sistema que melhor se adapta às condições climáticas e de pluviosidade locais.

O presente trabalho tem como objetivo a construção de dois sistemas *wetlands* pilotos e sua caracterização microbiológica. Os sistemas *wetlands* irão atuar no tratamento de efluente doméstico sintético, ambos com as mesmas dimensões, mas se diferenciando na presença da espécie vegetal *Typha sp.* (Taboa), em um sistema, e a ausência de espécie vegetal em outro sistema. A caracterização microbiológica busca entender a dinâmica de atuação de bactérias e fungos no tratamento do efluente e seu papel no tratamento de efluentes, relacionando com dados climáticos, pluviométricos e de pH.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

2.1.1 Saneamento

A definição de saneamento, de acordo com a Lei nº. 11.445, de 5 de janeiro 2007, é colocada como o “conjunto dos serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejos de resíduos sólidos e de águas pluviais”. Além disso, a Constituição Cidadã (BRASIL, 1988) garante o saneamento básico com direito do cidadão brasileiro.

Ainda de acordo com a Lei Federal nº. 11.445/2007, o saneamento básico deve ser universalizado e é um direito a todos os cidadãos brasileiros. Dessa forma, serviços como abastecimento de água, coleta e destinação correta de resíduos, tratamento de esgoto e manejo de águas pluviais, evitando alagamentos e a dispersão de doenças de veiculação hídricas são condições básicas para o desenvolvimento da qualidade ambiental e de saúde dos seus habitantes.

A Fundação Nacional da Saúde (FUNASA) define como saneamento em seu Manual de Saneamento de 2006:

“Saneamento é o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar Salubridade Ambiental, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural.”

Os *wetlands* naturais consistem em grandes áreas alagadas que possuem vegetação adaptada, além de possuir relações com animais e microrganismos que se adaptam a essas condições; pântanos e brejos são

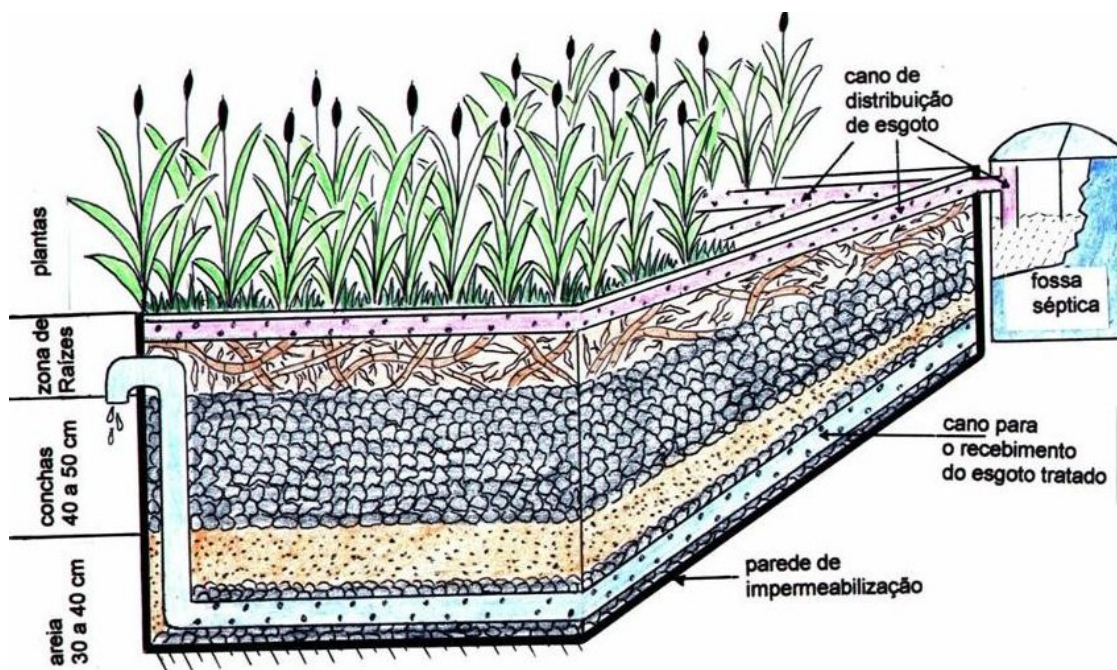
exemplos de *wetlands* naturais (VON SPERLING, 2014). No entanto, além de nem todas as áreas possuírem naturalmente um local com essas características, não é recomendado seu uso para disposição de efluentes, visto às interferências que possam vir a ocorrer no *habitat* natural.

Já os *wetlands* construídos, chamados também de sistemas por Zona de Raízes, consistem na construção de sistemas que se aproximem ao máximo dos processos microbiológicos e físico-químicos que ocorrem nos sistemas naturais, visando a depuração da matéria orgânica presente nos esgotos sanitários (VON SPERLING, 2014). Os diversos modelos se desenvolveram devido a forma de disposição do meio filtrante, ou a dispensa da sua utilização, assim como a utilização das plantas e os estudos quanto a quantificação e a qualificação de microrganismos e as suas funcionalidades no sistema. Diferenciam-se quanto a disponibilidade de água livre na superfície, escoamento superficial e subsuperficial, e quanto à direção do escoamento, horizontal e vertical.

Os *wetlands* construídos consistem em construções que criam ambientes e ecossistemas artificiais capazes de simular ambientes de *wetlands* naturais, diferindo apenas pelo controle do ciclo hidrológico (SALATTI, 1998). Já para Van Kaick (2002), “a estação de tratamento por meio de zona de raízes é um sistema físico-biológico, idealizado seguindo a lógica do biofiltro, utilizando-se, porém, de mais um filtro constituído por raízes”, além disso, nota-se a mudança de nomenclatura utilizada pelos autores.

Os sistemas *wetlands* construídos revelam-se como um grande aliado, pois consiste em uma tecnologia que propicia o tratamento de esgoto com baixo custo na construção, baixo uso de energia e que pode ser construído de maneira centralizada ou descentralizada (VAN KAICK, 2002). A Figura 1 mostra o sistema esquematizado por Van Kaick. Além disso, de acordo com Van Kaick (2002), o sistema possui fácil operação e baixa frequência de manutenção em relação aos sistemas convencionais.

Figura 1 - *Wetland* Construído de escoamento vertical e fluxo afogado.



Fonte: Van Kaick (2002).

É no meio filtrante e nas raízes das plantas que há o surgimento de um biofilme bacteriano, devido à proliferação das mais variadas espécies de bactérias, e é onde ocorrem os processos biológicos, químicos e físicos que tratam as águas residuárias (SOUZA et al., 2004).

Com isso, as bactérias heterotróficas agem como sintetizantes de nutrientes e o rejeito para os microrganismos constituem-se como um importante fator de desenvolvimento da planta, nos processos de nitrificação e desnitrificação, sendo as mesmas as principais agentes desse mecanismo (VON SPERLING, 2016). O tratamento do esgoto se dá com a redução de matéria orgânica do efluente e estudos sobre plantas e meios filtrantes são realizados para estabelecer métodos que reduzam concentrações de metais e outros componentes que possam ser prejudiciais a animais aquáticos, de acordo com os padrões de lançamento em corpos d'água.

Esses sistemas consistem em sistemas físico-biológicos, no qual há a construção de um filtro físico de brita, areia ou cascalhos, e até a combinação entre os mesmos, que é colocado para a remoção de sólidos maiores e para o desenvolvimento de um biofilme bacteriano, capaz de utilizar a matéria orgânica e seus nutrientes como fonte de alimento. Ademais, o filtro de cunho biológico deve ser analisado por partes, visto que, sobre o filtro físico, pode haver uma região plantada, ou não, para que os microrganismos que se associam nas raízes plantas e o próprio vegetal possam manter uma relação mutualística, no qual ambos são beneficiados (VAN KAICK, 2002).

O escoamento vertical associado ao fluxo afogado do efluente remete, conseqüentemente, ao aumento da Taxa de Detenção Hidráulica do Sistema (TDH), tempo necessário para o efluente percorrer o sistema. O fato do fluxo ser afogado faz com que as plantas estejam em ambiente alagado durante todo o tempo, remetendo as condições de áreas alagadas naturais, potencializando a eficiência, visto que há maior disponibilidade de água e nutrientes (WEBER, 2015). Além disso, Andrade (2012), em seu experimento com *wetland* de fluxo vertical afogado em comparação ao fluxo livre, coloca que o crescimento da espécie vegetal se dá de maneira mais rápida e mais bem desenvolvida no sistema de fluxo afogado.

Estudos realizados por Andrade (2012) mostram que sistemas *wetlands* de escoamento vertical e fluxo afogado possuem grande eficiência na remoção de Nitrogênio Total, com média de 55%, e de DQO, com 95% de remoção.

Dessa forma, faz-se necessário pesquisas na área da caracterização microbiológica dos sistemas *wetlands* de escoamento vertical e fluxo afogado. Os estudos foram realizados com efluente sintético devido às dificuldades com relação à agentes infecciosos e outros patógenos de esgoto bruto, além da dificuldade financeira para realização de tal estudo. Assim, à caracterização em sistemas pilotos de menor escala podem auxiliar a entender os processos biológicos e à funcionalidade desses microrganismos.

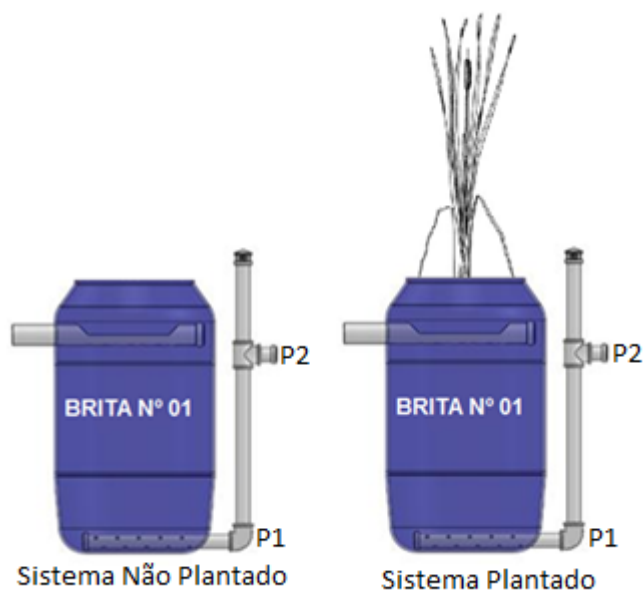
2.2 METODOLOGIA

2.2.1 Construção do Sistema

Para a construção dos sistemas *wetlands*, buscou-se utilizar materiais acessíveis ou de baixo custo, visando sempre a redução dos preços, devido à falta de recursos para o desenvolvimento do projeto. Utilizaram-se dois recipientes de plástico de 200 L que, nos sistemas, possuem a função de sustentar o sistema em si, de armazenar o meio filtrante e o efluente. Foram utilizadas, exclusivamente, pedra brita nº. 1, em quantidade suficiente para completar os recipientes. Além disso, foram utilizados canos de PVC de 20, 25 e 40 mm para construção da rede de encanamento que possui como função de garantir que o sistema esteja sempre com efluente, ou seja, afogado.

A elevação do encanamento de saída dos sistemas configura-se a partir do modelo de escoamento vertical e fluxo afogado proposto por Kaick (2002), onde a maior parte do sistema permanece embebido em efluente, como mostra a Figura 2, além disso, na mesma figura é possível observar os futuros pontos de coleta de dados para as análises microbiológicas.

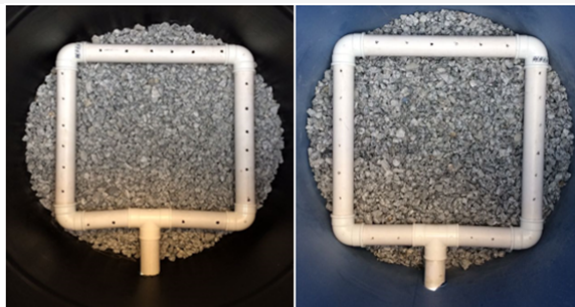
Figura 2 - Wetlands em escala protótipo de escoamento vertical e fluxo afogado.



Fonte: Adaptado Borba (2012)

Inicialmente, ambos os recipientes tiveram que ser serrados para que fossem arrancadas suas tampas superiores, visto que na compra só haviam disponíveis recipientes fechados. Além disso, foram realizadas entradas estratégicas para a tubulação de entrada e saída do efluente, tanto na região superior, que corresponde a entrada do efluente, quanto na região inferior, que corresponde a saída do efluente tratado. Além disso, com o cano PVC de 40 mm foi possível confeccionar a geometria quadrangular do coletor de efluentes, como se fossem esquadros de coleta na região do interior do sistema, sendo instalado um esquadro em cada sistema, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Esquadros para coleta de efluente colocados durante à construção do sistema.



Fonte: O autor

Do dia 19 de junho até 30 de novembro de 2017, ambos os sistemas foram alimentados por efluente sintético, em uma solução de volume correspondente a 20 L. A planta que foi utilizada em um dos sistemas corresponde ao gênero *Typha sp.*, planta essa bem reconhecida quando o assunto é tratamento de efluentes sanitários. As mesmas foram coletadas na faixa lateral entre a PR-407 e o Parque Estadual do Palmito, na cidade de Paranaguá.

Os sistemas estão instalados no Instituto Federal do Paraná (IFPR), campus Paranaguá, aos fundos do Bloco Tecnológico, próximo ao Laboratório de Meio Ambiente.

2.2.2 Funcionamento do Sistema

Os recipientes plásticos possuem formato cilíndrico, com 90 cm de altura, e cores diferentes, sendo que o recipiente azul corresponde ao sistema plantado e o recipiente preto ao sistema não plantado. Além disso, a Tabela 1 apresenta as características e dimensões dos sistemas.

Tabela 1 -Características e dimensões do Sistema *Wetland* em estudo

Características	Dimensões
Altura da camada de brita	0,80 m
Granulometria da brita	nº. 1
Diâmetro: Tubulação PVC	40 mm
Área superficial	0,152 m ²
Número de mudas	6 mudas
Volume de vazio	100 L
Volume ocupado	100 L
Volume total	200 L

Fonte: O autor (2017)

Os sistemas são alimentados de segunda à sexta-feira, desde o dia 19 de julho de 2017, com 20 L cada sistema de segunda à quinta-feira. Nas sextas-feiras, os sistemas são alimentados com o dobro da carga que recebem diariamente, 40 L, o que equivaleria à sexta e ao sábado. Aos domingos, o sistema não recebe efluente algum, sendo considerado “dia de descanso”.

2.2.3 Caracterização do Efluente

O efluente sintético utilizado neste trabalho é produzido no Laboratório de Química do IFPR, campus Paranaguá, e sua produção ocorre de maneira concentrada. Dessa forma, o efluente antes de ser colocado nos sistemas deve ser diluído em água.

A composição química do efluente está colocada na Tabela 2, além disso, vale ressaltar que apesar da solução concentrada de efluente ser feita com água destilada, na diluição que ocorre antes de ser inserida no sistema a água utilizada é a disponibilizada pelo sistema de distribuição municipal.

Tabela 2 - Composição química do efluente sintético.

Composto	Concentração (mg.L ⁻¹)
Glicose	300
Ureia	62,5
Sulfato de Níquel	0,5
Sulfato Ferroso	2,5
Cloreto Férrico	0,25
Cloreto de Cobalto	0,04
Dióxido de Selênio	0,035
Fosfato de Potássio Monobásico	42,5
Fosfato de Potássio Dibásico	10,85
Fosfato de Sódio Dibásico	16,7
Bicarbonato de Sódio	1000

Fonte: Del Nery (1987) adaptado por Freire (2005)

2.2.4 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas realizadas consistiram na metodologia de inoculação do efluente em meios de cultura para análise qualitativa e quantitativa em relação aos microrganismos que ali se desenvolveram. As práticas microbiológicas que foram realizadas eram destinadas ao crescimento de bactérias heterotróficas, utilizando *Nutrient Ágar* (NA) como meio de cultura, e para o desenvolvimento de fungos, utilizando *Potato Dextrose Ágar* (PDA) como meio de cultura.

As análises microbiológicas foram realizadas num período de 3 meses para esse estudo e, cada mês, 3 pontos foram analisados, sendo dois desses pontos de efluente diretamente do interior do sistema e um deles no efluente que era depositado no sistema, para que houvesse um parâmetro conhecido em relação à qualidade do efluente que entrava no sistema. Todas as amostras foram realizadas em triplicata, além disso, a cada prática microbiológica, placas

destinadas ao controle microbiológico em relação à contaminação passaram pelo mesmo processo que as placas que foram inoculadas com as amostras.

As amostras foram diluídas em solução salina (9 g/L de NaCl) esterilizada e sua concentração foi diluída em 6 frascos (10^{-1} a 10^{-6}) correspondente à diluição seriada. Ademais, no meio de cultura destinado ao crescimento de fungos, foi adicionado uma cota volumétrica, diluído em solução salina, de um antibiótico, priorizando assim o crescimento de fungos na amostra. Foi utilizado à técnica do espalhamento em meio sólido NA, para a realização da contagem das Unidades Formadoras de Colônias (UFC), com o auxílio de alças *Drigalski* esterilizadas e descartáveis.

O Quadro 1 mostra os pontos e as respectivas diluições. Foram três coletas realizadas nos meses de agosto, setembro e outubro.

Quadro 1 – Pontos e diluições das amostras analisadas

Sistema	Pontos de Coleta	Diluições
Plantado (P)	P1	10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}
	P2	
Não plantado (NP)	P1	10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6}
	P2	
Efluente (E)	E	10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}

Fonte: O autor

As amostras foram inoculadas e incubadas em temperaturas diferentes, bactérias heterotróficas a 31 °C por 48 h e os fungos a 28°C e com fotoperíodo alternado a cada 12h por 168h, simulando o que seria equivalente ao dia e a noite. Após 48h, as bactérias heterotróficas eram retiradas da estufa e eram realizadas as contagens de colônias para posteriormente análises de Unidades

Formadoras de Colônias (UFC). Já os fungos, permaneciam na estufa, com fotoperíodo, por 7 dias, e eram analisados de maneira qualitativa de acordo com a estrutura morfológica macroscópica. Além disso, alguns fungos eram analisados microscopicamente de acordo com suas estruturas, como esporo, hifas e conidióforos.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.4.1. Construção dos Sistemas

O sistema foi construído e funcionou de junho de 2017 a novembro de 2017, sendo que foram necessárias duas inserções de novas plantas durante o período avaliado. As duas replantagens ocorreram logo no início e se deram devido à falta de adaptação das plantas no sistema. Era esperado que as plantas teriam dificuldade em relação ao seu desenvolvimento, visto que os níveis de chuva até então eram escassos, além disso, foi possível observar que as plantas que foram retiradas do sistema haviam sofrido ataques de insetos.

As Figuras 4 e 5 mostram ambos os sistemas em funcionamento, sendo uma comparação em relação quando o sistema foi implantado e a situação atual.

Figura 4 – Registro dos sistemas em suas primeiras semanas.



Fonte: O autor

Figura 5 – Registro após três meses de operação do sistema *wetland*, volumoso em plantas e mudas, mas em locais específicos.



Fonte: O autor

2.4.2. Análises microbiológicas e abióticas

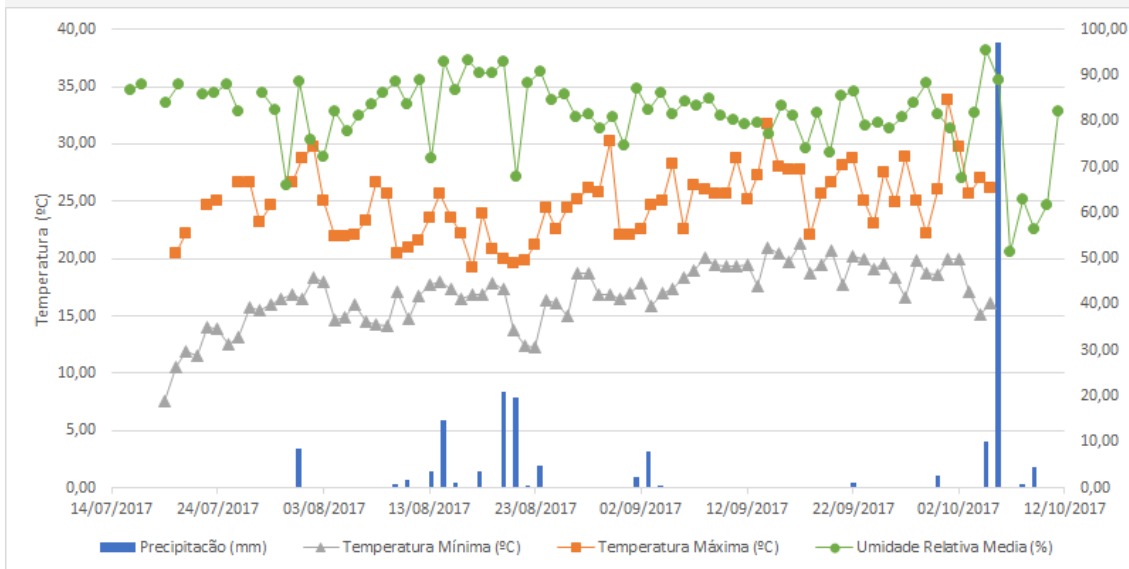
O período climático em que o sistema foi instalado pode ser considerado como pouco propício, inclusive, devido às condições de elevadas temperaturas

e baixas taxas pluviométricas. De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com banco de dados disponível em relação à cidade de Paranaguá, local onde está localizado o *campus*, as taxas pluviométricas somaram quase zero na quantidade de chuvas em milímetros, referentes aos meses de julho e agosto. Em um intervalo de 2 meses, metade de julho à metade de setembro, houve apenas uma manifestação significativa de chuva, 8 mm no início de agosto.

Essas condições de pluviosidade foram essenciais e preponderantes para a dificuldade do crescimento da macrófita, *Typha sp.*, aliado às altas temperaturas registradas no período de adaptação da planta. Além disso, outros fatores também podem ter influenciado nas dificuldades iniciais de adaptação, como predadores e à mudança brusca de ambiente.

A Figura 6 traz um perfil climático com dados de umidade relativa e pluviosidade, disponibilizados pelo INMET e organizados pelo autor, que explicita baixos índices pluviométricos no período estudado. Além disso, durante em alguns momentos, a amplitude térmica chegava à 12°C, sendo um possível indicador de dificuldade ao crescimento das macrófitas, visto que aliado às altas temperaturas, a perda de água por evapotranspiração pode ter sido significativa. De acordo com Sousa et al. (2004), à evapotranspiração pode interferir na eficiência do desempenho do sistema *wetland*, visto que as perdas podem chegar a até 50% da carga hidráulica quando temperaturas chegam a valores entre 30 °C e 34 °C.

Figura 6 - Perfil Climático, com dados de Umidade Relativa, em relação aos meses estudados.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

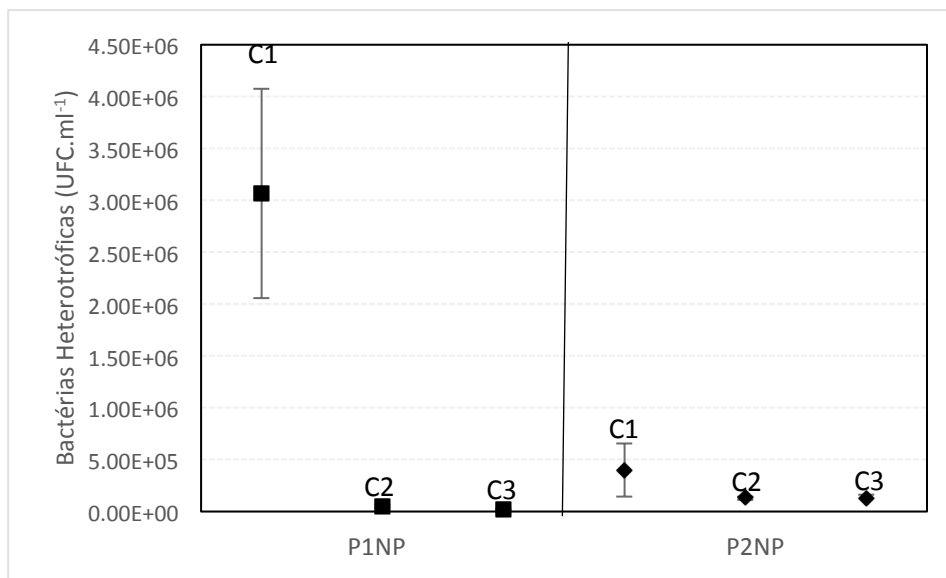
Organização: O autor.

As coletas e análises microbiológicas foram quantificadas de acordo com a técnica de contagem de Unidades Formadoras de Colônia em $\text{UFC}\cdot\text{ml}^{-1}$. As colônias foram quantificadas, sendo que algumas delas foram analisadas de acordo com a sua estrutura macroscópica e microscópica, como por exemplo, análise da parede celular.

Para melhor compreensão dos resultados apresentados a seguir, é conveniente lembrar que as amostras do Sistema Não Plantado (NP), Figura 7, dividem-se em ponto 1 e 2, sendo denominado P1NP e P2NP, respectivamente, sendo que P1NP refere-se a região inferior e P2NP se refere a região superior do sistema. É possível observar que em ambas as amostras que há um perfil de decaimento nos valores de $\text{UFC}\cdot\text{ml}^{-1}$, provavelmente relacionado ao fato do sistema ainda estar em adaptação e as bactérias heterotróficas ainda não estarem aderida ao substrato do sistema, fazendo com que fossem arrastadas e tivessem maior dificuldade de adesão. No entanto, vale ressaltar que no ponto 1, a amostra de efluente era coletada diretamente de dentro do sistema e a amostra 2, era coletada da região de saída de

efluente do sistema. Ademais, o ponto 2 estava exposto a uma maior amplitude térmica e a oxigênio atmosférico.

Figura 7 - Densidade de bactérias no sistema não plantado nos pontos 1 e 2.



Fonte: O autor

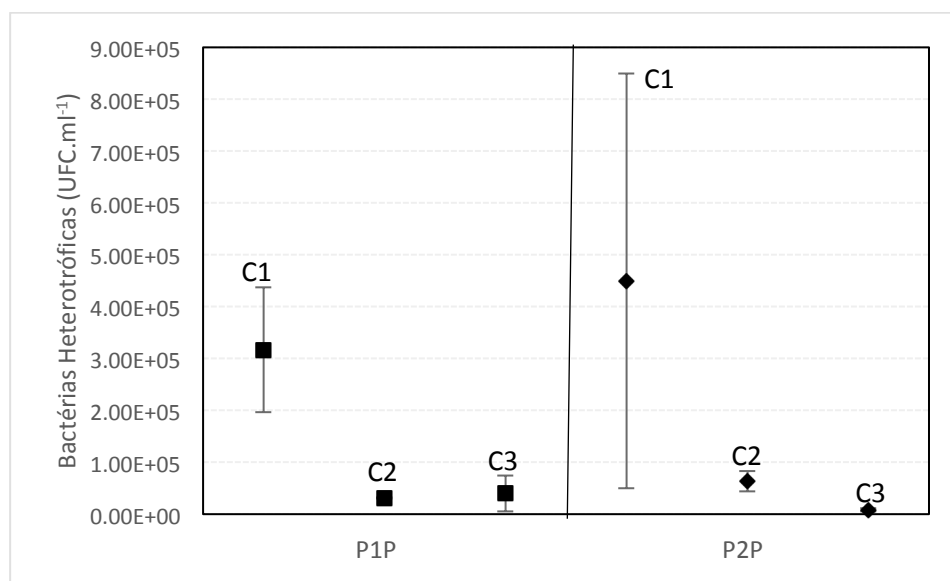
Além disso, é possível observar que a medida que a adesão das bactérias ocorreu, a quantidade de bactérias sendo levadas com o arraste torna-se algo constante, visto que as bactérias aderidas reproduzem-se e vivem determinados períodos.

Já no sistema plantado, Figura 8, as amostras do Sistema Plantado (P), os pontos 1 e 2 foram denominados P1P e P2P, sendo que a localização deles segue a mesma configuração do sistema anterior, P1P com efluente de dentro do sistema e P2P com efluente da região superior, com maior exposição à amplitude térmica e ao oxigênio atmosférico. Novamente, assim como colocado anteriormente, no primeiro mês de coleta, a dificuldade de adesão das bactérias podem ter auxiliado o arraste das mesmas. Além disso, é necessário observar que apesar do arraste ter levado consigo bactérias não aderidas ao substrato, na primeira coleta, a quantidade de UFC.ml⁻¹ arrastada no Sistema

Não Plantado é 10 vezes maior que a quantidade arrastada no Sistema Plantado.

Ademais, a coleta 1 no ponto P2P mostra que os valores contabilizados variaram de maneira considerável, evidenciando assim as dificuldades de trabalho com as amostras do primeiro mês de coleta.

Figura 8 - Densidade de bactérias no sistema plantado nos pontos 1 e 2.



Fonte: O autor

A comparação entre os sistemas se deu de acordo com os dados de pontos na mesma localização em ambos os sistemas, sendo que os valores de UFC.ml⁻¹ no ponto P1NP, ao longo das 3 coletas, se aproximou aos valores de UFC.ml⁻¹ encontrados em P1P. Dessa forma, é possível estabelecer relações que evidenciam o papel da planta na fase de adaptação do sistema. De acordo com Lohmann (2011), um dos fatores envolvidos na remoção de microrganismos é o desenvolvimento de biofilme no substrato, neste caso a brita. Dessa forma, há a diminuição dos espaços entre as pedras e as bactérias passam a atuar na degradação da matéria orgânica de maneira aderida ao substrato.

De acordo com Andrade (2012), em sistemas de fluxo afogado possuem condições de extrema anaerobiose, sendo então, deficiente na remoção de íons de amônio ($N-NH_4^+$), pois há falta de oxigênio para oxidação da amônia. Segundo Zanella (2013), o aumento da densidade de microrganismos é proporcionalmente direto à oxidação da amônia. Dessa forma, os dados encontrados neste trabalho caminham no sentido de aperfeiçoar sistemas *wetlands*, tendo que o sistema aqui tratado é de escoamento vertical e fluxo afogado, sendo uma das dificuldades encontradas, a oxidação de sais de amônio (NH_4^+), visto que, é provável que esse processo ocorreria se a densidade de microrganismos aumentasse e houvesse mais oxigênio disponível.

Além disso, é necessário ressaltar que, as condições de pluviosidade influenciaram na coleta 2, visto que essa foi a única coleta em que os índices de pluviosidade foram nulos em dias anteriores a coleta, diferentemente do que ocorreu na C1 e na C2

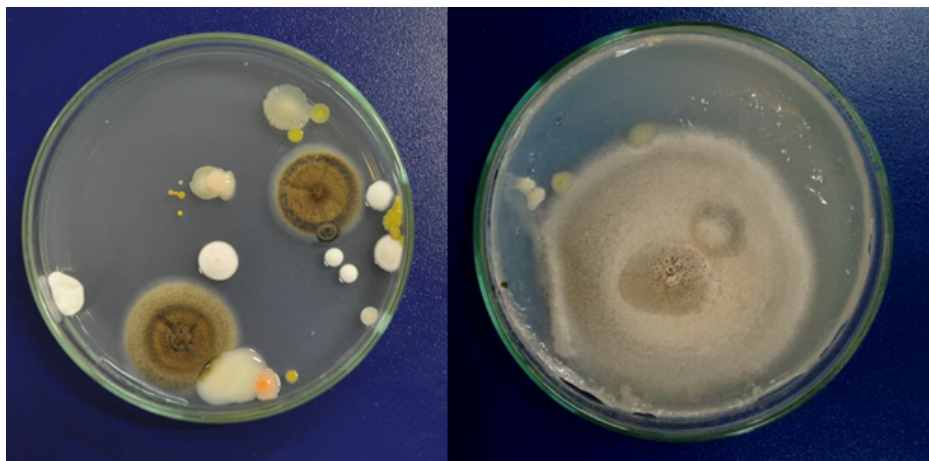
As análises qualitativas referentes a fungos apontaram para o desenvolvimento de gêneros ainda em estudo. Leveduras, fungos unicelulares, foram identificados e demonstraram ser comuns em ambos os sistemas. No entanto, foi possível identificar sua diminuição do arraste ao longo das coletas, pois de acordo com Schon (2011), devido ao tamanho maior que de uma bactéria e à sua aderência ao substrato, visto que há disponibilidade de matéria orgânica dentro do sistema o que garante a sua estabilidade.

A disponibilidade de matéria orgânica no sistema, inclusive devido a facilidade de quebra da glicose, o carboidrato mais simples a ser degradado, foi essencial para o surgimento de fungos. Gêneros como *Trichoderma sp*, *Fusarium sp.* e *Aspergillus sp.* foram comuns nas amostras biológicas estudadas.

No entanto, os fungos possuem dificuldade de crescimento em meio com altas concentrações de sais amônio (NH_4^+). Segundo Silva et al. (2015), a

quantidade e a eficiência do fungo *Aspergillus niger* AN 400 na remoção de poluentes no tratamento de efluente têxtil mostra que as condições em que houveram maiores quantidades de fungos em relação a bactérias, houve maior aproveitamento da metabolização das substâncias presentes, as menores concentrações de nitrogênio amoniacal foram as que não inibiram o sistema enzimático do fungo. Exemplos de fungos encontrados no sistema podem ser observados na Figura 9.

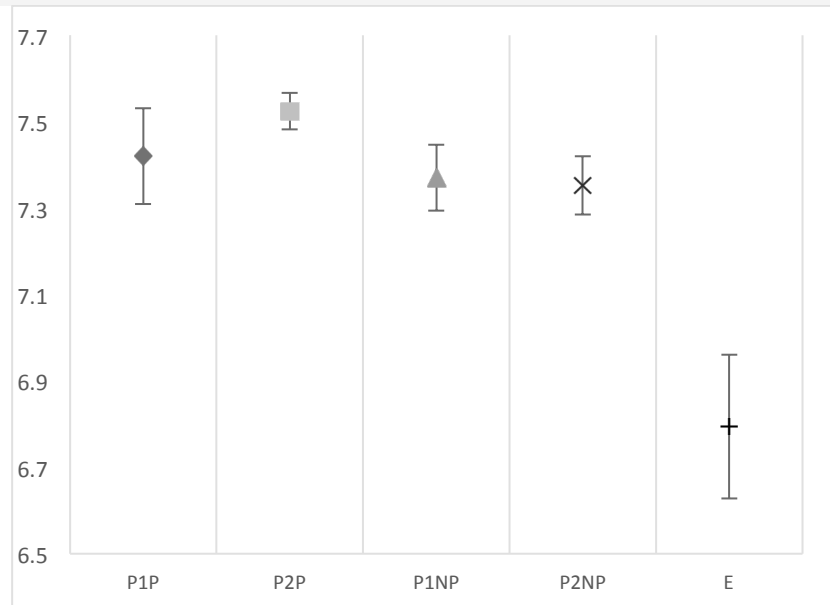
Figura 9 – Variabilidade e desenvolvimento de fungos nas amostras analisadas.



Fonte: O autor

Ademais, as medições relacionadas ao pH, parâmetro esse referente ao teor de acidez ou basicidade de uma amostra, podem ser analisados na Figura 10. As variações de pH, foram pequenas e não correspondem a um fator que tenha interferência direta nos dados anteriores. A água utilizada para a diluição do efluente e o desenvolvimento dos sistemas foi a água distribuída pela empresa de distribuição e tratamento da cidade.

Figura 10 – Dados referente ao pH medido ao longo do período estudado.



Fonte: O autor

Assim, graficamente, é considerável inferir que as atividades microbianas dentro de ambos os sistemas tinham teor ácido, elevando assim o teor mais alcalino do efluente de entrada.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa forma, a partir das análises realizadas e dos estudos aqui apresentados, é possível observar que há atuação de microrganismos dentro de ambos os sistemas *wetlands*, seja plantado ou na ausência da planta. Também é necessário considerar que, apesar do sistema plantado ter se desenvolvido, a ausência de chuvas influenciou seu desenvolvimento, inferindo assim que as condições ambientais e a escolha da planta devem ter coerência.

Além disso, através das literaturas estudadas, o desenvolvimento dos microrganismos, reações de redução de matéria orgânica e oxidações de compostos nitrogenados são fundamentais para que haja o efetivo tratamento do esgoto. É possível inferir também que o tratamento do efluente não é

totalmente eficaz em sistemas unitários, logo, analisar sistemas que possam atuar em conjunto ou sequenciais para o tratamento é essencial e necessário, como, por exemplo, tratar efluente com sistema combinados entre fluxo afogado e fluxo livre. Ademais, analisar a eficiência do tratamento, o sistema utilizado ou as combinações utilizadas, atuação do substrato, e, ausência ou presença de vegetação são fundamentais para o desenvolvimento de tecnologias ambientais que possam ser significativas e descentralizadas no tratamento do efluente.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, H. H. B. DE. **Avaliação do desempenho de sistemas de zona de raízes (wetlands construídas) em escala piloto aplicados ao tratamento de efluente sintético**. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- BORBA, A. L. B. **Dimensionamento e Implantação de Filtros com Zona De Raízes (Wetlands Construídos) de Fluxo Subsuperficial Vertical para o Tratamento de Esgoto Doméstico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) UTFPR. Curitiba. 2012. 191p.
- BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.
- BRASIL. Decreto Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 27 set. 2017.
- FREIRE, F. B. **Tratamento Anaeróbio de Efluente Contendo Pentaclorofenol em Reator de Leito Fluidificado**. 2005. 215p. Tese (Doutorado Engenharia de
- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de Saneamento**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde. 3 ed. 2006. 408p.
- LOHMANN, G. **Caracterização de uma Estação de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes Utilizando Variáveis Abióticas e Microbiológicas**. 2011. 93p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UTFPR. Curitiba, 2011.

MORAIS, C. J.; BELINI, A.D.; FREITAS, D. C. DE.; CARVALHO, K. Q. DE.; PASSIG, F. H. **Avaliação do desempenho de um wetland construído tratando esgotos sanitários sintéticos.** 2º Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos. Curitiba, 2015.

Recursos Hídricos e Saneamento) EESC/USP. São Carlos. 2005.

SALATI, E. **Controle de qualidade de águas através de sistemas wetlands construídos.** Rio de Janeiro. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. 1998. Disponível em:

<<http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pactodasaguas/2011/12/sistema-wetlands.pdf>>. Acesso em: 15 de outubro de 2017.

SCHÖN, M. C. M. **Análise Microbiológica dos Diferentes Meios de Suporte de uma Estação de Tratamento de Efluentes por Zona de Raízes de Fluxo Vertical.** Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Química Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SEZERINO, P. H.; SANTOS, M. O. DOS.; PELISSARI, C.; CELIS, G. S.; PHILIPPI, L. S. **Wetlands construídos horizontais aplicados no tratamento descentralizado de esgotos.** 2º Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos. Curitiba, 2015.

SILVA, K. M. L. da; WANDERLEY, C. R. P.; MARINHO, G.; OLIVEIRA, J. C. de; SANTOS, D. O. dos; RODRIGUES, K. **Influência do excesso de nitrogênio amoniacal no tratamento de efluente têxtil em reator de bateladas sequenciais com *Aspergillus niger* AN 400.** Artigo Técnico. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol.20 n.4 | out/dez 2015 | 635-643.

SOUZA, J. T.; van HAANDEL, A.; LIMA, E. P. C. e HENRIQUE, I. N. **Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB.** Nota técnica. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 9 – N° 4 – out/dez 2004, p 285 – 290.

VAN KAICK, T. S. **Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná.** Curitiba. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) CEFET-PR, Curitiba, 2002.

VON SPERLIN, MARCOS. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3ªed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPERLIN, MARCOS. **Princípios básicos do tratamento de esgoto.** 2ªed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Editora da Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

WEBER, C. F. **Proposta de dimensionamento e implantação de wetlands construídos em sistema individual de tratamento de esgoto sanitário.** Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Processos Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

ZANELLA, L. **Análise da densidade microbiana presente em colunas de areia experimentais de fluxo vertical no tratamento de esgoto doméstico.**

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) –
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.