

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

KAROLINA LOPES FERREIRA

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA *WETLANDS* CONSTRUÍDA NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES UTILIZANDO A MACRÓFITA *CRINUM AMERICANUM***

Caçapava do Sul - RS

2018

KAROLINA LOPES FERREIRA

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA *WETLANDS* CONSTRUÍDA NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES UTILIZANDO A MACRÓFITA *CRINUM AMERICANUM***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Guimarães da Silva

Caçapava do Sul - RS

2018

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

F383a Ferreira, Karolina Lopes
AVALIAÇÃO DE SISTEMA WETLANDS CONSTRUIDA NO
TRATAMENTO DE EFLUENTES UTILIZANDO A MACRÓFITA CRINUM
AMERICANUM / Karolina Lopes Ferreira.

48 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 2018.

"Orientação: Mateus Guimarães da Silva".

1. Fitorremediação. 2. Zona de Raízes. 3. Esgoto Doméstico. 4. Saneamento. I. Título.

KAROLINA LOPES FERREIRA

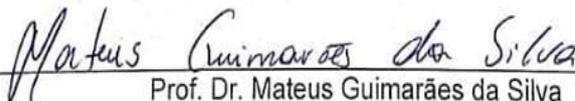
AVALIAÇÃO DE SISTEMA WETLANDS CONSTRUÍDA NO TRATAMENTO DE EFLUENTES UTILIZANDO A MACRÓFITA *CRINUM AMERICANUM*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Guimarães da Silva.

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 11/12/2018

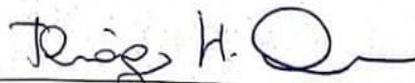
Banca examinadora:



Prof. Dr. Mateus Guimarães da Silva
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich
UNIPAMPA



Prof. Dr. Thiago Henrique Lugokenski
UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe Sônia, por ter me concedido o dom da vida e por nunca ter deixado de ser o meu Norte.

Agradeço ao meu pai Janio, por sempre lutar para que eu pudesse alcançar meus sonhos e a minha mãe Thais por sempre me incentivar e ter fé em mim. A minha irmã Julia pelo simples fato de existir e ser luz na minha vida.

Ao meu avô Antônio José, por ser meu exemplo na busca pelo conhecimento e a minha avó Maria Luiza, por sempre ter rezado por mim. A minha avó de coração Salete, por todas as receitas de coisas gostosas para cozinhar que me salvaram de viver de miojo na graduação.

Agradeço aos irmãos que a Universidade me deu em especial Paulo, Caiuan, Victor e Bruna por todo apoio e companheirismo nos dias em que achei que não seria capaz. As amigas que chegaram nos últimos anos Alane e Giovanna por terem ajudado a enfeitar os dias cinzas. Ao Plínio por todas as risadas e alegrias que trouxe ao meu coração.

Meu muito obrigada a minha amiga Rafaela, por sempre estar comigo nos momentos bons e ruins, por ter me acolhido e principalmente por ter dividido sua família comigo.

As minhas amigas de uma vida inteira Aline, Gabriela e Miryam por terem sempre compreendido os dias em que não pude estar presente.

À Universidade Federal do Pampa, por permitir meu desenvolvimento profissional, pessoal e como ser pensante.

Ao meu orientador, Mateus Guimarães, por ajudar com seus ensinamentos, conselhos, paciência e por mostrar que eu conseguiria vencer esta etapa da vida.

“Nunca esperei nada da vida. Por isso tenho tudo”.

José de Sousa Saramago

RESUMO

O baixo índice de tratamento de esgoto sanitário, e a sua influência sobre a saúde pública traz desafios aos órgãos públicos para encontrar técnicas eficazes para o tratamento deste tipo de efluente. O uso de wetlands artificiais vêm sendo altamente difundido no mundo, se caracterizando como uma técnica eficiente, econômica, e sustentável para a redução da carga orgânica e de nutrientes nos sistemas de tratamento de efluentes orgânicos. Este sistema ainda apresenta vantagens paisagísticas, com pesquisas voltadas ao uso de plantas ornamentais em sua construção. Embora esta tecnologia já seja difundida e amplamente empregada no mundo, os pesquisadores brasileiros iniciaram seus estudos no assunto recentemente, na década de 80. Neste trabalho foi estudado um sistema experimental de wetland de fluxo subsuperficial horizontal, com e sem reciclo, utilizando a macrófita *Crinum americanum*, alimentado com efluente orgânico sintético por um período de 6 meses. O objetivo do estudo foi analisar a eficiência na remoção de matéria orgânica, fósforo, nitrato e turbidez, além do monitoramento do desenvolvimento da planta e avaliação do tempo de detenção hidráulica do efluente. Os resultados mostraram que o sistema possui potencial para remoção dos nutrientes, a eficiência de remoção do fósforo alcançou uma média de 83,01% e do nitrato 74,25%. Já para matéria orgânica a remoção foi igual a 47,1%. Os valores de pH, turbidez e temperatura obtidos do efluente tratado estão de acordo com a Resolução do Conama nº 357/2005 e 430/2011, respectivamente. Em relação ao tempo de detenção hidráulica, os melhores indicadores de remoção dos poluentes foram alcançados em 12h. Os bulbos se desenvolveram, conforme as medições realizadas ao longo dos 6 meses, as macrófitas do sistema plantado atingiram hastes com média de 20 cm, porém, não foi possível visualizar seu período de floração.

Palavras-chave: Fitorremediação, Zona de Raízes, Esgoto Doméstico.

ABSTRACT

The low level of sanitary sewage treatment and its influence on public health poses challenges to public agencies to find efficient techniques for the treatment of this type of effluent. The use of artificial wetlands has been highly widespread in the world, been characterized as an efficient, economical, and sustainable technique for the reduction of organic load and nutrients in the systems of organic effluents treatment. This system still presents landscape advantages, with research aimed to use ornamental plants in its construction. Although this technology is already widespread and widely used in the world, the Brazilian researchers began their studies on the subject recently, in the 80's. In this work an experimental system of horizontal subsurface flow wetland, with and without recycle, it was studied using the macrophyte *Crinum americanum*, fed with synthetic organic effluent for a period of 6 months. The objective of the study was to analyze the efficiency of organic matter, phosphorus, nitrate and turbidity removal, besides the monitoring of the plants development and evaluation of the hydraulic detention time of the effluent. The results showed that the system has potential for nutrient removal, phosphorus removal efficiency averaged 83.01% and nitrate 74.25%. For organic matter, the removal was equal to 47.1%. The values of pH, turbidity and temperature obtained from the treated effluent are in accordance with Conama Resolution no. 357/2005 and 430/2011, respectively. In relation to the hydraulic detention time, the best pollutant removal indicators were reached in 12h. The bulbs developed, according to the measurements made during the 6 months, the macrophytes of the planted system reached stems with an average of 20 cm, however, it was not possible to visualize their flowering period.

Keywords: Phytoremediation, Root Zone, Domestic Sewage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho esquemático de um sistema wetlands de fluxo superficial.....	16
Figura 2 - Desenho esquemático de um sistema wetlands de fluxo subsuperficial horizontal.....	18
Figura 3 - Desenho esquemático de um sistema wetland de fluxo subsuperficial vertical.....	19
Figura 4 - Classificação biotípica de macrófitas.	22
Figura 5 - Desenho esquemático do biofilme formado pelos microrganismos no meio filtrante e nas raízes.	23
Figura 6 - <i>Crinum americanum</i> macrófita do sistema plantado.	24
Figura 7 - Local de implantação do sistema.....	25
Figura 8 - Representação esquemática do wetland de bancada.....	26
Figura 9 - Bulbos pré plantio.	27
Figura 10 - Lavagem do substrato.....	28
Figura 11 - Desenvolvimento macrófitas do sistema CP.....	32
Figura 12 - Variação de temperatura nas amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24 h.	32
Figura 13 - Variação da concentração de fósforo nas amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24 h.	34
Figura 14 - Variação da concentração de nitrato nas amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24 h.....	35
Figura 15 - Variação da condutividade nas amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24 h.	36
Figura 16 - Variação da concentração de matéria orgânica em termos de OC nas amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24 h.	37
Figura 17- Variação de turbidez para amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24h.	38
Figura 18 - Variação de pH nas amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24 h.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes e mecanismos de remoção do sistema WC.	20
Tabela 2 - Composição química esgoto sintético.	29
Tabela 3 - Método de análise das variáveis abióticas.	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Justificativa	12
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo Geral.....	13
2.2	Objetivos Específicos.....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Esgoto Doméstico.....	14
3.2	Wetlands.....	14
3.2.1	Wetlands Naturais	15
3.2.2	Wetlands construídas.....	15
3.3	Meio Filtrante	20
3.4	Macrófitas	21
3.5	Biofilme	22
3.6	<i>Crinum americanum</i>	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1	Montagem dos sistemas	26
4.2	Esgoto sintético.....	28
4.3	Operação do Sistema	29
4.4	Manutenção do sistema pré e pós campanha	30
4.5	Determinação das variáveis abióticas.....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
5.1	Desenvolvimento da macrófita.....	31
5.2	Temperatura	32
5.3	Fósforo.....	34
5.4	Nitrato	35

5.5	Condutividade	36
5.6	Matéria Orgânica.....	36
5.7	Turbidez	37
5.8	pH.....	38
6	CONCLUSÕES	40
7	RECOMENDAÇÕES.....	41
8	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O esgoto sanitário é um dos principais responsáveis pela poluição dos recursos hídricos no Brasil, tal questão traz consigo debates sobre a busca de melhores estratégias e medidas para mitigar esses danos. De acordo com o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (SNIS, 2013), apenas 56,3 % dos municípios brasileiros possuíam rede coletora de esgoto sanitário na área urbana em 2013, dados esses similares aos observados na pesquisa anterior, realizada em 2012, que registrava 55,1% (SNIS, 2012).

A contaminação das águas por microrganismos de origem fecal oriundos do tratamento inadequado do esgoto é responsável pela transmissão de doenças como cólera, febre tifoide, disenteria bacilar e amebiana. Além do contágio por ingestão o contato com a pele e mucosa também origina: esquistossomose, tracoma e escabiose (FUNASA, 2004).

O tratamento dos efluentes é de grande importância na busca pelo desenvolvimento sustentável. Tratar esses resíduos tem como principal objetivo propiciar de maneira econômica e socialmente aceitável a proteção da saúde e do meio ambiente (FUNASA, 2004). Utilizar de forma positiva essas substâncias remanescentes é uma das prioridades do manejo de resíduos em todo o mundo (EPSTEIN, 1997). A busca por sistemas naturais de tratamento tem como critérios a utilização, reutilização e reciclagem dos resíduos, sempre que possível (REED et al., 1995).

Como meio de promover esse tratamento de uma forma eficiente e sustentável cada vez mais se fala sobre a importância do uso de processos que partam do princípio da fitoremediação, entre os principais modelos se encontra o tratamento com wetlands. A tecnologia de tratamento por wetlands construídos já é empregada em países como França, Alemanha e Estados Unidos desde a década de 50 (SILVA, 2007).

Os brasileiros Salati e Rodrigues à partir da década de 80 iniciaram as pesquisas de utilização de wetlands na melhoria da qualidade da água e no controle da poluição (PHILIPPI e SEZERINO, 2004). Aos poucos o uso desse sistema vem sendo difundido no Brasil por meio de instituições como o Instituto de Ecologia (IEA)

de Piracicaba, a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), a Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária (IPA) e Universidades Públicas que estudam novos modelos e formas de implantação dos sistemas (SILVA, 2007).

Pelissari (2013) analisou wetlands plantadas com *Typha domingensis* para tratamento de um efluente proveniente de uma instalação de bovinocultura e obteve eficiência média de remoção de 87% de matéria orgânica em termos de DQO, 80% de nitrogênio amoniacal e 16% de fósforo. Matos et al. (2010) avaliaram a eficiência de wetlands plantadas com *Typha Latifolia L.*, *Alternanthera philoxeroides* e *Cynodon dactylon Pers* para tratamento de água residuária proveniente de suinocultura obtiveram eficiência média de remoção de 89% de matéria orgânica em termos de DQO, 52% de nitrogênio amoniacal e 50% de fósforo total. Tavares et al. (2007) estudaram o desempenho da macrófita *Lemna valdiviana* plantada em um sistema wetland no tratamento terciário de efluente de suinocultura e chegaram a obter eficiência de 95% na remoção de matéria orgânica em termos de DQO. Apesar dos diversos estudos já existentes ainda são muito poucas as aplicações voltadas a macrófitas de cunho ornamental.

1.1 Justificativa

Embora a tecnologia de tratamento com sistema wetlands já seja conhecida mundialmente, o emprego de pesquisas voltadas a esse método ainda é pouco estudado no Brasil.

O estudo do funcionamento desse sistema adaptado a realidade do Brasil é de suma importância para aplicações futuras em grande escala de forma eficaz e rentável. Conhecer uma maior variedade de macrófitas aptas ao tratamento são de grande valia para adaptação e o emprego dessa tecnologia, não só como forma de tratamento, mas também, com um cunho paisagístico.

Correlacionando o problema de déficit no tratamento sanitário brasileiro e os pontos citados sobre a importância do tratamento por wetlands construído, o presente trabalho justifica-se: aumentar o conhecimento e contribuir com informações e dados

sobre essa tecnologia, assim como corroborar para a avaliação da sua implantação sustentável à realidade da região.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a eficiência do tratamento de esgoto sintético pelo sistema de wetland construída de fluxo subsuperficial horizontal em escala de bancada com a macrófita *Crinum americanum*.

2.2 Objetivos Específicos

Com o intuito de atingir o objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) Avaliar a eficiência da remoção dos nutrientes nitrogênio, fósforo e eficiência da remoção da matéria orgânica à partir da análise do oxigênio consumido.
- b) Avaliar em qual o tempo de detenção hidráulica do efluente no sistema a eficiência de remoção da matéria orgânica e micronutrientes é maior.
- c) Avaliar o desenvolvimento da macrófita *Crinum americanum* no sistema de tratamento do efluente sintético.
- d) Avaliar a influência do estágio de desenvolvimento da macrófita na eficiência de remoção da matéria orgânica e micronutrientes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Esgoto Doméstico

O líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e contribuição pluvial parasitária e caracterizado segundo a NBR 9648 (ABNT, 1986) como esgoto sanitário.

O esgoto doméstico é proveniente de edificações que disponham de instalações como banheiros, lavanderias e cozinhas a maior parte de sua composição é dada por água de banho, excretas, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem.

Segundo Campos (1999) os esgotos sanitários são constituídos, geralmente, por 98% de água, contendo também contaminantes como sólidos suspensos, compostos orgânicos, nutrientes, metais, sólidos dissolvidos, sólidos grosseiros, compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos e, possivelmente, substâncias tóxicas.

Os parâmetros utilizados para caracterização do esgoto doméstico são: físicos (como matéria sólida, temperatura, cor, odor, turbidez e variação de vazão), químicos (matéria orgânica e matéria inorgânica) e biológicos como os microrganismos de águas residuárias (bactérias, fungos, protozoários, vírus e algas) e indicadores de contaminação termo tolerante (coliformes) (VON SPERLING, 2005).

3.2 Wetlands

A definição Wetland advinda do inglês denomina qualquer ecossistema alagado ou em transição entre o terrestre e aquático (SALATI, 2003). Tais ecossistemas no Brasil podem também ser conhecidos como brejos, banhados, pântanos, várzeas, igapós, manguezais, entre outros, que se encontram inundados de forma total ou parcial durante o ano (PHILIPPI e SEZERINO, 2004). Essa região alagada é um sistema produtivo, capaz de transformar poluentes presentes e águas residuárias, em produtos inócuos ou em nutrientes que serão utilizados pela comunidade biológica local (KADLEC e KNIGHT, 1996). A partir da análise dos mecanismos de transformações que se sucedem nessas áreas, surgiu a tecnologia utilizada para o

tratamento de nutrientes presentes em águas poluídas e contaminadas, e as Wetlands foram então classificadas como naturais ou construídas.

3.2.1 Wetlands Naturais

Wetlands naturais são caracterizados como biomas de transição de ambientes aquáticos e terrestres que sazonalmente estão inundados ou saturados pela água (WELSCH et al., 1995; HAMMER 1998). Neste ambiente a água, o solo e os vegetais formam um ecossistema equilibrado, degradando a matéria orgânica, reciclando os nutrientes em por consequência, melhorando a qualidade das águas (ANJOS,2003).

Segundo Salatti (2003) estes sistemas possuem importantes funções nos ecossistemas em que se encontram, como:

- Regularização de fluxos de água e controle de enchentes;
- Capacidade de modificar e controlar a qualidade das águas;
- Propiciar a reprodução e alimentação da fauna aquática;
- Área de abrigo para a fauna terrestre;
- Controle da erosão.

3.2.2 Wetlands construídas

As wetlands construídas são modelos artificiais das wetlands naturais que expõem as condições viáveis de tratamento, possuem flexibilidade de construção em diversos locais, e, de acordo com o efluente, podem ser aplicadas como nível de tratamento primário, secundário ou terciário (IWA, 2000).

Os sistemas de wetlands construídas (SWC) possuem destaque entre as formas de tratamento de águas residuárias consideradas de baixo custo de implantação e operação. Esse meio de tratamento está baseado em processos de filtração, degradação microbiana da matéria orgânica, absorção de nutrientes e adsorção ao substrato, dentre outros (EUSTÁQUIO JÚNIOR et al., 2010).

No Brasil esses sistemas podem ser denominados como zona de raízes, leito de raízes, terras úmidas artificiais, terras úmidas construídas, áreas alagadas construídas, leitos cultivados com macrófitas, fito-estações de tratamento de águas residuárias (fito-ETARs) e jardins filtrantes (SILVA, 2007).

Na constituição de um SWC os principais elementos são: meio filtrante, macrófitas aquáticas e microrganismos (BRIX, 1997).

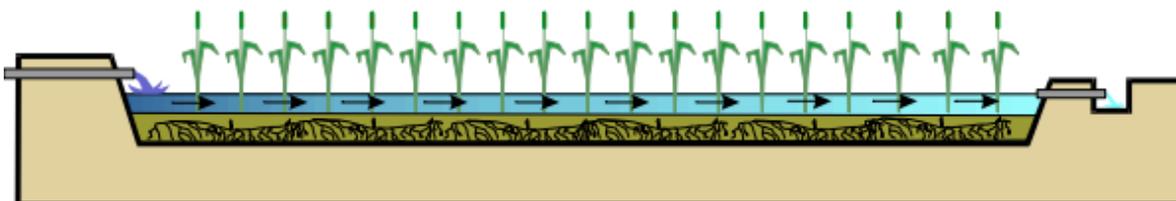
3.2.1.1 Classificação das Wetlands Construídas

Os SWC são classificados basicamente em: sistema de fluxo superficial e sistema de fluxo subsuperficial, sendo o último classificado de fluxo horizontal ou vertical.

3.2.1.1.1 Sistema de fluxo superficial

No sistema superficial ou lâmina livre o fluxo do escoamento se encontra acima do meio suporte, conforme a Figura 1, em sua grande maioria com uma lâmina de água de 0,4 m, o líquido passa através da vegetação composta por macrófitas aquáticas emergentes, submersas ou flutuantes (KADLEC e KNIGHT, 1996). Os sistemas que apresentam essa característica de fluxo possuem um melhor desempenho na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos, devido ao seu maior tempo de detenção hidráulica (USEPA, 2000). Quando se compara o sistema de fluxo superficial com o de fluxo subsuperficial, o fluxo superficial apresenta uma maior desvantagem devido a possível proliferação de mosquitos e geração de odor, sendo assim, o sistema subsuperficial é utilizado com mais frequência (KNIGHT e WALLACE, 2004).

Figura 1 - Desenho esquemático de um sistema wetlands de fluxo superficial.



Fonte: SALATI (2000).

3.2.1.1.2 Sistema de fluxo subsuperficial

Em sistemas wetlands de fluxo subsuperficial o líquido escoar por gravidade horizontalmente ou verticalmente por meio do meio filtrante, entrando em contato com organismos facultativos que vivem em associação com o meio suporte e as raízes das plantas. A grande variedade de processos que ocorrem no substrato faz com que esse modelo de sistema tenha grande eficiência na remoção de nitrogênio, fósforo e metais pesados (USEPA, 2000).

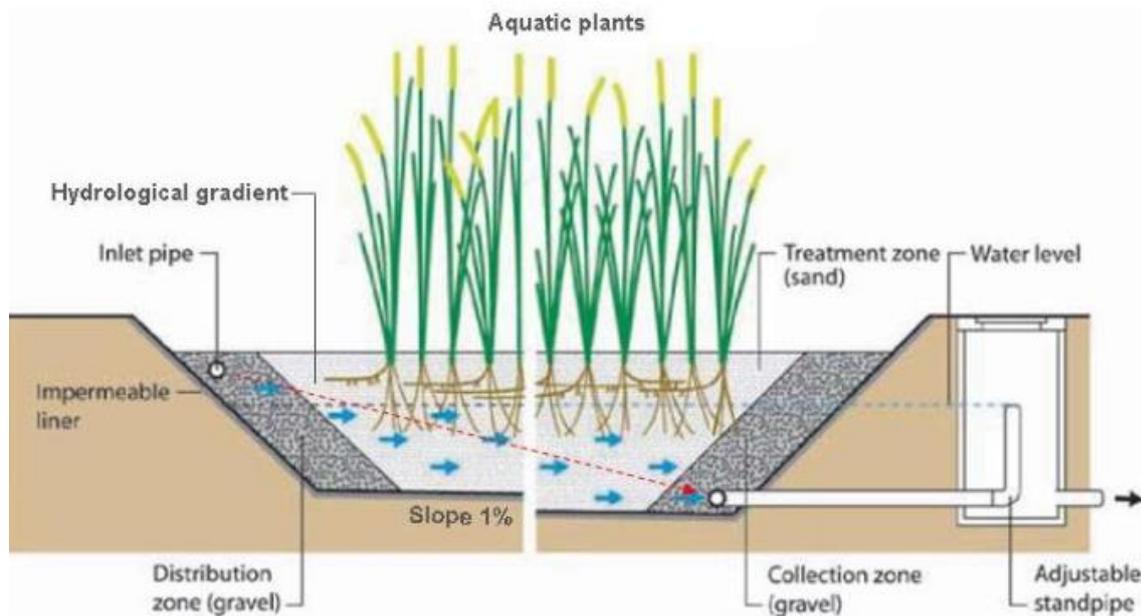
Esse modelo de fluxo não oferece condições para a proliferação de mosquitos e mau odor. O mesmo é utilizado com frequência em países como Estados Unidos, Austrália e África para tratamento secundário de efluentes provenientes de pequenas comunidades (KNIGHT e WALLACE, 2004). Este sistema é dividido entre horizontal e vertical.

- **Sistema de fluxo subsuperficial horizontal:**

No modelo de conformação horizontal, o efluente para tratamento é disposto na porção inicial do leito (zona de entrada), a partir deste percola lentamente por meio do material filtrante até atingir a zona final (Figura 2). A percolação se dá de forma horizontal devido a uma declividade de fundo. A disponibilidade de oxigênio do wetland de fluxo horizontal é mais limitada, fazendo com que o mesmo possua uma maior quantidade de processos anóxicos.

Entre as principais vantagens dos sistemas de fluxo horizontal estão a possibilidade de alimentação da wetland sem o uso de bomba, e também sua elevada capacidade para a eliminação de germes, vantagem essa oriunda do maior tempo de detenção hidráulica. No entanto, segundo estudos de Platzer-et al. (2007), em muitos casos é necessário o uso de bombeamento, pois raramente a declividade do terreno é suficiente. Ademais, a área limitada de entrada do esgoto nos sistemas de fluxo horizontal pode provocar problemas de colmatação, principalmente no caso de esgotos com substâncias orgânicas mais concentradas.

Figura 2 - Desenho esquemático de um sistema wetlands de fluxo subsuperficial horizontal.

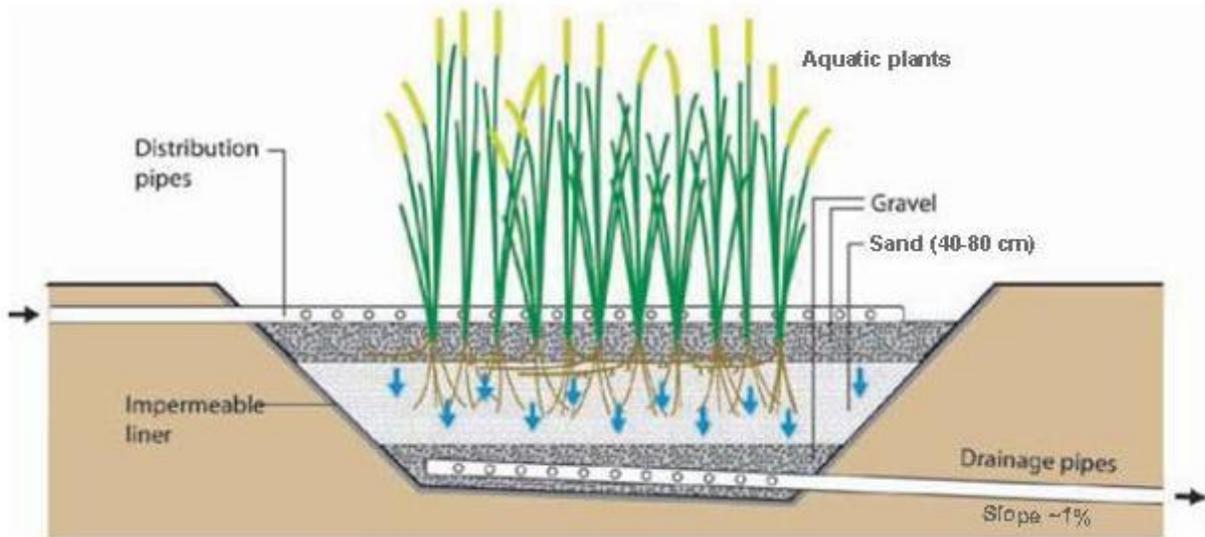


Fonte: MOREL et al. (2006).

- **Sistema de fluxo subsuperficial vertical:**

Este sistema possui uma característica diferente quanto à disposição do efluente, o processo se dá de forma intermitente sob toda a superfície do módulo inundando-o e percolando verticalmente ao longo de todo o perfil vertical, conforme representando na Figura 3, sendo coletado no fundo por meio de um sistema de drenagem (PHILIPPI e SEZERINO, 2004). A reposição em bateladas possibilita a entrada de quantidades de ar (oxigênio) e entre os intervalos, ocorre certa secagem da área de entrada, fatores esses que aumentam a eficiência de processos biológicos e diminuem o risco de colmatção (PLATZER et al., 1999).

Figura 3 - Desenho esquemático de um sistema wetland de fluxo subsuperficial vertical.



Fonte: MOREL et al. (2006).

3.2.1.2 Componentes e mecanismos de remoção do sistema WC

Na Tabela 1 é apresentado um resumo dos principais poluentes que o sistema de wetlands construídas pode remover e seu mecanismo de tratamento.

Tabela 1 - Componentes e mecanismos de remoção do sistema WC.

Constituintes	Mecanismo de remoção
Sólidos Suspensos	Sedimentação e filtração
Metais	Complexação, precipitação Utilização pela planta Oxidação, redução, sedimentação Filtração
Patógenos	Predação, morte natural, irradiação UV e excreção de antibióticos provenientes das raízes da macrófita
Fósforo	Utilização pela planta, adsorção e troca de cátions.
Nitrogênio	Utilização pela planta e volatilização da amônia
Matérial orgânico solúvel	Degradação aeróbia e anaeróbia Amonificação, nitrificação e desnitrificação (biológico)

Fonte: Adaptado de COOPER et al. (1997).

3.3 Meio Filtrante

O meio filtrante está diretamente ligado aos diferentes processos que ocorrem no interior de uma wetland construída, principalmente na adsorção, filtração e degradação da matéria biológica. Sendo assim, torna-se vital o conhecimento das características dos materiais filtrantes a serem aplicados no sistema. Uma das principais funções deste elemento é manter as condições hidráulicas para que o processo de tratamento ocorra. De acordo com Sezerino (2006), os materiais que constituem o leito filtrante devem ser capazes de manter condições adequadas para o fluxo, em conjunto ao potencial reativo ao longo do tempo, ou seja, capaz de promover adsorção de compostos inorgânicos, como amônia (NH_4^+) e ortofosfato (PO_4^-). Nem sempre é possível encontrar tal associação em determinados materiais, pois alguns deles, como a areia, possuem um ótimo fluxo, porém pouca capacidade adsorptiva. As argilas, por sua vez, possuem uma alta capacidade de adsorção, mas são praticamente impermeáveis (SEZERINO, 2006).

3.4 Macrófitas

Caracteriza-se como macrófitas, as plantas que crescem em ambiente de transição entre sistemas aquáticos e terrestres, e produzem expressivas quantidades de matéria seca com alto teor de nutrientes. Estas plantas são fotoautotróficas, sendo assim, utilizam energia solar na assimilação do carbono inorgânico para produção de matéria orgânica, que por sua vez servirá como fonte de energia para os seres heterotróficos que irão se desenvolver no sistema (BRIX,1997).

As ações atribuídas às macrófitas nos wetlands são (BRIX, 1997):

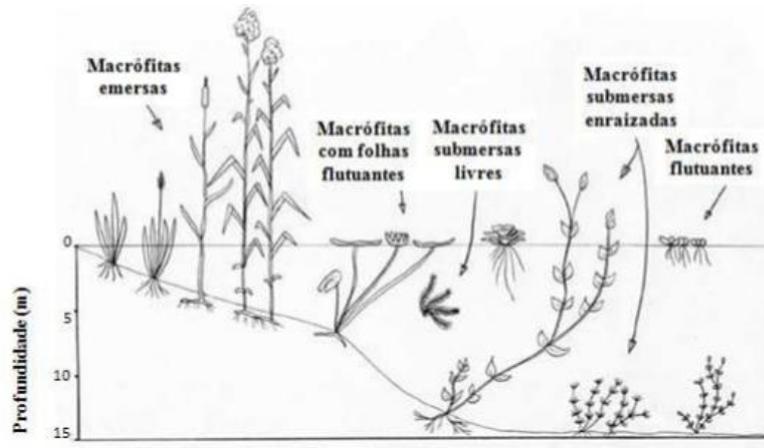
- Estabilização da superfície do filtro;
- Promoção de condições para o processo físico de filtração;
- Aeração da rizosfera (região de contato entre solo e raízes);
- Promoção de área disponível para aderência de microrganismos nas raízes;
- Retirada de nutrientes devido ao requerimento nutricional das plantas e;
- Embelezamento paisagístico.

De acordo com Esteves (1998), as macrófitas podem ser classificadas segundo seu biótipo no ambiente aquático em:

- Emergentes: enraizadas, porém com folhas fora da água;
- Flutuantes fixas: enraizadas e com folhas flutuando na superfície da água;
- Flutuantes livres: flutuam na superfície da água;
- Submersas fixas: enraizadas, crescendo totalmente submersas na água e;
- Submersas livres: permanecem flutuando submersas na água.

A Figura 4 apresenta um desenho esquemático da classificação das macrófitas.

Figura 4 - Classificação biotípica de macrófitas.



Fonte: ESTEVES (2011).

3.5 Biofilme

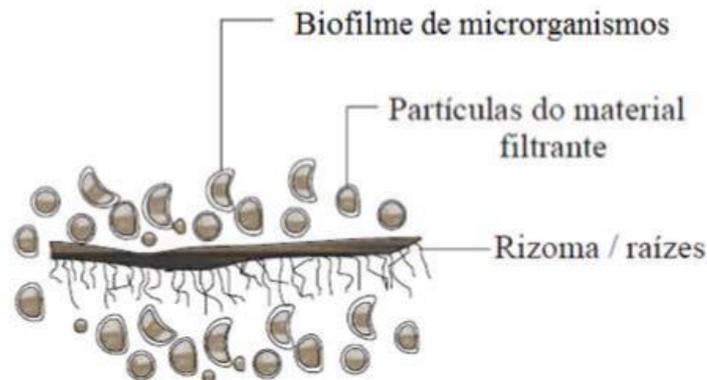
Entre os principais organismos que estão presentes em um sistema wetland, destacam-se protozoários, micrometazoários e a comunidade bacteriana. Entre as funções das bactérias está a decomposição da matéria orgânica, nitrificação e desnitrificação (OLIJNYK, 2008). Esses microorganismos encontram-se suspensos no efluente, aderidos ao meio filtrante e aos rizomas das plantas, gerando a formação de um biofilme. Ao percolar pelo meio plantado o efluente passa sobre a camada microbiana aderida, gerando o contato entre os microorganismos e a matéria orgânica (SPERLING, 1996) e, promovendo, desta forma, a sua degradação.

Os microorganismos contribuem para o tratamento de efluentes orgânicos por meio dos seguintes mecanismos (VON SPERLING, 1996):

- Remoção de bactérias e contribuição para clarificação do efluente;
- Degradação da matéria orgânica e redução da matéria orgânica em termos de DBO_{5,20} do efluente;
- Interação com os demais organismos e manutenção do equilíbrio ecológico do sistema e;

- Redução da produção de lodo através da ingestão de bactérias floculadas ou presentes em biofilmes. Na Figura 5 é apresentado um modelo esquemático do biofilme formado nas raízes e material filtrante.

Figura 5 - Desenho esquemático do biofilme formado pelos microrganismos no meio filtrante e nas raízes.



Fonte: Adaptado de SEZERINO (2006).

O processo de adsorção que ocorre na superfície do biofilme é responsável pela captação de elementos como a matéria orgânica, oxigênio e micronutrientes, os mesmos são transportados por difusão até a comunidade bacteriana onde serão metabolizados. A espessura do biofilme tende a aumentar com o crescimento dos microrganismos, fazendo com que o oxigênio disponível no meio seja consumido antes de adentrar as camadas mais profundas. Em decorrência desse processo ocorre a formação de uma camada do biofilme com característica anaeróbia, situada próximo a superfície do meio suporte (OLIJNYK, 2008).

Devido a criação da camada anaeróbica, a matéria orgânica é metabolizada e digerida antes de chegar a camadas mais profundas do biofilme e os microrganismos habitantes nestas camadas perdem a disponibilidade de matéria orgânica para sobreviver, acabam passando por uma fase intrínseca de crescimento e perdem sua capacidade de aderência. Quando o esgoto penetra por estas regiões de frágil aderência, carregam a camada biológica existente fazendo com que uma nova camada possa se formar. Este fenômeno tem a função de seleção de micro-organismos, visto que, mantém os organismos de maior capacidade metabólica no interior do filtro (OLIJNYK, 2008).

3.6 *Crinum americanum*

Conhecido popularmente como lírio-do-banhado, o *Crinum americanum* é uma erva bulbosa com ocorrência em banhados e margens de lagos e rios. A planta alcança de 30 e 60 cm de altura. As folhas são verde-claras, lustrosas, grandes e lanceoladas. Em seu período de floração, que ocorre entre setembro e junho, as inflorescências atingem entre 60 e 90 cm de altura, e portam em média seis flores aromáticas, com tépalas brancas e estames e estiletos brancos na base tornando-se púrpura da porção mediana em direção aos ápices (Figura 6). O crescimento adensado, a folhagem perene e a floração atraente indicam o uso para a formação de maciços e bordaduras de estatura mediana, especialmente em terrenos alagadiços e na beira de corpos d'água. (STUMPF. et al., 2009).

Figura 6 - *Crinum americanum* macrófita do sistema plantado.

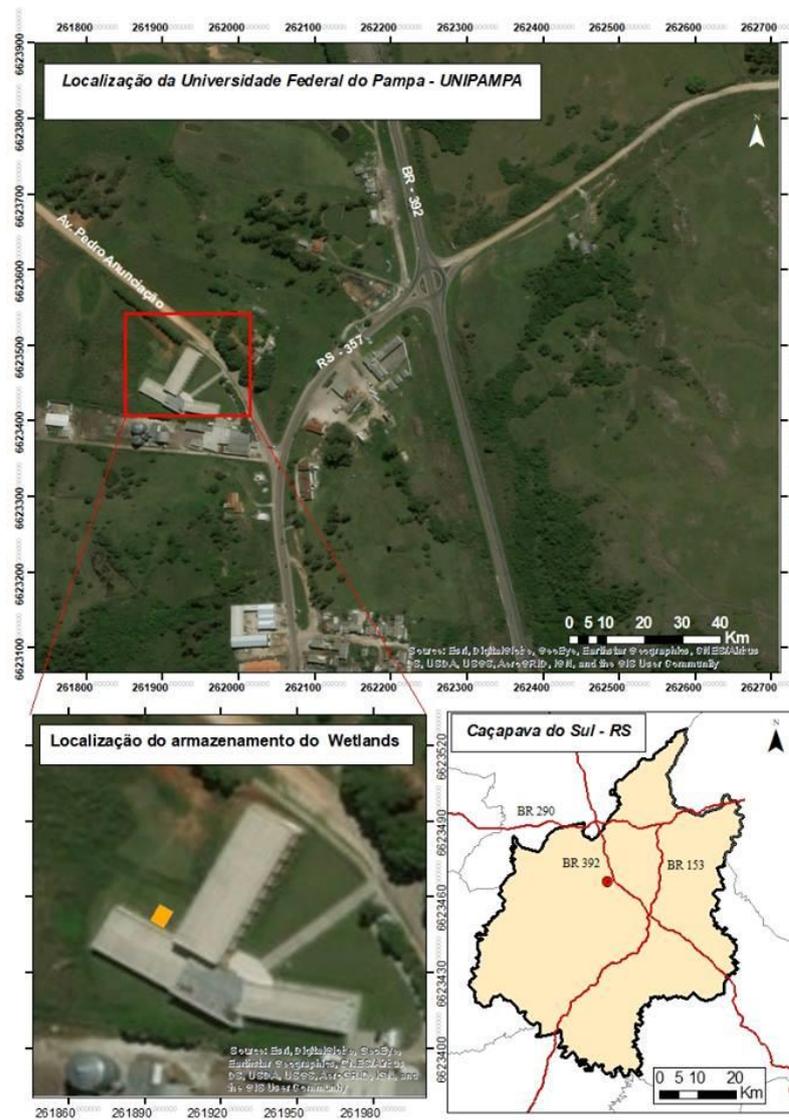


Fonte: STUMPF. et al. (2009).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema experimental foi instalado nas dependências da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Campus Caçapava do Sul/RS, ao lado externo do laboratório de Mineralogia e Petrografia, expostos às intempéries climáticas. Na Figura 7 é apresentado o local de implantação dos mesmos.

Figura 7 - Local de implantação do sistema.



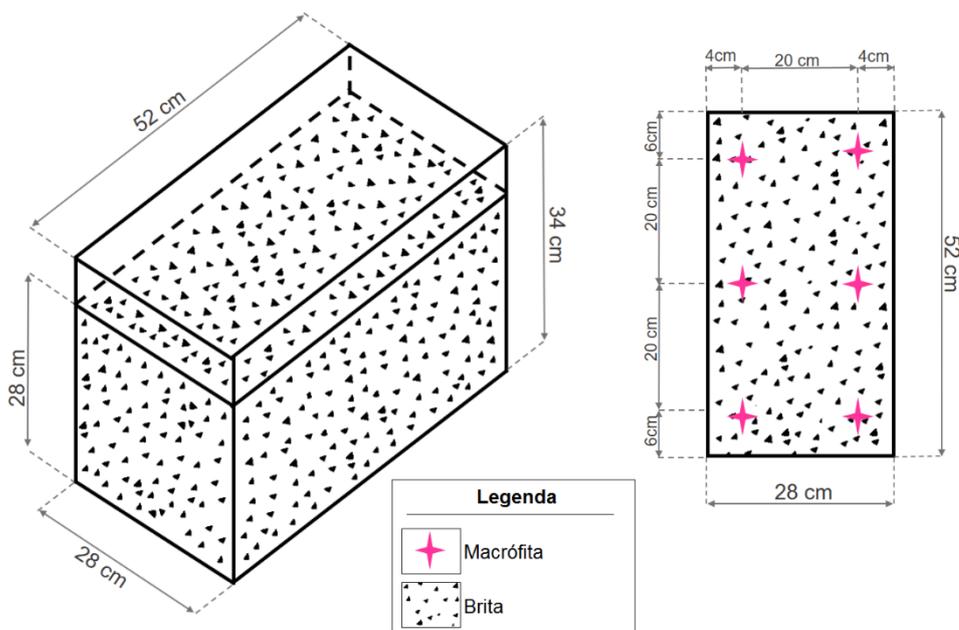
Fonte: Autora

4.1 Montagem dos sistemas

O sistema foi construído utilizando galões plásticos de 50 L com as dimensões de 34 cm de comprimento, 28 cm de largura e 52 cm de altura. As bombonas foram cortadas longitudinalmente, com o finalidade de que em uma das extremidades seja introduzido o efluente e na outra recupere-se o esgoto tratado.

Os galões possuem um sistema de drenagem, composto por uma tubulação com 30 cm de comprimento de PVC e diâmetro nominal de 25 mm, contendo orifícios de 0,5 cm, além de um registro de bloqueio de PVC de 1,27 cm. O sistema conta com uma camada de 28 cm de brita #1, conforme representado na Figura 8.

Figura 8 - Representação esquemática do wetland de bancada.



Fonte: Autora

Em um dos sistemas foram plantadas 6 mudas de *Crinum americanum*. O sistema plantado com macrófitas recebeu a nomeação “CP” e o não plantado de “SP” (filtro). O plantio por sua vez se deu de forma a manter uma distância de 20 cm entre as macrófitas, possibilitando assim espaço suficiente para o crescimento radicular e de seus rizomas, agentes importantes para a remoção da matéria orgânica.

As macrófitas foram adquiridas diretamente de uma empresa de artigos para jardinagem e paisagismo, e se encontravam na forma de bulbos, conforme

apresentado na Figura 9. Por serem provenientes de áreas controladas que impossibilitam sua contaminação, as plantas não necessitaram de um tratamento prévio e foram diretamente inseridas no sistema.

Figura 9 - Bulbos pré plantio.



Fonte: Autora

O substrato passou por um processo de peneiramento e lavagem com o intuito de retirar possíveis materiais agregados, como mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Lavagem do substrato.



Fonte: Autora

4.2 Esgoto sintético

Os experimentos foram realizados com esgoto sintético. Esta escolha se deu pela facilidade de transferi-lo aos sistemas, por não necessitar de tanque séptico como tratamento prévio e, principalmente, para evitar os riscos de contaminação que podem ser originados pelo manuseio do esgoto doméstico natural. O efluente sintético foi elaborado com a composição mostrada na Tabela 2 (BARBOSA, 2006).

Tabela 2 - Composição química esgoto sintético.

Produto	Quantidade	Unidade
Extrato de soja	0,2	mg/L
Amido	0,01	mg/L
Farinha de trigo	0,2	mg/L
Sacarose	0,0175	mg/L
NH ₄ Cl	0,0255	mg/L
Óleo	0,051	mL
Detergente	2	Gotas
Celulose	0,03	mg/L
NaCl	0,25	mg/L
MgCl ₂ .6H ₂ O	0,007	mg/L
CaCl ₂ .2H ₂ O	0,0045	mg/L
KH ₂ PO ₄	0,0264	mg/L
Bicarbonato de Sódio	0,2	mg/L

Fonte: Adaptado de BARBOSA (2006).

4.3 Operação do Sistema

Os sistemas foram alimentados com 10L (cada) de efluente em uma única batelada, e o preparo do efluente se deu no mesmo dia da aplicação para evitar influências de alterações externas que possam afetar sua composição, como mudanças bruscas de temperatura. Após inserção do efluente no sistema, os testes foram realizados com amostras coletadas nos seguintes períodos: 4h, 8h, 12h e 24h. O ciclo escolhido visa avaliar o comportamento e o desempenho nas primeiras horas de contato do efluente com o sistema, sendo essa a faixa de tempo com maior atividade biológica, segundo CEVE (2015).

A fase de campanhas durou seis meses, sendo que as bateladas com o esgoto sintético ocorreram de forma mensal. Possibilitando assim, observar e avaliar o desenvolvimento da macrófita e do biofilme no desempenho do sistema por um período relativamente longo.

4.4 Manutenção do sistema pré e pós campanha

Ambos os sistemas foram saturados durante um mês com água potável, com de formação do biofilme tanto no meio filtrante, quanto junto a raiz e adaptação das mudas do sistema plantado, só depois desse período se iniciou as bateladas mensais com o esgoto sintético.

Nós intervalos mensais (entre uma batelada e outra) em que as análises não ocorriam, os sistemas eram mantidos com a água potável. Isso contribuía para a diminuição dos custos com reagentes (Tabela 2) e também na redução da geração de efluentes para descarte.

4.5 Determinação das variáveis abióticas

As variáveis abióticas foram determinadas segundo as metodologias apresentadas na Tabela 3, sendo executadas de acordo com os métodos propostos pela *Standard methods for the examination of water and wastewater (2005)* e *ABNT NBR 10739-89*.

Tabela 3 - Método de análise das variáveis abióticas.

Parâmetro	Unidade	Método de análise	Método Nº
Temperatura	°C	-	-
Turbidez	UNT	Nefelométrico	2130 B
Condutividade	µs/cm	Condutivímetro	2510 B
pH	-	Potenciométrico	4500_H+
Matéria Orgânica	mg/L	Titulométrico	NBR 10739-89
Nitrato (N-NO ₃ -)	mg/L	Espectrofotométrico	4500_NO ₃
Fósforo Total	mg/L	Espectrofotométrico	4.500_P

Fonte: Autora

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no sistema Wetlands construído plantado com *Crinum americanum* e o sistema apenas com o meio suporte sem plantas foram comparados. Nos gráficos de linha são apresentadas as variações dos resultados ao longo das análises das quatro bateladas realizadas. A base dos gráficos representa as coletas realizadas para esgoto bruto, 04h, 08h, 12h e 24h respectivamente.

5.1 Desenvolvimento da macrófita

Após dois meses de plantio, houve um grande desenvolvimento dos bulbos tendo um crescimento médio de 8 cm de haste, embora dois bulbos ainda permanecessem no tamanho inicial. Quatro meses após o plantio, as hastes continuaram crescendo e atingiram em média de 15 cm, e os dois bulbos não desenvolvidos anteriormente continuaram não apresentando crescimento. Na análise final, após seis meses, os cinco bulbos obtiveram evolução média de 20 cm de haste, o sexto bulbo do sistema CP não apresentou desenvolvimento.

A macrófita se manteve constantemente em desenvolvimento mesmo passando por períodos de baixa e alta temperatura, o que mostra seu potencial de desenvolvimento e adaptação.

Apenas uma macrófita não demonstrou nenhum tipo de crescimento, o que demonstra que a mesma tenha algum problema de origem fisiológica. A figura 11, mostra o desenvolvimento das macrófitas no sistema CP.

Figura 11 - Desenvolvimento macrófitas do sistema CP.

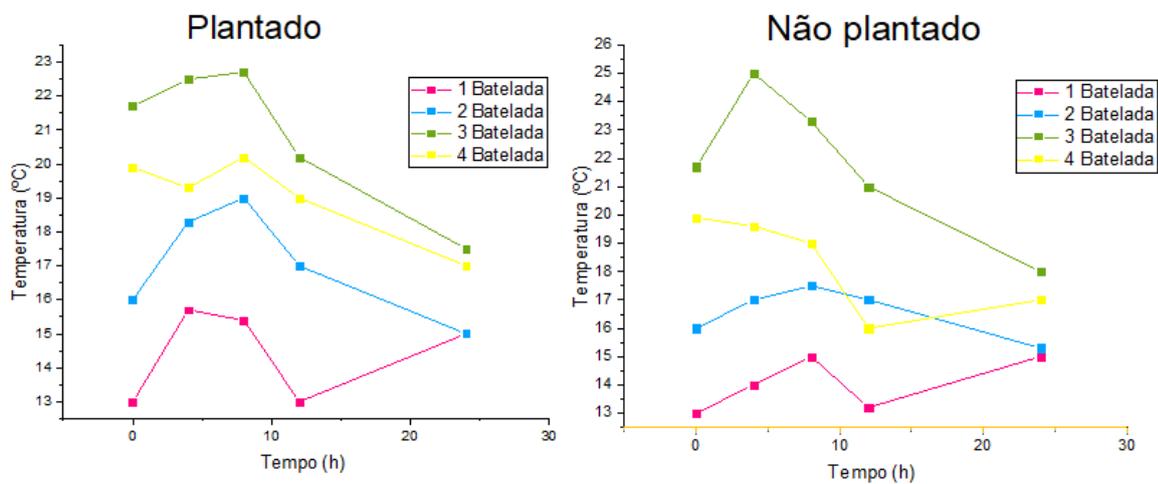


Fonte: Autora

5.2 Temperatura

Na Figura 12 é mostrado os valores de temperaturas obtidos nas 4 bateladas realizadas nos dias; 04/05/2018, 21/08/2018, 26/09/2018 e 24/10/2018.

Figura 12 - Variação de temperatura nas amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24 h.



Fonte: Autora

Segundo Sezerino (2006) e Jordão e Pessoa (2005), a temperatura do líquido influencia a taxa de crescimento dos microrganismos e a saturação do oxigênio

dissolvido, sendo que, a faixa ótima de temperatura para crescimento das populações microbianas na rizosfera varia de 25 a 35 °C.

As baixas temperaturas possuem ampla relação com a taxa de conversão da amônia a nitrito e, deste, a nitrato, podendo ser um fator de inibição do processo. O decréscimo da temperatura afeta as bactérias formadoras de nitrato - *Nitrobacter* (SEZERINO, 2006).

A média de temperatura na primeira e segunda batelada foi muito abaixo do recomendado em ambos os sistemas sendo respectivamente; 14,42 °C e 17,06 °C para CP e 14,04 °C e 16,6 °C para SP. Tal fato se justifica principalmente pelo período de inverno em que ambas as bateladas aconteceram e as baixas médias de temperatura que o ambiente enfrentava. Apesar disso foi verificada eficiência na remoção dos nutrientes analisados, como será mostrado posteriormente, e desenvolvimento da macrófita.

Para a terceira e quarta batelada houve um aumento da temperatura média em ambos os sistemas, embora, ainda tenha ficado abaixo do descrito pelos autores citados anteriormente; 20,92 °C e 19,08 °C para CP, e 21,08 °C e 18,05 °C em SP.

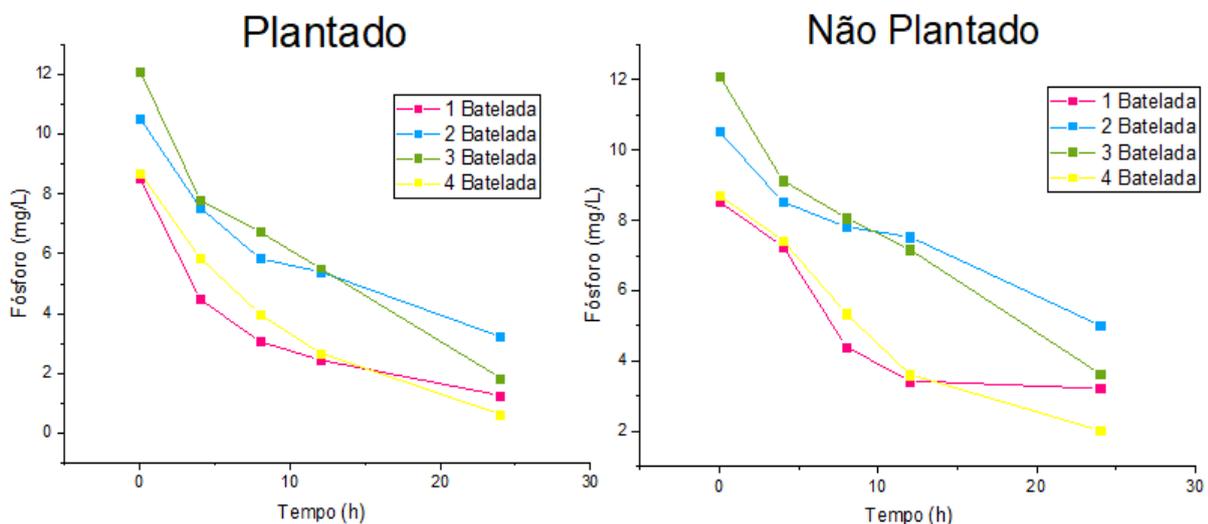
A ausência da faixa ótima descrita por Sezerino (2006) e Jordão e Pessôa (2005), também ocorreu no experimento de Sousa et al. (2002), que obteve temperatura de 22 °C em efluente de SWC sub-superficial no tratamento de esgoto sanitário, utilizando a macrófita *Juncus* sp. O pesquisador Toniato (2005), também verificou temperaturas abaixo da faixa ótima, com valor médio de 23 °C no efluente de um sistema de wetland construída de escoamento sub-superficial alimentado com efluente de tanque séptico.

As faixas de temperatura obtidas na saída do CP e SP, estão de acordo com o valor estabelecido na Resolução 430/2011 (BRASIL, 2011) que estabelece valores inferiores a 40 °C para efluentes lançados em corpo hídrico.

5.3 Fósforo

Quanto ao fósforo é possível observar na Figura 13, que ambos os sistemas apresentaram alto potencial para remoção do nutriente, porém, em todas as bateladas a eficiência foi maior no sistema plantado. Alcançando as seguintes porcentagens: 85,21 %, 69,32%, 84,72% e 92,80%. Importante destacar que nos dois sistemas a maior eficiência de remoção ocorreu após o tempo de retenção do efluente no meio igual a 8h.

Figura 13 - Variação da concentração de fósforo nas amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24 h.



Fonte: Autora

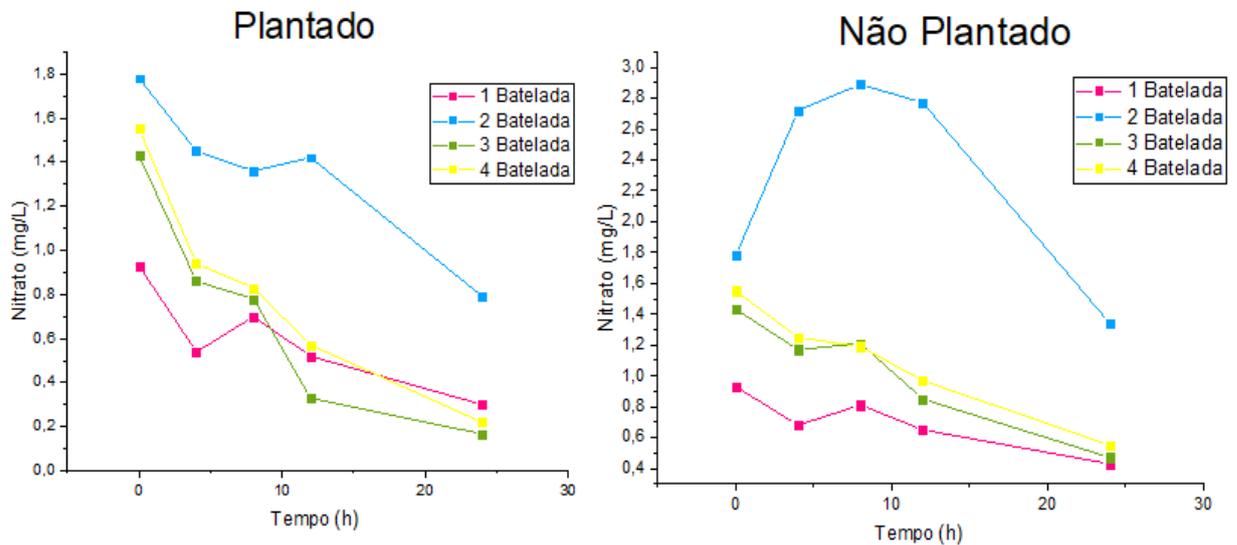
No estudo realizado por Olijnyk (2008), a remoção de fosfato foi atribuída ao biofilme formado no meio filtrante (areia). Neste experimento, o biofilme poder ter sido formado tanto na brita quanto nas rizosfera das plantas, e justificar o remoção do fósforo encontrada nos experimentos. Os fungos, em associação de simbiose com as raízes, podem ser os principais responsáveis pela remoção do nutriente.

No experimento realizado por CEVE (2015), o sistema cultivado com *Zantedeschia aethiopica*, obteve rendimento da remoção do fósforo entre 62,7 a 86,4%. Já nos estudos desenvolvidos por Ferreira e Saron (2013), o uso da *Eleocharis parvula* promoveu redução do fósforo de até 90,5% (0,9mg/L), em um sistema Wetland de fluxo vertical em escala de laboratório, com três recipientes de 2,86 L de volume útil, ligados em série, preenchidos com brita 2, brita 1 e cascalho.

5.4 Nitrato

O sistema plantado obteve grande relevância em relação ao não plantado, quanto à remoção de nitrato, tendo alcançando; 67,81%, 55,61%, 88,28% e 85,80% nas quatro bateladas analisadas. Para o SP os valores foram; 53,85%, 24,72%, 67,13% e 64,51%.

Figura 14 - Variação da concentração de nitrato nas amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24 h.



Fonte: Autora

Os dois sistemas foram beneficiados quanto ao aumento da remoção de nitrato nas duas últimas bateladas, o que por sua vez corrobora a ideia exposta em 5.2, em que o aumento de temperatura no meio favorece as bactérias formadoras de nitrato-*Nitrobacter* (SEZERINO, 2006).

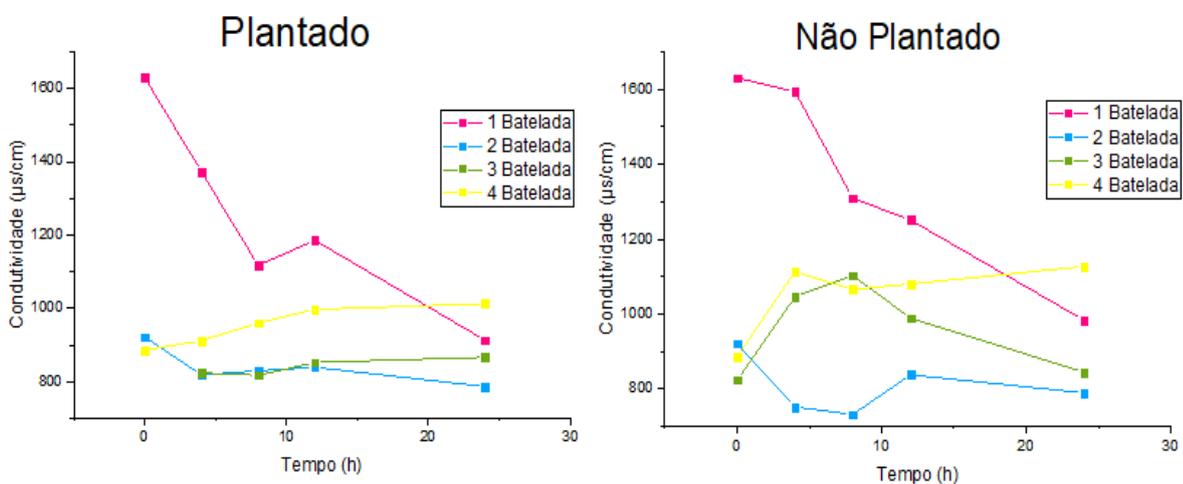
Mazzola et al. (2005) obtiveram remoção de nitrato na análise sistema plantado com *Typha* sp. e *Eleocharis* sp, (60%), porém, ressaltaram que inicialmente houve produção. Para CEVE (2015), a eficiência média foi de 77,2 % em um sistema sub-superficial horizontal, plantado com *Zantedeschia aethiopica*.

Os valores finais então dentro dos níveis propostos na Resolução 357/2005 do CONAMA que estabelece como valor máximo 10,0 mg/L de nitrato para o lançamento de efluentes em rios de classe 2.

5.5 Condutividade

Para condutividade os resultados obtidos foram muito similares, embora tenha ocorrido uma grande diminuição em ambos os sistemas na primeira e segunda batelada, por outro lado, na terceira e quarta é possível verificar um aumento em relação a quantidade inicial inserida no sistema (Figura 15).

Figura 15 - Variação da condutividade nas amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24 h.



Fonte: Autora

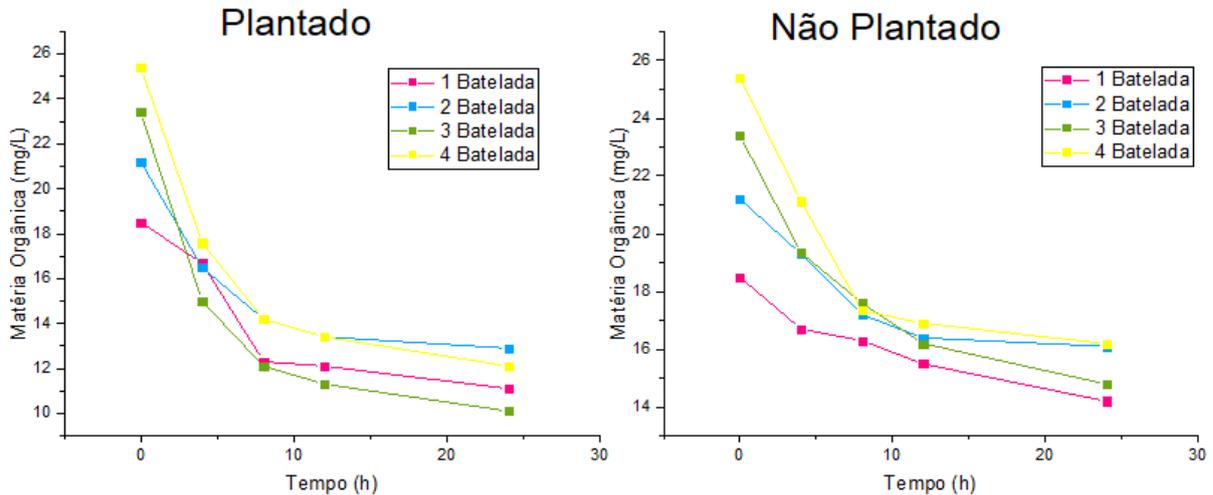
É de suma importância ressaltar que possivelmente dois fenômenos tenham ocorrido em paralelo, o consumo de nutriente por parte da planta retirando íons do meio, o que por sua vez gerou uma redução da condutividade elétrica e a estabilização da matéria orgânica, liberando para o meio, nutrientes na sua forma iônica, que antes estavam complexados. Assim, acredita-se que o consumo de nutrientes pela planta tenha sido razoável, sendo observada a queda na condutividade elétrica.

5.6 Matéria Orgânica

A eficiência quanto a remoção de matéria orgânica em valores de O₂ consumido, se mostrou maior para o sistema CP, alcançando uma porcentagem de máxima de

remoção igual a 56,83 % e mínima de 39,15% para CP. Por outro lado, o sistema SP obteve máxima de 36,75% e mínima de 23%.

Figura 16 - Variação da concentração de matéria orgânica em termos de OC nas amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24 h.



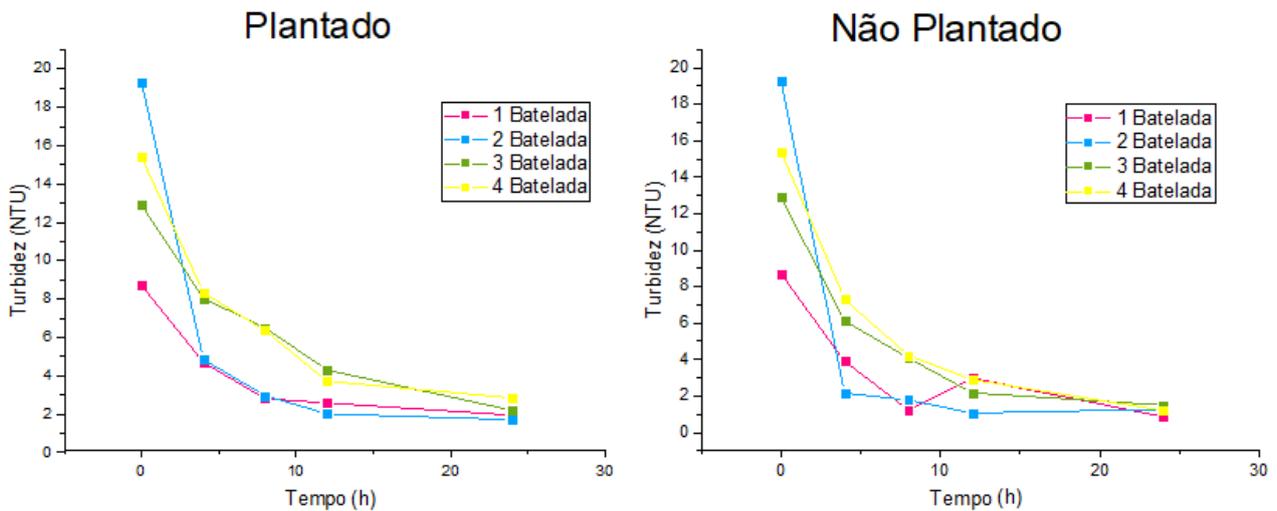
Fonte: Autora

Em ambos os sistemas houve um aumento de potência de remoção na terceira e quarta batelada, o que condiz com o aumento da temperatura nesses dados momentos. Mostrando o aumento da potência de degradação microbiano à partir do aumento da temperatura.

5.7 Turbidez

Analisando a Figura 17, é possível verificar que ambos os sistemas alcançaram valores muito próximos para redução da turbidez. Os valores mínimos finais do efluente ficaram em 0,4 NTU e máximo 3,6 NTU. O que mostra que a redução de tal fator físico-químico pode estar relacionada a algum parâmetro que não foi avaliado neste estudo, por exemplo, o substrato ou a sua porosidade.

Figura 17- Variação de turbidez para amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24h.



Fonte: Autora

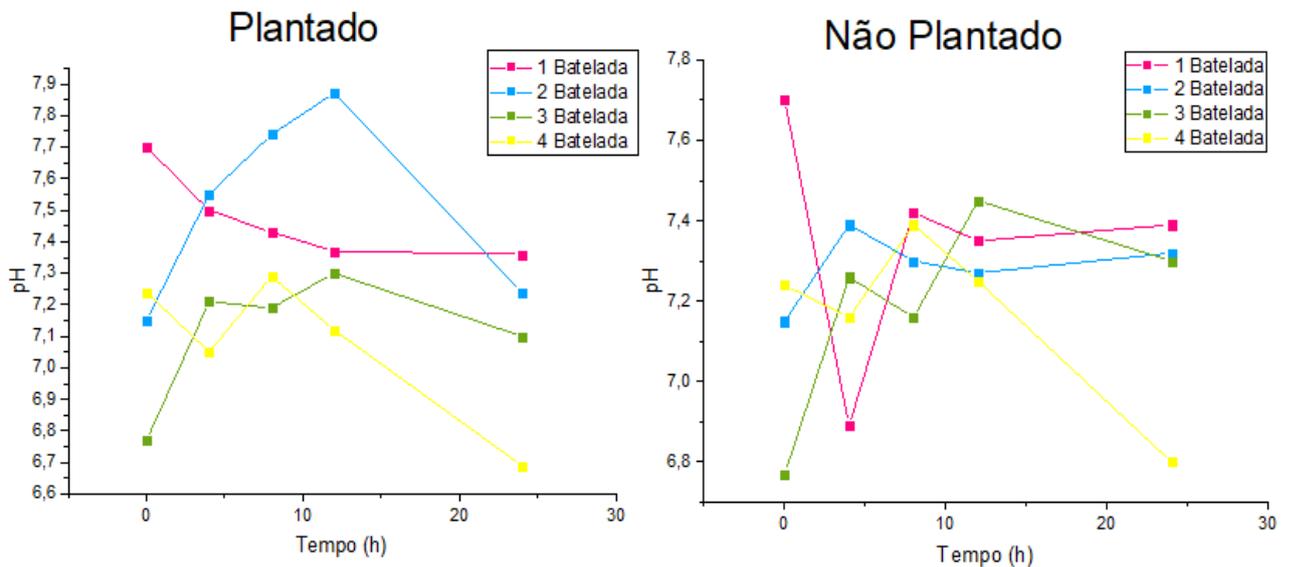
Segundo a Resolução do Conama nº 357/2005, o lançamento do efluente em corpos d'água de classe 2, deve apresentar um valor de turbidez de até 100 UNT. Sendo assim, ambos os sistemas liberam ao final da batelada um efluente dentro do padrão proposto pela legislação.

No trabalho experimental de Ormonde (2012), foi realizado uma análise comparativa entre sistemas de fluxo contínuo horizontal subsuperficial vegetados e não vegetados, preenchido com areia grossa e alimentados com esgoto natural. A eficiência de remoção da turbidez alcançou um percentual de 92,5%.

5.8 pH

Os processos biológicos que ocorrem no sistema wetlands são altamente influenciados pelo pH, o que faz com que ele seja um fator abiótico de grande importância nos processos biológicos que ocorrem no meio. A concentração de íons de hidrogênio nos sistemas wetlands pode afetar os processos biogeoquímicos que acontecem nos sistemas, além da solubilidade de gases e substâncias sólidas presentes em solução (ORMONDE, 2012). A Figura 18 apresenta os gráficos obtidos para o sistema plantado e não plantado.

Figura 18 - Variação de pH nas amostras do efluente de CP e SP nos perfis de 0, 4, 8, 12 e 24 h.



Fonte: Autora

Tanto para o CP quanto para SP, as maiores taxas de oscilação de pH ocorreram nas 12 horas iniciais de tratamento, a diferença entre ambos foi muito pequena. O sistema plantado obteve uma média de 7,23 (com máximos e mínimos de 7,36 e 6,69, respectivamente) e sistema não plantado 7,25 (com máximos e mínimos de 7,39 e 6,8, respectivamente).

Durante todo o tempo de detenção ambos os sistemas mantiveram o pH dentro dos valores ideais para o tratamento da atividade biológica, que está entre a faixa de 6,5 a 9 (METCALF e EDDY, 2003).

Outros autores encontraram resultados semelhantes, Souza et al. (2015) obteve o valor igual a 7,36 no efluente procedente de um sistema wetlands construído com mudas de copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*), alimentado com esgotos sanitários. Chang et al. (2012) também encontrou valores de pH na faixa de 7,20 a 7,23 no efluente oriundo dos sistemas de wetlands construídas verticais com as espécies *Typha orientalis* e *Arundo donax var. versicolor*.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudado um sistema experimental de wetland de fluxo subsuperficial horizontal, com e sem reciclo, utilizando a macrófita *Crinum americanum*, alimentado com efluente orgânico sintético por um período de 6 meses. Os resultados mostraram que o sistema plantado obteve boa eficiência na remoção dos nutrientes – 83,01% para o fósforo e 74,25% para o nitrato, e remoção da matéria orgânica igual a 47,1%. Ambos os sistemas mostraram redução na condutividade para primeira e segunda batelada e um aumento nas duas seguintes, mostrando uma diminuição na absorção de sais nas duas últimas análises. As principais mudanças nas físico-químicas ocorreram na tempo de retenção hidráulico igual a 12h, caracterizando maior taxa de atividade microbiológica nessa faixa temporal.

Em relação a macrófita, verificou-se que houve uma boa adaptação ao substrato e ao meio, visto que conseguiu desenvolver-se nas diferentes estações do ano.

Os valores de pH, turbidez e temperatura obtidos do efluente tratado estão de acordo com a Resolução do Conama nº 357/2005 e 430/2011, respectivamente. No entanto, a concentração de fósforo não alcançou o padrão de lançamento em corpos hídricos classe 2.

Considerando o exposto acima, concluímos que o sistema wetlands de fluxo subsuperficial horizontal utilizando a macrófita *Crinum americanum* possui potencial para ser utilizado como alternativa para remoção de poluentes oriundos de efluentes orgânicos, principalmente os nutrientes.

7 RECOMENDAÇÕES

Mediante ao estudo desenvolvido e nos resultados obtidos durante a operação da wetlands construídas de fluxo horizontal, recomenda-se:

- Realizar a análise de DQO e DBO para os próximos sistemas, com intuito de se obter uma maior precisão quanta a carga orgânica final.
- Quantificação do volume de raízes.
- Acompanhamento do sistema por um período maior, visando observar a floração e sua influência sobre os parâmetros físico-químicos.
- Análise do biofilme nas raízes e meio filtrante.

8 REFERÊNCIAS

ABNT – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Conselho Nacional do Meio Ambiente: CONAMA, Brasília, DF, 17 março 2005.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.** Conselho Nacional do Meio Ambiente: CONAMA, Brasília, DF, maio de 2011.

BRIX, Hans. **Treatment of Wastewater in the Rhizosphere of Wetland Plants –The Root Zone Method.** *Water. Science and. Technology.* vol. 19. n. 1/2, p. 107-118, 1987. *Water Science and Technology*

BRIX, H. **Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands?** *Water Science and Technology*, v.35, n. 5, p. 11-17, 1997.

CAMPOS. J. R. (Coord.) **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p. Projeto PROSAB.

CEVE, A. **Avaliação de Wetland construído de fluxo subsuperficial horizontal para o tratamento de esgotos sanitário.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 51p, 2015.

CHANG, Jun J.; WU, Su. Q.; DAI, Yan R.; LIANG, Wei.; WU, Zhen. B. Treatment performance of integrated vertical-flow constructed wetland plots for domestic wastewater. **Ecological Engineering**, v.44, p. 152-159, 2012.

COOPER, P.; SMITH, M; MAYNARD, H. The design and performance of a nitrifying vertical-flow reed bed treatment system. **Water Science Technology**, v.35, n.5, p. 215-221, 1997.

EATON, Andrew. D.; CLESCERI, Lenore S.; RICE, Eugeni W.; GREENBERG, Arnold E. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21. ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, 2005.

EPSTEIN, E. **The science of composting**. Lancaster, Pennsylvania, USA: Technomic Publishing Company, Inc. 1997. 487p.

ESTEVES, F.A. (Coord.). **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 3.ed., p.461-518, 2011.

EUSTÁQUIO JÚNIOR, Valdeir; MATOS, Antonio T. de; CAMPOS, Lidiane C.; BORGES, Alisson C. **Desempenho agrônômico da aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.), cultivada em sistemas alagados construídos**. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 5, n. 1, p. 68-78, 2010.

FERREIRA, Marcella M; SARON Alexandre. Estudo da Eficiência do Tratamento de Esgoto Doméstico por Sistema de Wetland de Fluxo Vertical Descendente para ser Aplicado em Comunidades Isoladas Estação de Tratamento em Escala de Laboratório. *InterfacEHS*, v.8, n. 1, p. 127-149, 2013

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de saneamento**. Brasília: Ministério da Saúde, 1994.

HAMMER, Donald A. **Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultural**. 3ed. Chelsea, Michigan: Lewis publishers, INC, 1998.

IWA – **International Water Association. Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation**. Scientific and Technical Report. London, England: IWA Publishing. 156f. 2000.

FERREIRA, Marcella M; SARON Alexandre. Estudo da Eficiência do Tratamento de Esgoto Doméstico por Sistema de Wetland de Fluxo Vertical Descendente para ser Aplicado em Comunidades Isoladas Estação de Tratamento em Escala de Laboratório. *InterfacEHS*, v.8, n. 1, p. 127-149, 2013.

JORDÃO Pacheco; PESSÔA Arruda C. **Tratamento de Esgoto Doméstico**. 4a ed. ABES. Rio de Janeiro, Brasil. 932 pp. (2005)

KADLEC, R. H. e KNIGHT, R. L. **Treatment wetlands**. Lewis Publishers. 1995. 893p.

MAZZOLA, Marcelo; ROSTON, Denis M.; VALENTIM Marcelus A. A. **Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator**

anaeróbio compartimentado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.2, p.276-283, 2005.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse.** 3. ed. Estados Unidos, McGraw-Hill. 2003.

MOREL, A.; Diener, S.- **Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods.** Duebendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science (EAWAG), Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC). 2006.

OLIJNYK, D. P. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetlands) de fluxos vertical e horizontal – sistemas híbridos.** 2008. 113 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

ORMONDE, Vanusa S. S. **Avaliação de ‘Wetland’ construídos no pós-tratamento de efluente de lagoa de maturação.** 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações de Ambiental). Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

PELISSARI, Catiane. **Tratamento de efluente proveniente da bovinocultura de leite empregando wetlands construídos de escoamento superficial.** 2013. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de PósGraduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas.** Florianópolis: Editora do autor, 2004.

PLATZER, C. (1999). **Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification.** Wat. Sci. Tech., v. 40, n. 3, pp. 257263.

REED, S.C.; CRITES, R.W.; MIDDLEBROOKS, E.J. **Natural systems for waste management and treatment.** 2 Ed. New York, USA: McGraw-Hill Inc., 1995. 433p.

SALATI, Eneas. **Utilização de Sistemas de Wetlands Construídas para Tratamento de Águas**. 2000. 36 f. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola Estadual de São Carlos, São Carlos, SP, 2000.

SALATI, Eneas. **Utilização de sistemas de Wetlands construídas para tratamento de águas**. **Biológico**, v. 65, n. 1/2, p. 113-116, 2003.

SEZERINO, P.H., **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 171 p, 2006.

SILVA, S.C da. **“Wetlands Construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. Dissertação (Doutorado)- Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília/DF. 2007.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (Brasil). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2012**. Disponível em: . Acesso em: 23 mar. 2018.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (Brasil). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2013**. Disponível em: . Acesso em: 23 mar. 2018

SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas Residuárias**. V. 1 – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental /UFMG, 243 p,1996.

STUMPF, Elizabeth R.T.; BARBIERI, Rosa L.; HEIDEN, G. **Cores e forma no bioma pampa: plantas ornamentais nativas**. Pelotas, 273 p, 2009.

TONIATO, J. V. **Avaliação de um Wetland construído no tratamento de efluentes sépticos: estudo de caso Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil**. 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2005.

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.

WELSCH, David; SMART, David, L.; BOYER, James N.; MINKIN, Paul; SMITH, Howard C.; MCCANDLESS, Tamara L. **Forested wetlands: functions, benefits and the use of best management practices**. New York: Labrador Pond, 1995.