

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA E BIOLOGIA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS AMBIENTAIS**

**ABEL CEVE**

**AVALIAÇÃO DE *WETLAND* CONSTRUÍDO DE FLUXO  
SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL PARA TRATAMENTO DE  
ESGOTOS SANITÁRIOS.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA  
2015**

**ABEL CEVE**

**AVALIAÇÃO DE *WETLAND* CONSTRUÍDO DE FLUXO  
SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL PARA O TRATAMENTO DE  
ESGOTO SANITÁRIO.**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Tecnologia em Processos Ambientais, do Departamento Acadêmico de Química e Biologia – DAQBI – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientado: Prof. Dr. Fernando Hermes Passig

Co-Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tamara Simone Van Kaick

**CURITIBA**

**2015**

**ABEL CEVE**

**AVALIAÇÃO DE *WETLAND* CONSTRUÍDO DE FLUXO  
SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL PARA TRATAMENTO DE  
ESGOTOS SANITÁRIOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial à obtenção do grau de TECNÓLOGO EM PROCESSOS AMBIENTAIS pelo Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) do Câmpus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela seguinte banca examinadora:

**Membro 1** – Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Querne de Carvalho  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR

**Membro 2** – Prof. Dr. Flávio Bentes Freire  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR

**Orientador** – Prof. Dr. Fernando Hermes Passig  
Departamento Acadêmico de Química e Biologia, (UTFPR)

**Coordenadora de Curso** – Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Valma Martins Barbosa

Curitiba, 12 de fevereiro de 2015.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a oportunidade de concluir mais uma etapa de minha vida e permitir que concluísse esse trabalho.

A todos os Professores que me acompanharam ao longo do curso e contribuíram com os conhecimentos adquiridos.

Ao meu orientador, Dr. Professor Fernando Hermes Passig, por me ajudar com seus conhecimentos e ensinamentos a concluir este estudo.

A minha co-orientadora, Professora Dr<sup>a</sup>. Tamara Simone Van Kaick, por me ajudar com seus ensinamentos e conselhos.

Aos colegas do Laboratório de Saneamento da UTFPR Curitiba – Ecoville que me ajudaram com as análises.

Ao meu colega Claudir José Morais pela doação das mudas de copo de leite e por toda ajuda e conhecimento oferecidos para realização deste trabalho.

A meus familiares que me apoiaram desde o início deste projeto, pelo apoio e compreensão de nem sempre poder estar presente nos momentos em família.

Aos amigos que me apoiaram, incentivaram e sempre estiveram ao meu lado. A UTFPR que possibilitou a realização deste trabalho através de auxílio financeiro e também a realização da graduação.

A todos que de alguma forma contribuíram, mesmo que indiretamente, para que este trabalho fosse concluído.

## RESUMO

CEVE, Abel. Avaliação de *Wetland* construído de fluxo subsuperficial horizontal para o tratamento de esgoto sanitário. Projeto de trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Processos Ambientais). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2014.

O problema do saneamento básico é muito discutido atualmente. Alternativas têm sido criadas para tratamento de águas residuárias, principalmente em locais distantes dos centros urbanos, onde não há coleta e tratamento de esgotos. A área rural é um exemplo desses locais. Na maioria dos estabelecimentos rurais, os dejetos são despejados em corpos hídricos ou depositados em fossas rudimentares, o que pode trazer inúmeras doenças, sem contar a contaminação dos mananciais subterrâneos. Uma alternativa para resolver este problema é o *Wetland* (sistema de alagados construídos). O presente trabalho analisou o funcionamento de *Wetland* construído de fluxo subsuperficial horizontal, utilizando efluente sintético. Os sistemas foram construídos utilizando dois tambores plásticos de 200 L, em paralelo, com 70 L de volume útil e 0,48m<sup>2</sup> de área cada um. Em um tambor foram plantadas 10 mudas de *Zantedeschia aethiopica* (copo de leite) utilizando brita nº 1 como meio suporte. No outro tambor colocou-se apenas brita nº 1, sem planta, para comparar a eficiência entre os sistemas. Os sistemas foram operados em regime de bateladas, totalizando três episódios. As coletas foram realizadas com 4, 8, 12 e 48 hs após a introdução do efluente nos sistemas totalizando 12 coletas de cada sistema nas três bateladas. Foram feitas análises em duplicata para Nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), Nitrito (NO<sub>2</sub>), Nitrato (NO<sub>3</sub>), NTK, N-total, fósforo e DQO e uniplicata para temperatura, pH, turbidez. Os resultados indicaram eficiência média para o sistema cultivado e sem plantas de 94,27 e 92,74% para N-amoniacal, 39,76 e 27,60% para NO<sub>2</sub>, 77,54 e 83,25% para NO<sub>3</sub>, 76,56 e 75,89% para NTK, 76,57 e 75,92% para N-total, 76,97 e 79,54% para fósforo e 72,66 e 72,70% para DQO respectivamente. A avaliação feita dos sistemas de tratamento para efluente sintético revelou que tanto o leito cultivado quanto sem cultivo obtiveram rendimentos próximos, demonstrando que são eficientes na remoção de nutrientes, carga orgânica e retenção de sólidos suspensos.

Palavras chave: Alagados construídos. Efluente sintético. Fluxo horizontal. *Zantedeschia aethiopica*.

## ABSTRACT

CEVE, Abel. Wetland Assessment constructed of horizontal subsurface flow to the treatment of domestic sewage. Projeto de trabalho de conclusão de curso (Tecnologia em Processos Ambientais). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

The problem of sanitation is much discussed now. Alternatives have been created for wastewater treatment, especially in locations distant from urban centers, where there is no collection and treatment of sewage. The rural area is an example of such areas. In most farms, the waste is dumped into water bodies or deposited in rudimentary tanks, which can cause numerous diseases, not to mention the contamination of groundwater sources. An alternative to solve this problem is the Wetland (flooded system built). This study analyzed the functioning of Wetland constructed horizontal subsurface flow, using synthetic sewage. The systems were constructed using two plastic drum 200 L in parallel with a working volume of 70 L and 0,48m<sup>2</sup> each area. In a barrel were planted 10 seedlings of *Zantedeschia aethiopica* (glass of milk) using gravel # 1 as support media. The other drum set only gravel paragraph 1 without plant, to compare the efficiency between systems. The systems were operated in batch system, with three episodes. Samples were collected at 4, 8, 12 and 48 hours after the introduction of wastewater systems in a total of 12 samples of each system in the three batches. Analyzes were performed in duplicate for ammonia nitrogen (N-NH<sub>4</sub>), nitrite (NO<sub>2</sub>), nitrate (NO<sub>3</sub>), NTK, total-N, phosphorus and COD and uniplicata for temperature, pH, turbidity. The results showed average efficiency for the grown system and without plant 94.27 and 92.74% for ammonia-N, 39.76 and 27.60% for NO<sub>2</sub>, 77.54 and 83.25% for NO<sub>3</sub>, 76, 56 and 75.89% for NTK, 76.57 and 75.92% for total N, 76.97 and 79.54% for phosphorus and 72.66 and 72.70% for COD respectively. The evaluation of treatment systems for synthetic sewage revealed that both the bed as cultivated fallow obtained next income, showing that they are effective at removing nutrients, organic matter and retention of suspended solids.

Keywords: Wetlands constructed. Synthetic sewage. Horizontal flow. *Zantedeschia aethiopica*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Desenho esquemático do biofilme formado pelos microrganismos no meio filtrante e nas raízes.....	15
Figura 2. Desenho esquemático de um Wetland natural.....	16
Figura 3. Desenho esquemático de um sistema Wetland de fluxo horizontal superficial com macrófitas do tipo emergentes.....	19
Figura 4. Desenho esquemático de um sistema Wetland de fluxo horizontal superficial com macrófitas do tipo emergentes.....	20
Figura 5. Desenho esquemático de um sistema Wetland de fluxo vertical superficial com macrófitas do tipo emergentes.....	22
Figura 6. Imagem dos tambores cortados mostrando a entrada do esgoto bruto (A) e a saída do efluente tratado (B).....	23
Figura 7. Imagem do recheio (brita 1) utilizada nos sistemas.....	24
Figura 8. Imagem da bomba água com tambor plástico utilizada para transpor o efluente sintético aos sistemas de tratamento.....	25
Figura 9. Imagem do anteparo utilizado para preservar os sistemas e não comprometer as coletas.....	27
Figura 10. Imagem dos sistemas no dia do plantio das mudas de <i>Zantedeschia aethiopica</i> .....	28
Figura 11. Imagem dos sistemas plantado e sem planta após 30 dias do plantio.....	29
Figura 12. Imagens dos sistemas após 3 meses do plantio.....	29
Figura 13. Plantas com 6 meses após o plantio.....	29
Figura 14. Variação da temperatura (°C) nas três bateladas realizadas do sistema plantado e no sistema sem plantas .....	32
Figura 15. Variação dos valores de pH entre as três bateladas do sistema com plantas e sem plantas.....	33
Figura 16. Variação dos valores de turbidez entre as três bateladas do sistema com plantas e sem plantas.....	34
Figura 17. Comparação de eficiência entre os sistemas Plantados e sem plantas.....	35
Figura 18. Resultados obtidos de nitrogênio amoniacal nas três bateladas realizadas sistema plantado e sem plantas.....	35
Figura 19. Eficiência dos sistemas plantado e sem plantas na remoção de N-amoniacal nas três bateladas realizadas.....	36
Figura 20. Concentração de nitrito nas três bateladas realizadas do sistema plantado e sem plantas.....	37

Figura 21. Eficiência na remoção de nitrito entre os sistemas plantados e sem plantas.....	38
Figura 22. Concentração de Nitrato nas três bateladas realizadas no sistema plantado e sem plantas.....	39
Figura 23. Eficiência da remoção de Nitrato entre os sistemas plantado e sem plantas nas três bateladas realizadas.....	39
Figura 24. Concentração do NTK nas três bateladas realizadas do sistema plantado e sem plantas.....	40
Figura 25. Eficiência na remoção de NTK entre os sistemas plantado e sem plantas.....	41
Figura 26. Concentração de N-total nas três bateladas realizadas do sistema plantado e sem plantas.....	42
Figura 27. Eficiência na remoção de N-total dos sistemas plantado e sem plantas.....	43
Figura 28. Concentração de Fósforo nas três bateladas analisadas do sistema plantado e sem plantas.....	44
Figura 29. Eficiência (%) na remoção de fósforo para os sistemas plantados e sem plantas nas três bateladas realizadas.....	45
Figura 30. Resultado da concentração de DQO nas três bateladas do sistema plantado e sem plantas.....	46
Figura 31. Gráfico demonstrativo da eficiência da DQO dos sistemas plantados e sem plantas nas três bateladas realizadas.....	47
Figura 32. Gráfico da média das eficiências nas três bateladas realizadas para o sistema plantado e sem plantas.....	47



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do Esgoto Sanitário Sintético.....	25
Tabela 2 – Parâmetros analíticos para a avaliação.....	26
Tabela 3. Características físicas e químicas do efluente sintético utilizado no estudo.....	31

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVO.....</b>	<b>13</b>
2.1 Objetivo específico.....	13
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
3.1 O que é <i>Wetland</i> .....	14
3.2 Princípios de funcionamento de sistema de <i>Wetland</i> construído.....	14
3.3 Sistema <i>Wetland</i> construído.....	15
3.3.1 Meio filtrante.....	16
3.3.2 Macrófitas.....	17
3.3.3 <i>Zantedeschia aethiopica</i> .....	18
3.4 Modelos de <i>Wetland</i> construídos.....	19
3.4.1 Sistema de fluxo superficial.....	19
3.4.2 Sistema de fluxo subsuperficial horizontal.....	20
3.4.3 Sistema de fluxo subsuperficial vertical.....	21
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
4.1 Montagem do sistema.....	23
4.2 Efluente sintético.....	24
4.3 Descrição do procedimento.....	26
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>28</b>
5.1 Desenvolvimento das plantas.....	28
5.2 Resultado das análises.....	30
5.2.1 Efluente sintético.....	30
5.2.2 Temperatura.....	31
5.2.3 pH.....	32
5.2.4 Turbidez.....	33
5.2.5 Nitrogênio amoniacal.....	35
5.2.6 Nitrito.....	37
5.2.7 Nitrato.....	38
5.2.8 NTK.....	40
5.2.9 Nitrogênio Total.....	41

5.2.10 Fósforo.....	43
5.2.11 DQO.....	45
5.2.12 Resumo dos resultados.....	47
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Há muito se discute sobre a qualidade da água para consumo humano. Sendo um elemento essencial para a vida, todos devem ter acesso. Seu uso indiscriminado traz grandes preocupações em relação ao fornecimento. Muitos rios têm nenhuma condição de fornecer água para abastecimento da população devido ao lançamento de águas residuárias em seus leitos que ocorrem principalmente nos centros urbanos.

Tanto o fornecimento de água potável quanto o tratamento de esgotos sanitários das residências, indústrias ou espaços públicos, são obrigações do poder público. Porém esta não é a realidade que se vive hoje. De acordo com o censo realizado pelo IBGE havia 29,9 milhões de pessoas residindo em áreas rurais, em aproximadamente 8,1 milhões de domicílios no ano de 2010 (IBGE, 2010). Deste apenas 32,8% dos domicílios nas áreas rurais estão ligados a rede de abastecimento de água. Os dados referentes ao esgotamento sanitário das residências rurais são mais críticos: 5,7% estão ligados à rede coletora de esgotos, 23,3% utilizam fossa séptica e 74% utilizam fossas rudimentares ou lançam seus dejetos nos cursos de água ou à céu aberto (IBGE,2010).

Uma maneira de tentar melhorar este quadro é instalar sistemas de tratamento de esgotos que demandam investimentos menores quando comparados a processos avançados, como os sistemas *Wetland*, que vem sendo implantados desde os anos 70 em países como a Alemanha, Áustria, França, Inglaterra e nos Estados Unidos. Este sistema, também conhecido como sistema de alagados construídos, baseia-se no funcionamento de um sistema alagado natural como várzeas e brejos. É uma alternativa viável para àquelas regiões onde não há coleta e tratamento de esgotos sanitários.

Andrade e Pinto (2013) implantaram *Wetland* de fluxo vertical em uma comunidade rural no município de Morretes-PR utilizando materiais de fácil aquisição (anéis de bambu) e constataram redução de 89% de carga orgânica. Este sistema segundo os autores, não resolve os problemas de saneamento da região, mas é um ótimo instrumento para minimizá-los.

Pegliarini Junior *et al.* (2011) instalaram *Wetland* de fluxo vertical em uma comunidade rural de Campo Mourão, precedida de tanque séptico e caixa de gordura ao custo de R\$1.000,00, cultivado com *Cymbopogon nardus* e *Canna indica* em leito

cavado no chão e preenchido com brita nº1 a areia grossa. De acordo com os autores, esse é um sistema alternativo e eficiente para esgotos não tratados.

Hussar *et al.* (2004) Avaliaram o desempenho de *Wetland* construído de fluxo subsuperficial horizontal preenchida com brita nº. 3 e cultivo de *Typha spp.* para remoção de macro nutrientes presentes em águas de escoamento de tanques de piscicultura. Alcançaram níveis de remoção de 36,15% para Nitrogênio Total e 43,3% para Fósforo Total.

O presente estudo tem objetivo de analisar o funcionamento de um sistema de *Wetland* construído de fluxo horizontal subsuperficial, preenchido com brita nº1, cultivado com *Zantedeschia aethiopica*, e comparar com outro sistema utilizando apenas brita sem o uso de plantas (não vegetado). Os sistemas foram instalados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba sede Ecoville – PR.

## 2. OBJETIVOS

Verificar a eficiência de *Wetland* com fluxo horizontal subsuperficial, utilizando brita como meio filtrante e macrófitas emergentes e comparar com sistema controle não vegetado analisando efluente sintético.

### 2.1 Objetivos Específicos

Para cumprimento do objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar o efluente tratado dos sistema de leitos cultivado e sem cultivo por meio de determinações de parâmetros físico-químicos;
- Verificar a eficiência da *Zantedeschia aethiopica* no tratamento de efluentes sintético em termos de remoção de matéria orgânica e nutrientes;

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 O que é *Wetland*?

*Wetland* é um termo traduzido do inglês utilizado para definir uma área alagada ou úmida, como uma várzea. Esta área é composta por plantas (macrófitas) que fazem a extração (através de suas raízes) de poluentes comuns, presentes no corpo hídrico. Este processo pode ser natural (pântano, banhados ou brejos), ou artificial (construídos). Os alagados naturais fazem parte da zona de transição dos ecossistemas aquático e terrestre tendo grande importância ambiental, pois auxiliam na depuração de rios, evitando eutrofizações (MONTEIRO, 2009).

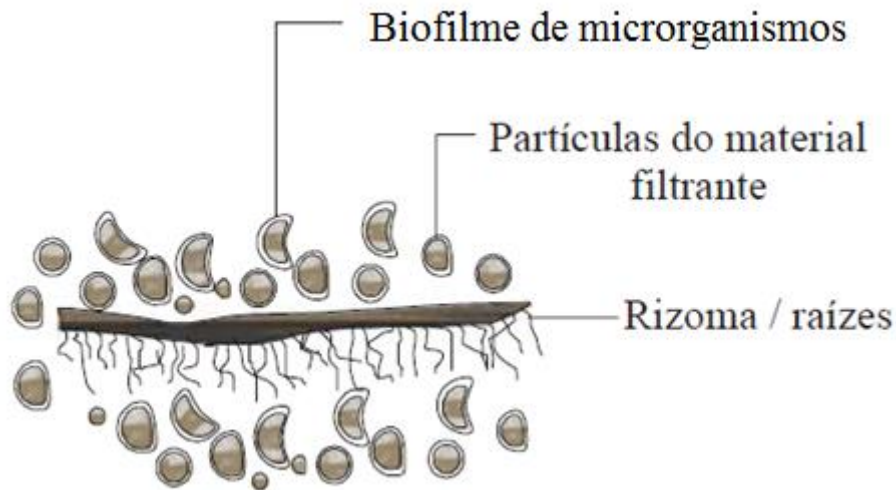
#### 3.2 Princípios de funcionamento de sistema de *Wetland* construído

A construção de um sistema *Wetland* é baseada em um sistema alagado natural no qual as espécies de plantas e os microrganismos promovem degradação de poluentes da água (DORNELAS, 2008). Fatores como efluente, temperatura, precipitação, radiação solar, vento, formação do solo a espécie de planta são levados em conta na elaboração do projeto (LAUTENSCHLAGER, 2001). O dimensionamento do sistema depende da vazão afluente e do tempo de detenção hidráulico (TDH). Geralmente há necessidade de realizar um tratamento preliminar para remoção de material grosseiro evitando entupimento do sistema ou do meio filtrante.

O sistema consiste de um leito construído de alvenaria, ou feito de fibra, plástico, ou mesmo escavado na terra, impermeabilizado para não haver infiltração. O leito deve ser preenchido com material filtrante (brita, bambu, madeira, dentre outros) no qual o efluente irá percolar. As macrófitas são plantadas neste recheio onde fixarão suas raízes, que se estenderão até o fundo do leito. Na percolação, o esgoto passará por regiões aeróbias, anaeróbias e anóxicas, sendo que a camada aeróbia se concentra ao redor das raízes das plantas, pois estas transportam oxigênio das folhas até as raízes (SEZERINO, 2006).

Através de mecanismos físicos (sedimentação e filtração), químicos (adsorção, aglutinação e precipitação) e biológicos, o esgoto é tratado. O processo ocorre pela formação de um biofilme no meio filtrante e nas raízes das plantas nas quais os

microrganismos degradarão a matéria orgânica e absorverão os nutrientes do efluente. Na Figura 1 é apresentado um modelo esquemático do biofilme formado no meio filtrante e nas raízes.



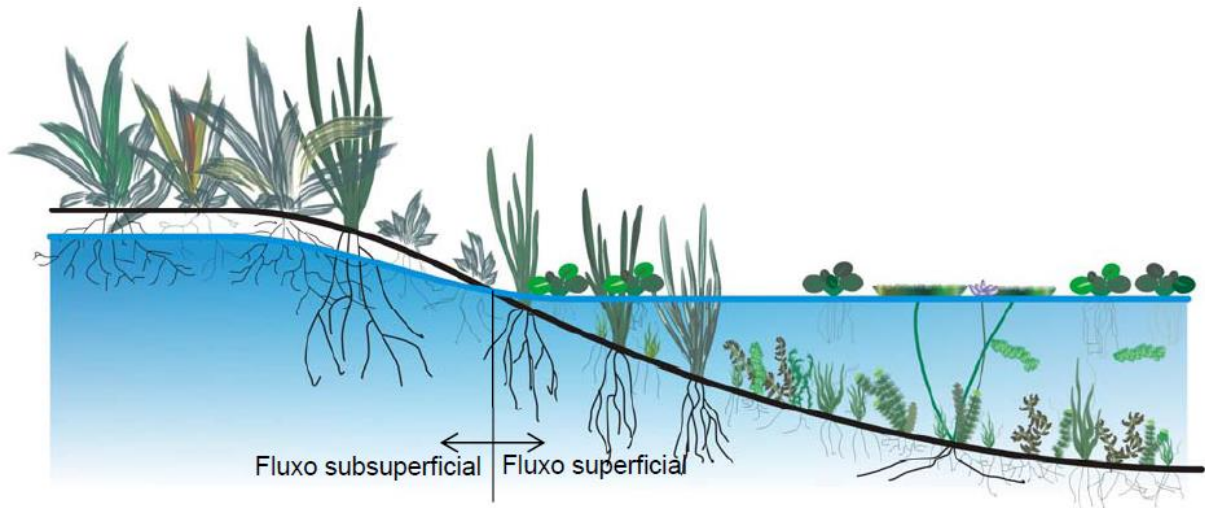
**Figura 1.** Desenho esquemático do biofilme formado pelos microrganismos no meio filtrante e nas raízes. Fonte: Adaptado de SEZERINO (2006).

### 3.3 Sistema *Wetland* construído

*Wetland* construído é um sistema baseado no funcionamento de uma zona alagada natural e pode ser usado para tratamento de esgoto sanitário quando não há coleta de esgoto como na área rural de Morretes-PR, onde atendeu população de 40 famílias de pequenos produtores rurais (ANDRADE *et al.*, 2013). Comparado a outros tipos de tratamento, não requer grandes investimentos e não precisa de manutenção constante. Os *Wetlands* também podem ser planejados levando em conta a declividade do terreno evitando o uso de bombas para seu funcionamento e por consequência uso de energia elétrica (ORMONDE, 2012). Em suma, são sistemas controlados que imitam e aceleram as condições naturais encontradas nos alagados naturais (Figura 2).



Comparado com sistemas de tratamentos convencionais, as *Wetland* construídas são de baixo custo, fácil operação e manutenção, tendo um grande potencial de aplicação em locais como pequenas localidades rurais (DORNELAS, 2008).



**Figura 2.** Desenho esquemático de um *Wetland* natural.

Fonte: Adaptado de ZANELLA (2008).

Os *Wetlands* construídos apresentam vantagens como: baixo custo de instalação e operação, fácil manutenção, são eficientes no tratamento de esgotos sanitários, são capazes de tolerar variações hidráulicas e de carga e podem oferecer aparência estética quando cultivados com plantas ornamentais. As desvantagens estão relacionadas com a disponibilidade de terreno para sua construção, ocorrência de odor quando operado erroneamente, complexidade biológica, potencial criador de vetores causadores de doenças, entre outros.

### 3.3.1 Meio filtrante

O meio filtrante serve como suporte para plantio da vegetação escolhida e para fixação dos microrganismos devendo manter boa condutividade hidráulica para que o processo ocorra. Quanto maior for o espaço intersticial, melhor será o fluxo do efluente e evitará o entupimento do sistema. Alguns estudos utilizaram brita (ANDRADE, 2012; ARAUJO *et al.*, 2013), anéis de bambu (ANDRADE *et al.*, 2013), escória de alto forno (PAOLI, *et al.*, 2013). A escolha do material deve levar em conta as características

geométricas, para facilitar a percolação, e a disponibilidade local para não encarecer o sistema (ANDRADE, 2012).

### 3.3.2 Macrófitas

Macrófitas, ou plantas aquáticas, são vegetais que podem habitar ambientes totalmente alagados e fixos.

Os tipos de macrófitas usadas nos *Wetlands* são os mais variados possíveis. Pela diversidade de *habitat*, calcula-se que existam mais de 5000 espécies de macrófitas de água doce (ABRANTES, 2009).

As macrófitas são o elemento principal de um *Wetland* construído. A parte aérea tem a função de impedir a exposição direta do sol sobre o leito filtrante reduzir a proliferação de algas, controlar a velocidade do vento, armazenar os nutrientes retirados da água residuária e realizar embelezamento paisagístico. Caule e raízes fazem filtração, controlam a velocidade de escoamento do efluente, aumentam a taxa de sedimentação, servem de suporte para adesão de microrganismos, contribuem com a degradação da matéria orgânica, transportando oxigênio e retiram os nutrientes que serão armazenados na parte aérea (ANDRADE, 2012). Nutrientes como fósforo e nitrogênio são assimilados pelas macrófitas para promover seu crescimento e armazenamento de biomassa.

Após atingirem o ápice de seu crescimento, é necessário realizar manejo da biomassa. Caso isso não ocorra, as plantas irão se decompor e os nutrientes assimilados anteriormente irão retornar à água para serem incorporados novamente por outras plantas (ABRANTES, 2009).

As macrófitas podem ser do tipo flutuante ou emergente e a escolha da espécie a ser introduzida no sistema, deve levar em conta o clima original onde é encontrada naturalmente, devido à facilidade de adaptação e crescimento das plantas (SEZERINO, 2006).

Várias espécies de macrófitas têm sido utilizadas nos sistemas alagados construídos tais como, Taboa (*Typha latifolia* L.), capim elefante (*Pennisetum purpureum*), azevém (*Lolium multiflorum*), aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), helicônia (*Heliconia psittacorum*), copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*), agapanto

(*Agapanthus africanus*) (CHAGAS *et al.*, 2011), capim *vetiver* (*Vetiveria zizanioides*) (ALMEIDA *et al.*, 2013), junco (*Eleocharis sp.*) (ARAUJO *et al.*, 2013), dentre outras.

Silva *et al.* (2013) avaliaram o desempenho de um *Wetland*, plantado com *Canna generalis* (biri-biri), (50%) e *Cyperus alternifolius*. O sistema é precedido por caixa de sedimentação, desarenador, tanque de equalização, caixa de gordura, pré-filtro e reator anaeróbio compartimentado, para tratar efluente de bovinocultura de leite. O suporte utilizado foi brita nº2 com tempo de detenção hidráulica de 3,6 dias. A eficiência de remoção de nutrientes alcançou mais de 90% para este sistema.

Moraes (2012), analisou *Wetland* de fluxo vertical cultivado com capim Tifton 85, tratando esgoto doméstico e obteve rendimento de 72% na remoção de DQO e mais de 50% para nutrientes.

### 3.3.3 *Zantedeschia aethiopica*

A *Zantedeschia aethiopica* é uma planta exótica, originária da África do Sul, que ocorre em terrenos úmidos (CARNEIRO, 2009). É uma espécie muito utilizada para composição de arranjos florais e Minas Gerais destaca-se na produção do copo-de-leite sendo responsável por 44% do cultivo (LADEIRA *et al.*, 2013). É adaptada a regiões mais frias e a floração depende de temperaturas mais amenas (CARNEIRO, 2009).

Lemes *et al.* (2008) analisaram a eficiência de remoção de matéria orgânica (DBO) pela implantação de *Wetland*, cultivada com *Zantedeschia aethiopica*, em duas casas de um comunidade rural do município de Irati-PR. O município não possuía nenhum tipo de coleta de esgoto sanitário, apesar de ter 93,2% de sua população atendida com abastecimento de água. O material usado para construção do aparato foi doado pela prefeitura de Irati e a ajuda com a mão de obra veio dos moradores das duas residências que receberam o projeto.

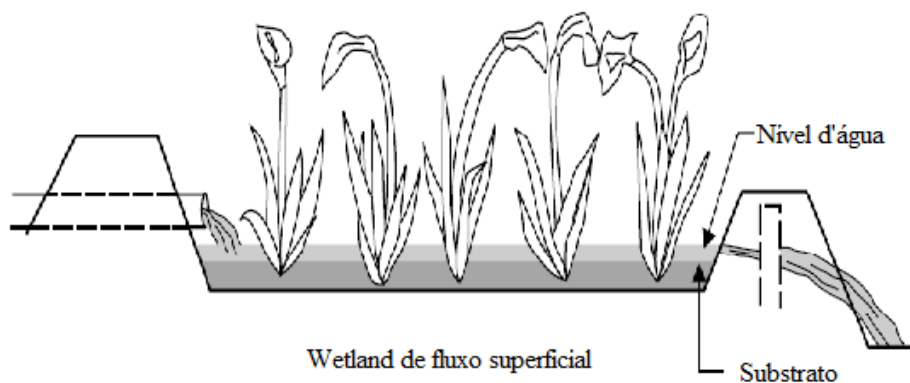
Não há muitas pesquisas sobre *Wetland* utilizando *Zantedeschia aethiopica* por que a maioria dos estudos realizados sobre *Wetland* foram feitos em países do hemisfério norte que tem clima com frio mais rigoroso (BELMONT *et al.*, 2003).

### 3.4 Modelos de *Wetland* construídos

Os *Wetlands* construídos podem ser classificados em: sistema de fluxo superficial e sistema de fluxo subsuperficial, sendo este último classificado de fluxo horizontal ou vertical.

#### 3.4.1 Sistema de fluxo superficial

No sistema de *Wetland* de fluxo superficial, a lâmina de água fica acima do nível do meio suporte onde estão inseridas as macrófitas (DORNELAS, 2008). Este sistema é o mesmo dos alagados naturais. Na Figura 3 está representado um modelo de *Wetland* de fluxo superficial.



**Figura 3.** Desenho esquemático de um sistema *Wetland* de fluxo horizontal superficial com macrófitas do tipo emergentes. Fonte: ORMONDE, (2012)

A baixa velocidade de escoamento do sistema pode reter e sedimentar o material sólido transportado. A radiação solar pode atuar no sistema agindo como agente desinfetante, diminuindo a quantidade de organismos patogênicos (ZANELLA, 2008).

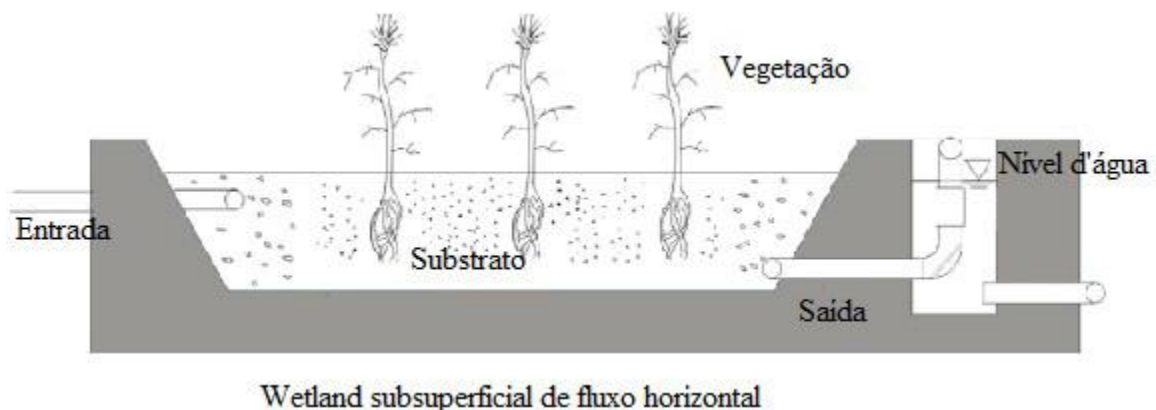
Jos e Arthur (1998) obtiveram eficiência de remoção de 81% DQO, 95% de DBO, 35% de Nitrogênio total (N total) e 26% de Fósforo total (P total) no tratamento de esgoto sanitário utilizando *Phragmites* e *Typha*, com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 10 dias.

### 3.4.2 Sistema de fluxo subsuperficial horizontal

No *Wetland* de fluxo horizontal subsuperficial, o efluente passa sob a superfície do meio filtrante, percolando entre os vazios porosos onde as macrófitas estão enraizadas. O esgoto é disposto na entrada do tanque para promover distribuição equitativa para evitar curto-circuito ou zonas mortas, que resultariam em anaerobiose. O líquido percorre o meio filtrante, onde os microrganismos e as raízes das plantas fazem a degradação da matéria orgânica e a absorção dos nutrientes saindo na parte final pela ação da gravidade, como ilustrado na Figura 4.

Comparado ao sistema superficial, este sistema não gera odores pelo fato de não ter o efluente exposto ao ar livre, evitando, também, a proliferação de insetos.

Comparado ao sistema superficial, este sistema não gera odores pelo fato de não ter o efluente exposto ao ar livre, evitando, também, a proliferação de insetos.



**Figura 4.** Desenho esquemático de um sistema *Wetland* de fluxo horizontal superficial com macrófitas do tipo emergentes. Fonte: ORMONDE, 2012

Analisando efluente de vinhaça em sistema de fluxo horizontal superficial, plantado com *Eleocharis s.p.*, Araújo *et al* (2013) obteve rendimento próximo de 50% na remoção de matéria orgânica.

Chagas *et al.* (2011) analisaram um sistema de fluxo subsuperficial horizontal, tendo como recheio brita nº.0 e utilizando a *Hemerocallis flava* como extratora de

nutrientes, obteve média de 70% de eficiência para remoção de matéria orgânica em quatro leitos cultivados. Ribeiro et al. (2012) fez análises de um sistema de fluxo subsuperficial horizontal com cultivo de *Heliconia psittacorum*, *Cyperus isocladius* e *Canna sp.* suportados com pedrisco e brita nº.0, atingiu 90% de eficiência na remoção de matéria orgânica e nutrientes.

Ferres et al. (2013) analisaram sistemas alagados construídos de fluxo horizontal subsuperficial, com fluxo contínuo, composto por seis unidades de 0,6m<sup>2</sup> cada. Dois foram cultivados com *Cynodon spp.* (capim tifton 85), dois cultivados com *Alternanthera philoxeroides* e dois sem plantas para controle. Todos os sistemas foram preenchidos com brita zero. O efluente utilizado foi de uma suinocultura que antes de ser transportado para o experimento, passava por um peneira e uma caixa de gordura. O experimento foi monitorado por 63 dias e obteve um rendimento de apenas 8% para os sistemas controle e de 14% para os plantados.

Oliveira e Costanzi (2014) avaliaram *Wetland* de fluxo horizontal subsuperficial, preenchido com pedrisco e brita nº0, plantados com *Cyperus papyrus*, seguido de *Wetland* de fluxo vertical, preenchido com areia grossa e pedrisco, plantada com *Heliconia rostrata*, submetidos a efluente de lavanderia. A eficiência alcançada para este sistema foi de 95% na remoção de DQO.

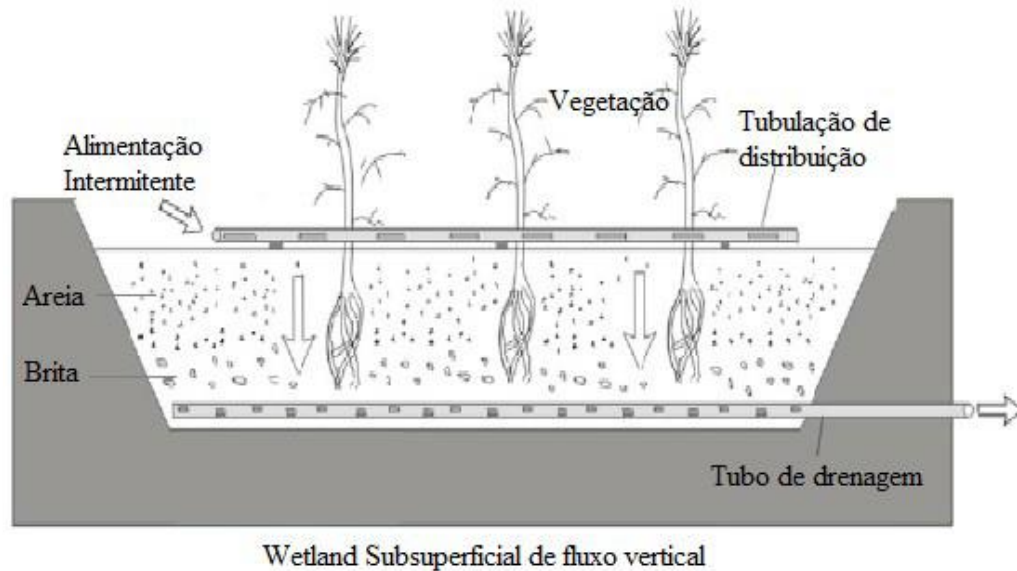
### 3.4.3 Sistema de fluxo subsuperficial vertical

O sistema consiste de um leito impermeabilizado, preenchido com o meio filtrante desejado, onde as plantas serão fixadas (semelhante ao sistema de fluxo horizontal). O efluente será distribuído sob toda superfície do meio suporte de maneira que possa percolar verticalmente o recheio até chegar ao fundo onde haverá uma tubulação para fazer a drenagem do sistema (Figura 5).

A maneira como esgoto é disposto, promove um arraste de oxigênio atmosférico para dentro do leito filtrante e juntamente com o oxigênio transferido pelas macrófitas, tornam a degradação da matéria orgânica mais eficiente (SEZERINO, 2006).

Mazola et al. (2004) analisaram o desempenho de um reator anaeróbio seguido de dois leitos cultivados com *Typha sp.* em um dos leitos e *Eleocharis sp.* no outro. Ambos de fluxo vertical por batelada. Os valores médios de remoção alcançaram

91,47% para sólidos sedimentáveis, 81,4 % para sólidos suspensos e 37,9 % para DQO. Problemas como curto-circuito e pouco desenvolvimento da comunidade microbiana, podem estar relacionados com a baixa remoção de matéria orgânica.



**Figura 5.** Desenho esquemático de um sistema *Wetland* de fluxo vertical superficial com macrófitas do tipo emergentes. Fonte: ORMONDE, 2012

Segundo Zanella (2008) *Wetland* de fluxo vertical, é o que exigem menor área para promover tratamento de esgoto sanitário. *Wetlands* naturais exigem 10 vezes mais área para tratar o mesmo volume de água que *Wetland* construído de fluxo superficial, que exige 10 vezes mais área que *Wetland* construído de fluxo subsuperficial e este último necessita de uma área 5 vezes maior que um *Wetland* de fluxo vertical.

Araujo *et al.* (2013) avaliaram a eficiência de sistema *Wetland* de fluxo superficial vertical, cultivado com *Eleocharis sp.*, que revelou eficiência próxima de 70% na remoção de matéria orgânica em efluente de vinhaça.

Estudos realizados por Pelissari *et al.* (2013) demonstraram remoção de 70%, em termos de carga, para DQO analisando efluente de bovinocultura leiteira através de *Wetland* de fluxo vertical cultivado com *Typha domingensis*.

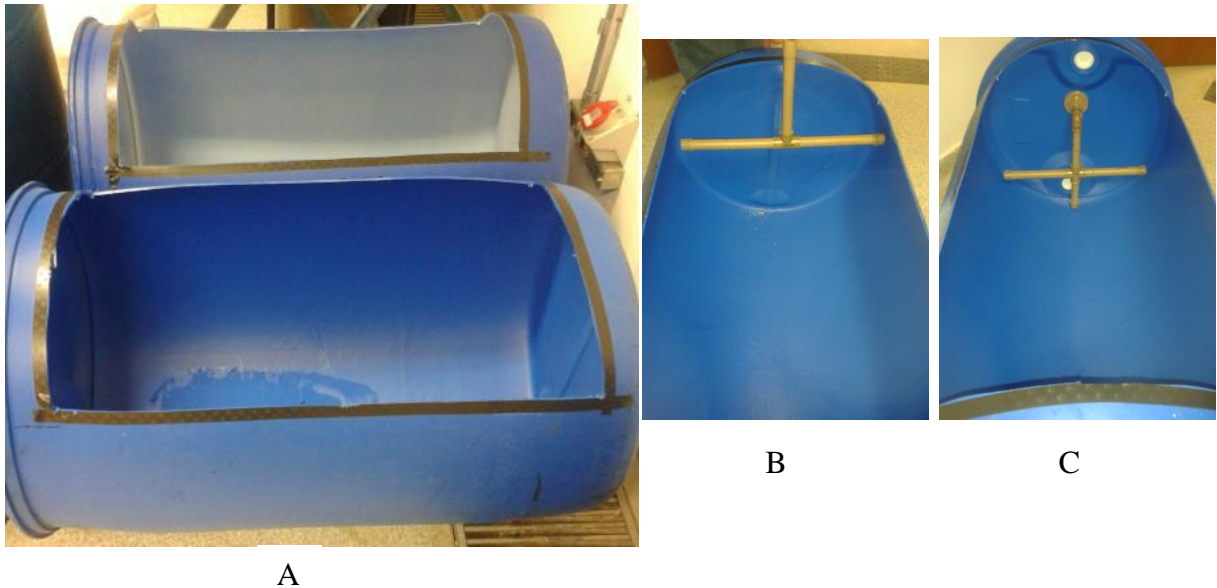
## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi instalado e monitorado nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba, Sede Ecoville, Curitiba, Paraná.

O estudo foi realizado por meio da análise de um sistema *Wetland* utilizando mudas de *Zantedeschia aethiopica*, (copo de leite) sedidas gentilmente pelo acadêmico Claudir José Morais, e um sistema com meio filtrante não vegetado sem o uso de plantas, ambos de fluxo horizontal subsuperficial.

### 4.1 Montagem do sistema

O sistema foi construído utilizando tambores plásticos de 200 L cada, sendo cortados longitudinalmente de maneira que em uma das extremidades fosse introduzido o efluente e na outra recupere-se o esgoto tratado (Figura 6).



**Figura 6.** Imagem dos tambores cortados (a) mostrando a entrada do esgoto bruto (b) e a saída do efluente tratado (c).

Foi utilizada tubulação de PVC 25 mm, sendo feitos furos para entrada e saída do esgoto. Torneiras foram instaladas na saída dos sistemas para facilitar a coleta das amostras.

Os dois recipientes foram preenchidos com brita nº 1 (Figura 7) como meio suporte. Em um deles plantaram-se dez mudas de *Zantedeschia aethiopica* no outro



foi mantido apenas com brita nº 1, sem plantas, para comparar a eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes entre eles.

Com relação a operação do sistema, a tubulação projetada inicialmente para a entrada do efluente não foi utilizada. O efluente foi transferido aos sistemas através de um balde graduado para otimizar o tempo de análise.

O volume total de cada recipientes é de 170 L até o nível de saída do sistema, e o volume útil do recipiente é de 70 L. As medições de volume foram feitas manualmente utilizando um balde graduado de 10 L.



**Figura 7.** Imagem do meio suporte (brita 1) utilizada nos sistemas

## **4.2 Efluente sintético**

A utilização do esgoto sintético ocorreu pela facilidade de transferi-lo aos sistemas e por não necessitar de tanque séptico como tratamento prévio. Suas características do esgoto sintético bruto foram analisadas juntamente com as amostras coletadas nas três bateladas. O efluente utilizado foi do tipo sintético adaptado de BARBOSA (2006) conforme composição mostrada na Tabela 1. Os sistemas foram alimentados cada um com 70L de esgoto sanitário sintético em 3 bateladas com coleta de amostras em intervalos de 4, 8, 24 e 48 h, com determinações físico-químicas realizadas em duplicata.

O esgoto sintético foi preparado para ser diluído em 70 L de água. A diluição foi feita em um tambor plástico com capacidade para 100 L e bombeado com o auxílio de uma bomba de máquina de lava roupas (Figura 8).

**Tabela 1 – Composição do Esgoto Sanitário Sintético**

Produto	Quantidade	Unidade/L
Extrato de Carne	0,2	g
Amido	0,01	g
Farinha de Trigo	0,2 g	g
Sacarose	0,0175	g
NH <sub>4</sub> Cl	0,0255	g
Óleo	0,051	mL
Detergente	2	gotas
Celulose	0,03	g
NaCl	0,25	g
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0,007	g
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,0045	g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,0264	g
Bicarbonato de Sódio	0,2	g

Fonte: adaptado de Barbosa (2006)

Na terceira batelada os reagentes foram separados, pesados e reservados para serem misturados no momento da introdução nos sistemas. A capacidade de drenagem dos sistemas foi de aproximadamente 85 L/h.



**Figura 8.** Imagem da bomba d'água com tambor plástico utilizada para transportar o efluente sintético aos sistemas de tratamento.

Os métodos analíticos utilizados para monitoramento dos sistemas e as respectivas referências são apresentados na Tabela 2.

Todas as análises foram feitas no laboratório de saneamento da UTFPR campus Curitiba sede Ecoville. As análises de pH, temperatura e turbidez foram realizadas no momento da coleta das amostras

**Tabela 2 – Parâmetros analíticos para a avaliação.**

Parâmetro	Unidade	Método de Análise	Método N°	Referência
Temperatura	°C	-	-	-
pH	-	Potenciométrico	4500_H <sup>+</sup>	Eaton <i>et al.</i> (2005)
DQO	mg/L	Espectrofotométrico	5220_D	Eaton <i>et al.</i> (2005)
Nitrogênio Total	mg/L	Titulométrico	4500_N <sub>org</sub>	Eaton <i>et al.</i> (2005)
N Amoniacal	mg/L	Titulométrico	4500_NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Eaton <i>et al.</i> (2005)
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico	4500_NO <sub>2</sub>	Eaton <i>et al.</i> (2005)
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Espectrofotométrico	4500_NO <sub>3</sub>	Eaton <i>et al.</i> (2005)
Fósforo Total	mg/L	Espectrofotométrico	4500_P	Eaton <i>et al.</i> (2005)
Turbidez	UNT	Nefelométrico	2130 B	Eaton <i>et al.</i> (2005)

### 4.3 Descrição do procedimento

A primeira batelada de análises, com esgoto sintético, ocorreu aproximadamente 3 meses após o plantio das mudas nos dias 04 e 05 de outubro. A solução sintética foi preparada 12 hs antes de ser introduzida nos sistemas e foi colocada em balões volumétricos de 1 litro para ser diluída em 70 L de água e transferida aos sistemas. As coletas foram feitas em 4, 8, 24 e 48 h após a introdução do efluente.

Utilizando a bomba d'água, realizou-se a transferência gradual dos 70 L primeiramente ao sistema plantado e posteriormente ao sem plantas. Como os sistema haviam sido molhados com o água do córrego e estavam cheios, conforme o efluente sintético foi sendo introduzido, retirava-se a água que drenava dos sistemas, em um balde graduado de 10 L para fazer o controle da vazão dos sistemas. Após o término da transferência do efluente sintético, coletou-se os 10 L finais na saída dos sistemas que foram reintroduzidos nos mesmos fornecendo material suficiente para coleta das amostras.

A segunda batelada foi realizada nos dias 18 e 19 de outubro. Seguindo a mesma metodologia, o efluente sintético foi preparado 12 hs antes de ser colocado nos sistemas. Para otimizar o tempo de análise, o efluente foi transferido para os dois sistemas simultaneamente através de um balde graduado de 10 L totalizando 70 L para cada um. Os 10 L restantes até o nível de vazão foram reintroduzidos novamente aos sistemas para que houvesse material suficiente para as análises. Nestes dias havia risco de chuva e para não haver comprometimento das análises, foi montado um anteparo para não alterar o efluente que estava nos sistemas (Figura 9).

Na terceira batelada, realizada nos dias 06 e 07 de dezembro, os reagentes do efluente sintético, foram separados, pesados e reservados para serem misturados e diluídos, no momento da introdução da solução nos sistemas. Isso ocorreu para verificar se poderia haver alguma alteração nos resultados das análises. A transferência ocorreu da mesma forma à segunda batelada (com balde graduado).



**Figura 9.** Imagem do anteparo utilizado para preservar os sistemas e não comprometer as coletas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Desenvolvimento das plantas

Os sistemas foram montados no dia 14 de julho de 2014 bem como o plantio das mudas de *Zantedeschia aethiopica*. Procurou-se nivelar os recipientes para facilitar o escoamento e não deixar efluente acumulado nas extremidades. Foram plantadas 10 mudas, com espaço de aproximadamente 10cm entre elas.

Após uma semana do início do funcionamento dos sistemas, houve a necessidade de instalar escoras nas laterais do leito cultivado devido a expansão que estava sofrendo, como é apresentado na Figura 10.



**Figura 10.** Imagem dos sistemas no dia do plantio das mudas de *Zantedeschia aethiopica*.

Os sistemas foram molhados semanalmente com água de um pequeno córrego que passa dentro do campus e próximo ao local onde estão as plantas. Desta forma forneceu-se nutrientes necessários para as plantas se fixar e se desenvolver até o início das análises bem como a formação do biofilme necessário. As plantas eram molhadas de duas a três vezes por semana, com cerca de 10 L em cada sistema. Exceto em dias de chuva.

Após 30 dias do plantio, as plantas já haviam se fixado no meio suporte (Figura 11).

O local não recebe muita insolação, o que contribuiu para o desenvolvimento das mudas.



**Figura 11.** Imagem do sistema vegetado com 30 dias após o plantio

Com 4 meses após o plantio, as plantas se fixaram vigorosamente apresentando dimensões maiores e floração, demonstrando a adaptação ao meio suporte e ao efluente rico em nutrientes, conforme a Figura 12.



**Figura 12.** Imagens dos sistemas após 3 meses do plantio

Na Figura 13 observa-se que *Zantedeschia aethiopica* se adaptou muito bem às condições submetidas dentro do período analisado.



**Figura 13.** Plantas com 6 meses após o plantio.

## **5.2 Resultado das análises**

Os resultados obtidos serão comparados entre o sistema *Wetland* construído plantado com *Zantedeschia aethiopica* e o sistema apenas com o meio suporte sem plantas. Nos gráficos de linha são apresentadas as variações dos resultados ao longo das análises nas três bateladas realizadas. Os números 1,2,3,4 e 5 na base dos gráficos representam as coletas realizadas para esgoto bruto, 04h, 08h, 12h e 48h respectivamente. Nos gráficos box plot são mostradas as eficiências de cada parâmetro analisado.

### **5.2.1 Efluente sintético**

Na tabela 3 estão os resultados das análises do efluente sintético verificadas nas três bateladas realizadas. O destaque está nos resultados de Nitrogênio amoniacal que nas duas primeiras bateladas apresentou valores considerados elevados comparados com a terceira batelada.

Tabela 3. Características físicas e químicas do efluente sintético utilizado no estudo.

Parâmetros	N – número de amostras	média	desvio pad.	Valor mín	Valor máx
pH	3	7,84	0,13	7,70	7,96
Temp (°C)	3	19,52	3,86	15,06	21,80
Turbid (UNT)	3	27,63	5,91	22,50	34,10
DQO (mg/L)	3	462,46	31,54	430,92	494
Fósforo (mg/L)	3	19,73	3,25	16,40	22,90
N total (mg/L)	3	52,33	20,12	39,49	75,52
Nitrito (mg/L)	3	0,03	0,006	0,024	0,0364
Nitrato (mg/L)	3	0,32	0,106	0,20	0,392
NTK (mg/L)	3	51,98	20,06	39,26	75,10
N amon (mg/L)	3	93,12	55,61	28,93	126,80

### 5.2.2 Temperatura

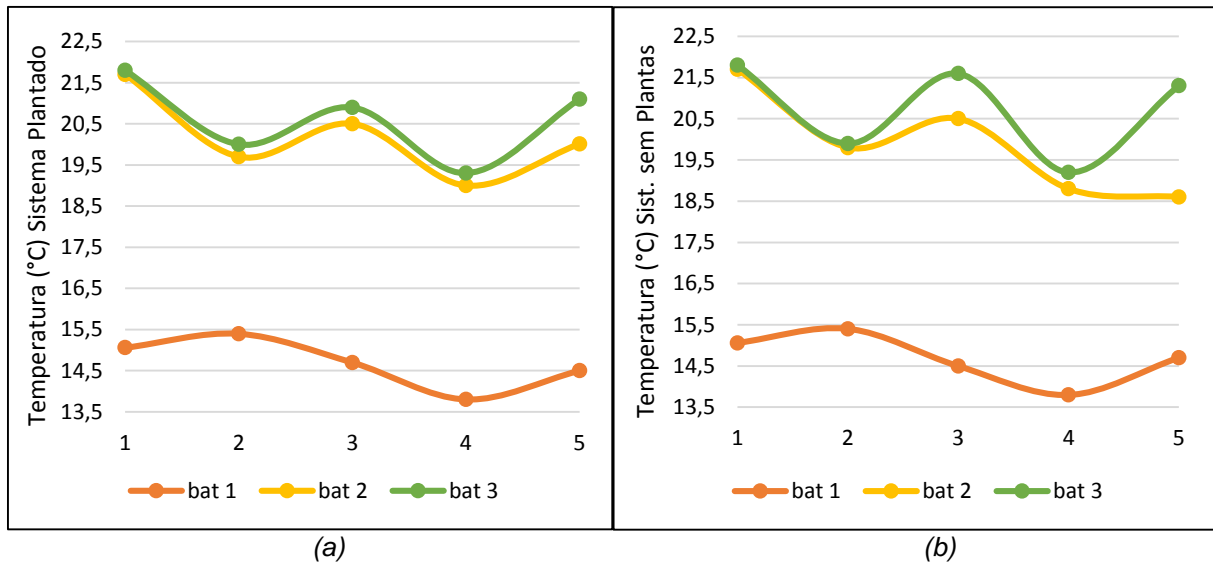
Os valores de temperatura do efluente tratado, na primeira batelada do sistema plantado, variaram entre 13,8 a 15,4°C, para a segunda batelada, entre 19,0 e 21,7°C e para a terceira batelada entre 19,3 e 21,8°C. No sistema sem plantas as temperaturas variaram entre 13,8 e 15,4°C na primeira batelada, 18,6 e 21,7°C na segunda batelada e 19,9 e 21,8°C na terceira batelada (Figura 14).

As temperaturas podem influenciar diretamente na atividade biológica dos sistemas. Segundo Sperling (2012), a cada 7 °C no aumento na temperatura, a taxa de crescimento dos organismos nitrificantes dobra e a cada 7 °C de queda, a taxa de crescimento reduz pela metade. No estudo realizado, houve variação acima de 7°C, porém, os resultados encontrados, não sofreram influência da temperatura.

As temperaturas podem influenciar diretamente na atividade biológica dos sistemas. Segundo Sperling (2012), a cada 7°C no aumento na temperatura, a taxa de crescimento dos organismos nitrificantes dobra e a cada 7°C de queda, a taxa de crescimento cai pela metade. No estudo realizado, não houve uma variação significativa das temperaturas que pudesse determinar uma melhor ou pior eficiência dos sistemas.



Analisando as temperaturas percebe-se que na primeira batelada as temperaturas são mais amenas comparadas com a segunda e terceira batelada. As maiores temperaturas foram alcançadas nas duas últimas bateladas. De maneira geral, a temperatura dos dois sistemas obtiveram praticamente os mesmos valores.

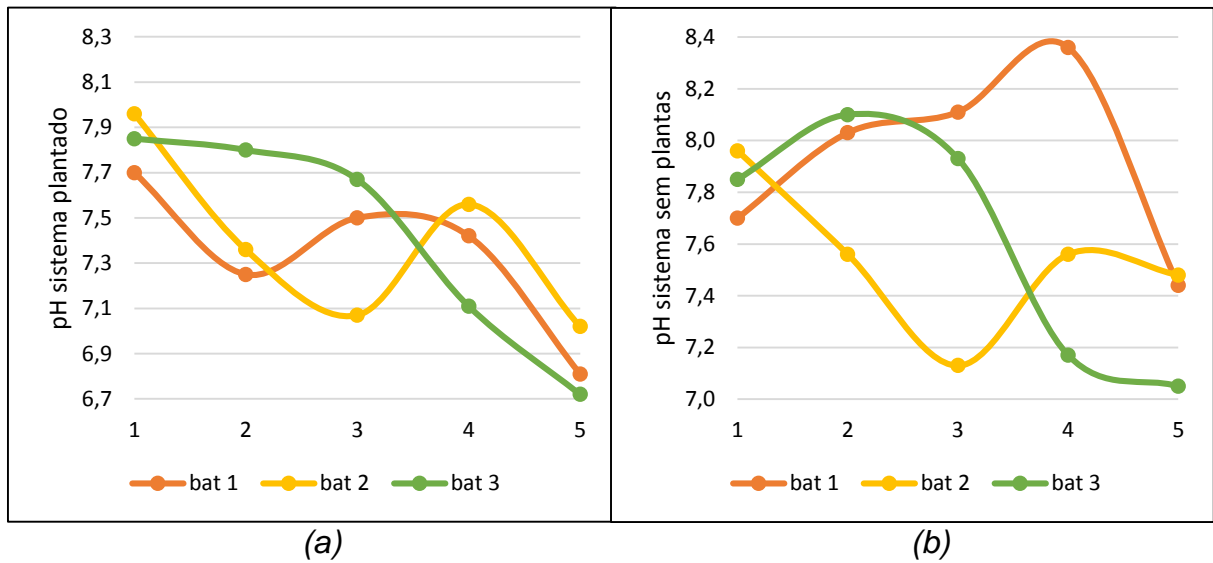


**Figura 14.** Variação da temperatura (°C) nas três bateladas realizadas do sistema plantado (a) e no sistema sem plantas (b).

### 5.2.3 pH

Os valores de pH no sistema plantado permaneceram próximos à neutralidade, variando de 6,8 a 7,7 na primeira batelada, 7,0 a 7,9 na segunda batelada e 6,7 a 7,85 na terceira batelada. Para o sistema sem plantas o pH também ficou próximo a neutralidade, com valores que variaram de 7,4 a 8,4 na primeira batelada, 7,1 a 7,9 na segunda batelada e 7,0 a 8,1 na terceira batelada. Na Figura 15 está representada a variação do pH entre os sistemas plantados e sem plantas.

Andrade (2012) utilizando efluente sintético, também encontrou valores de pH em torno de 7 com pouca variação. De acordo com Sperling (2012) o processo de nitrificação libera íons  $H^+$ , o que pode reduzir o pH do meio.



**Figura 15.** Variação dos valores de pH entre as três bateladas do sistema com plantas (a) e sem plantas (b).

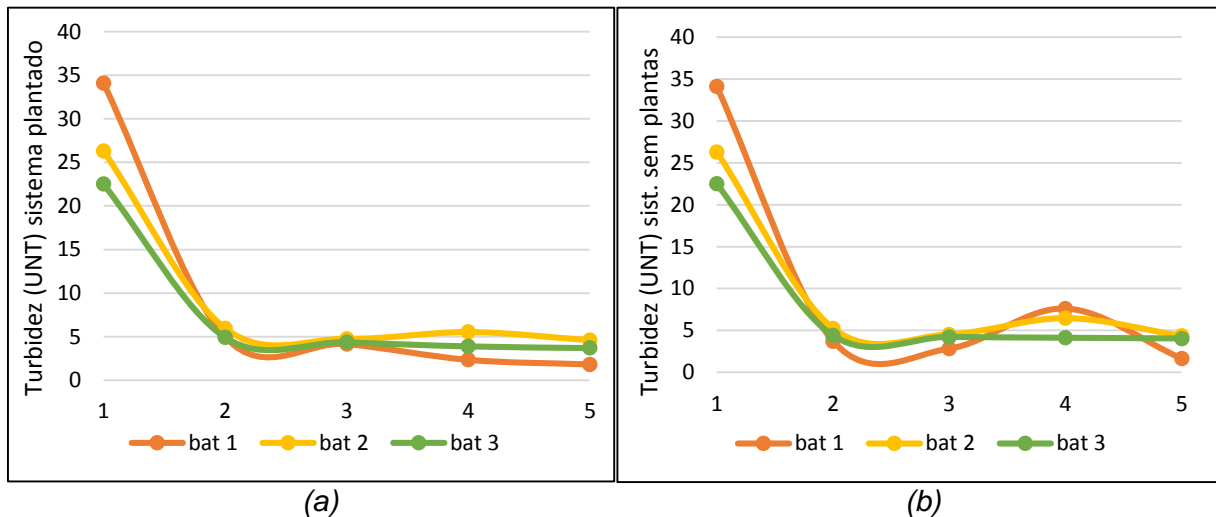
## 5.2.4 Turbidez

Na primeira batelada do sistema plantado, os valores para turbidez variaram entre 1,8 a 4,9 UNT, 4,6 a 5,9 UNT na segunda batelada e 3,7 a 4,9 UNT na terceira batelada. Na segunda batelada houve uma pequena oscilação no resultado da amostra coletada com 24 hs do início do processo. Nas primeira e segunda bateladas, o decaimento foi constante. Isso mostra que os sólidos ficaram retidos no sistema. No sistema sem plantas, os valores de turbidez obtidos na primeira batelada, variaram entre 1,6 a 7,6 NTU, 4,3 a 6,4 UNT na segunda batelada e 4,0 a 4,4 UNT na terceira batelada (Figura 16).

Segundo Zanella (2008), a turbidez está relacionada com a porosidade do meio filtrante. Quanto menor a porosidade, melhor será a eficiência de retenção sólidos e menor a turbidez.

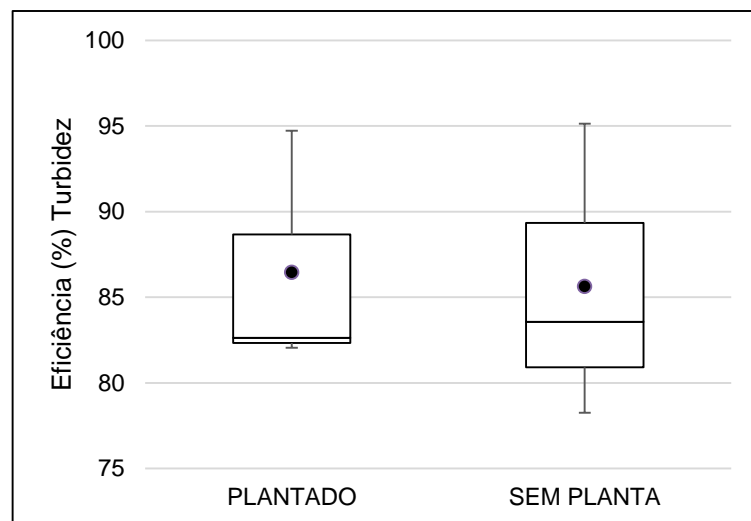
Ormonde (2012) avaliou sistemas de fluxo contínuo horizontal subsuperficial utilizando areia grossa como recheio, esgoto natural e cultivados com *Canna indica*, *Canna x generalis*, *Colocassia esculenta*, alcançou eficiência entre 92,7 a 95,4% para turbidez. Araújo (2013) avaliou em sistema de bancada, o comportamento de um efluente de vinhaça em recipiente recheado com brita nº0 de fluxo horizontal subsuperficial plantado com *Typha sp.* (taboa) obtendo redução da turbidez em 70%.

A eficiência do sistema plantado, na redução da Turbidez, variou entre 82,1% na primeira batelada e 94,7% na terceira batelada. O sistema não vegetado obteve rendimento de 78,2% na primeira batelada e 95,1% na terceira batelada. A eficiência média entre os dois sistemas nas três bateladas foi de 86,5% para o sistema vegetado, contra 85,6% no sistema não vegetado (Figura 17).



**Figura 16.** Variação dos valores de turbidez entre as três bateladas do sistema com plantas (a) e sem plantas (b).

Ormonde (2012) comparou sistemas vegetados e não vegetados com esgoto natural de fluxo contínuo horizontal subsuperficial, preenchido com areia grossa, obteve rendimento de 92,5% na redução de turbidez.



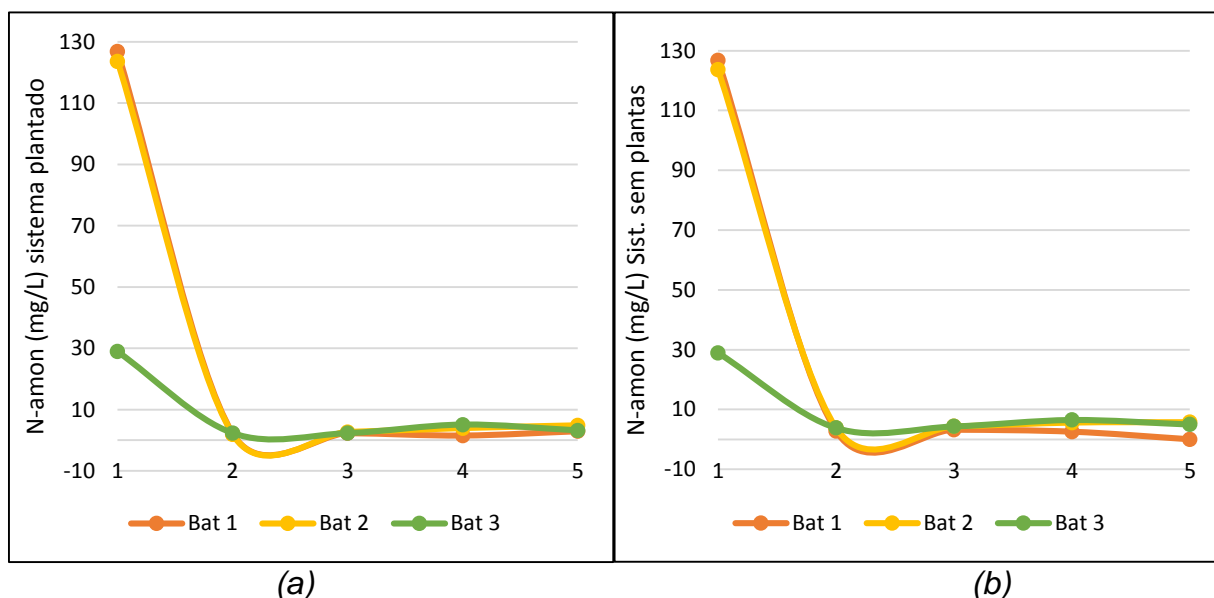
**Figura 17.** Comparação de eficiência entre os sistemas Plantados e sem plantas. O ponto no meio do retângulo indica o valor médio e a reta, a mediana. As duas semi retas nas extremidades dos retângulos mostram as eficiências mínimas e máximas das três bateladas.

### 5.2.5 Nitrogênio amoniacal

Na primeira batelada do sistema plantado, os valores variaram de 1,5 a 2,9 mg/L, 1,91 a 4,83 mg/L na segunda batelada e 2,3 a 5,1 mg/L na terceira batelada. No sistema sem plantas, os resultados encontrados, variaram entre 0,0 a 3,2 mg/L na primeira batelada, 3,8 a 5,6 mg/L e 3,8 a 6,5 mg/L na terceira batelada. Na Figura 18 é representada a variação das concentrações de N-amoniacal no sistema plantado e sem plantas.

O Nitrogênio orgânico encontrado nos efluentes, sofre transformações por compostos orgânicos presente no meio, levando a formação de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub>). Bactérias conhecidas como *Nitrosomonas* convertem N-NH<sub>4</sub> em Nitrito (NO<sub>2</sub>) e posteriormente outro grupo de bactérias chamadas de *Nitrobacter* converte em Nitrato (NO<sub>3</sub>). Este processo é conhecido como nitrificação, de acordo com Von Sperling (2012).

Na resolução 357 do CONAMA estabelece como valor máximo 20,0 mg de nitrogênio amoniacal/l para o lançamento de efluentes em rios de classe 2. Para nitrito, o valor máximo permitido é de 1,0 mg/L e para nitrato 10,0 mg/L.



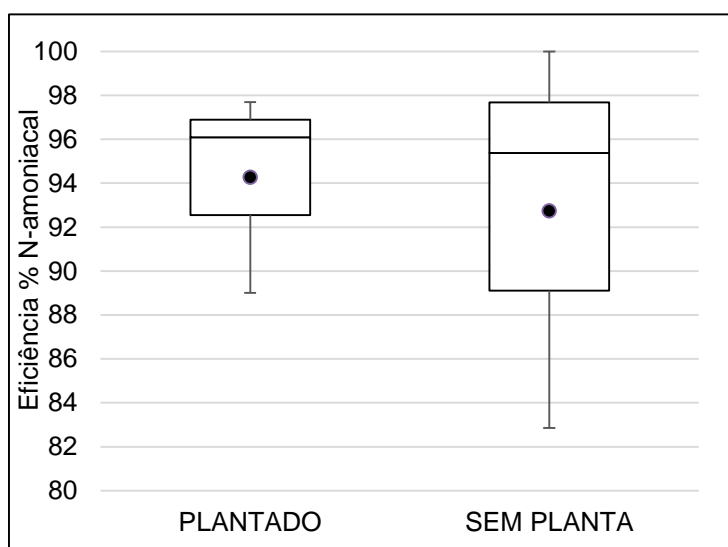
**Figura 18.** Resultados obtidos de nitrogênio amoniacal nas três bateladas realizadas sistema plantado (a) e sem plantas (b).

A diferença na concentração de N-amoniacoal nas duas primeiras bateladas comparadas com a terceira, pode estar relacionada com a forma de preparo do efluente sintético.

Nas duas primeiras bateladas o efluente sintético foi preparado 12 hs antes de ser introduzido nos sistemas. Na terceira batelada, optou-se por diluir os reagentes no momento em que fossem transferidos aos sistemas. Desta forma obteve-se um resultado menor que os anteriores. Apesar disso, a remoção de N-amoniacoal pelos sistemas foi considerada elevada, conforme apresentado na Figura 18.

No gráfico da Figura 19 observa-se a eficiência dos sistemas plantados e sem plantas na remoção de N-amoniacoal. No sistema plantado, a eficiência variou de 89,0 a 97,7%, com valor médio de 94,3% e mediana de

Os valores médios com relação a eficiência na remoção de N-NH<sub>4</sub> foi de 94,3% no sistema com plantas e 95,7% no sistema sem plantas, entre as três batelada realizadas (Figura 19).

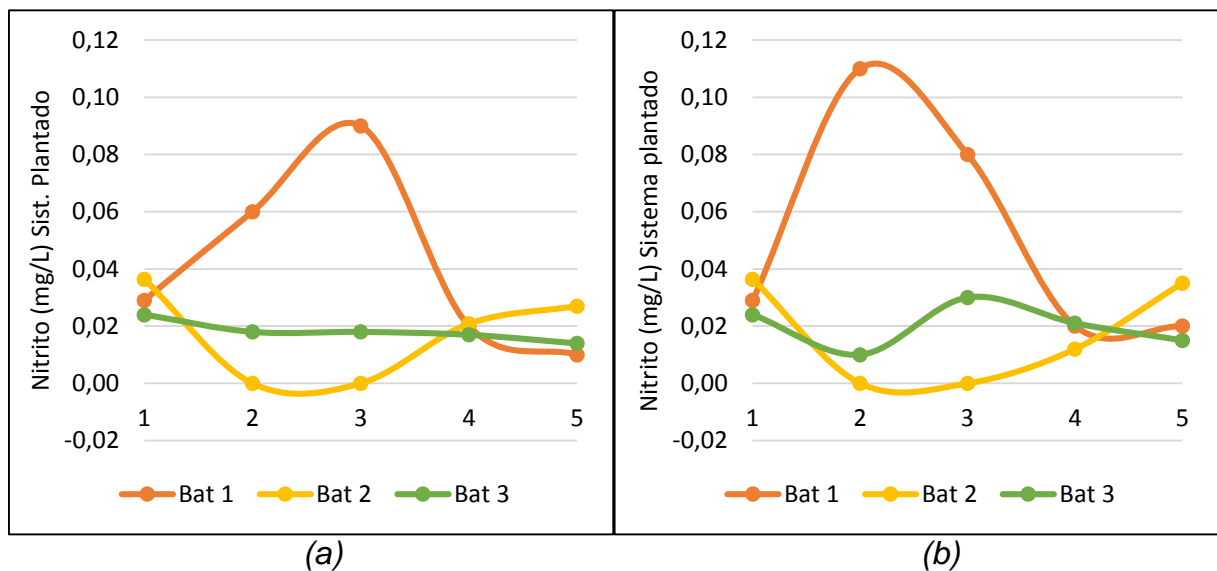


**Figura 19.** Eficiência dos sistemas plantado e sem plantas na remoção de N-amoniacoal nas três bateladas realizadas. O ponto no meio do retângulo indica o valor médio e a reta, a mediana. As duas semi retas nas extremidades dos retângulos mostram as eficiências mínimas e máximas das três bateladas.

Mazzola *et al.* (2005), analisando dois leitos de fluxo vertical por batelada, cultivados com *Typha sp.* e *Eleocharis sp.* e um leito sem cultivo para controle, obtiveram eficiência média de 12,5% para o primeiro, 5,7% para o segundo e 9,7% para o terceiro leito respectivamente na remoção de N-amoniacoal.

### 5.2.6 Nitrito

Os valores de Nitrito ( $\text{NO}_3$ ), no sistema plantado, variaram entre 0,01 a 0,09 mg/L na primeira batelada, 0,0 a 0,03 mg/L na segunda batelada e 0,01 a 0,02 mg/L na terceira batelada. No sistema sem plantas, os valores de  $\text{NO}_3$  oscilaram entre 0,02 a 0,11 mg/L na primeira batelada, 0,00 a 0,04 mg/L na segunda batelada e 0,01 a 0,03 mg/L na terceira batelada (Figura 20).

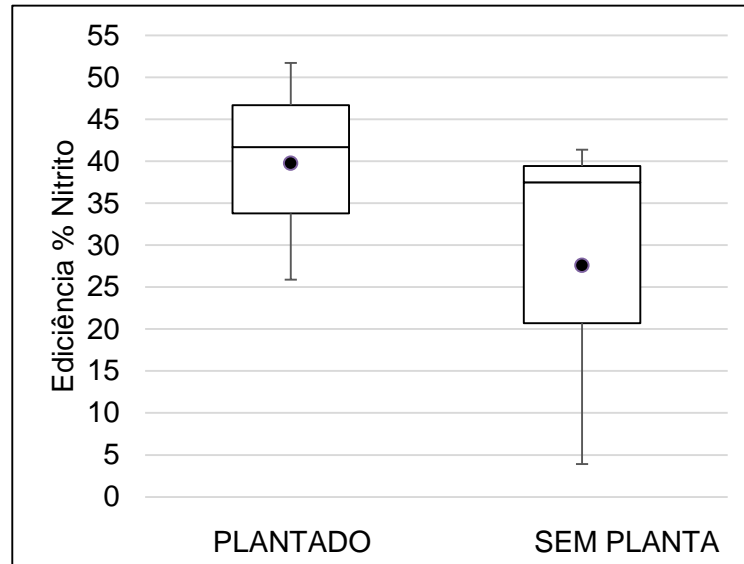


**Figura 20.** Concentração de nitrito nas três bateladas realizadas do sistema plantado (a) e sem plantas (b).

O aumento da concentração de nitrito nas primeiras 8 hs do início da primeira batelada pode estar relacionado com o processo de nitrificação, onde o nitrogênio amoniacal é convertido em Nitrato e à redução do pH como ocorreu nas primeiras 4h. Após esse período, as concentrações reduziram.

Na Figura 21, é possível observar a eficiência na remoção de Nitrito ( $\text{NO}_2$ ), do sistema plantado, que variou entre 25,9%, na segunda batelada, a 51,7% na primeira batelada. A média das três bateladas para o sistema vegetado foi de 39,7%. No sistema sem vegetação, a remoção de Nitrito oscilou de 3,9% na primeira batelada a 41,4% na terceira batelada. A eficiência média das três bateladas foi de 37,5% para remoção de  $\text{NO}_2$ .

A primeira batelada obteve a melhor eficiência, porém apresentou aumento da concentração de nitrito no sistema nas primeiras 8 hs. Tal fato pode ter ocorrido devido à falta de oxigênio disponível, já que o processo exige presença do elemento para ocorrer, e pelo tempo de crescimento das bactérias.

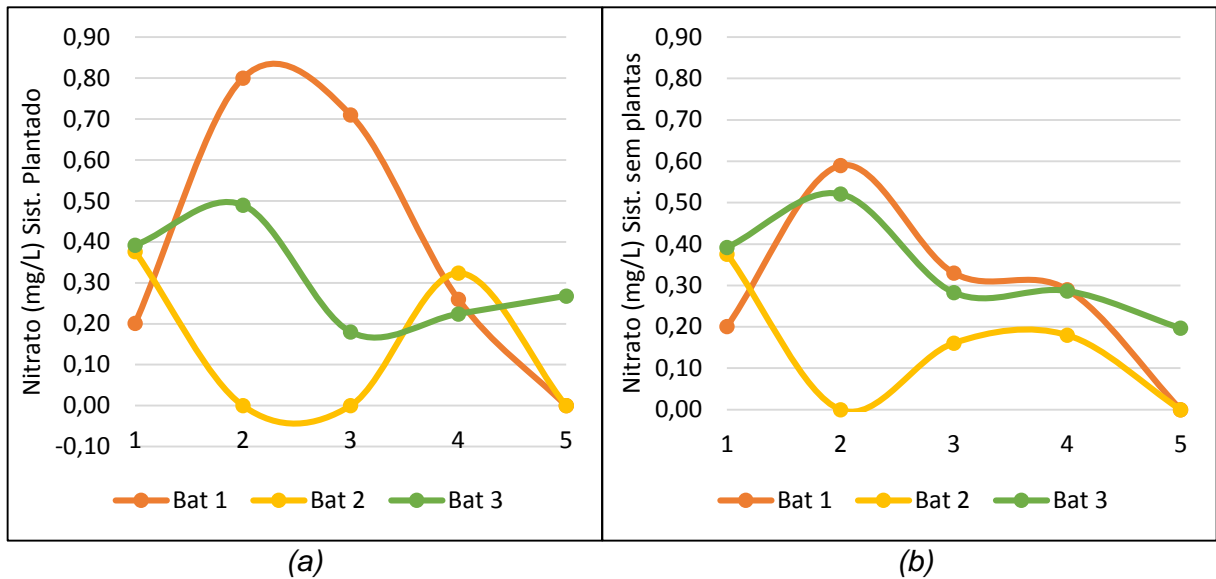


**Figura 21.** Eficiência na remoção de nitrito entre os sistemas plantados e sem plantas. O ponto no meio do retângulo indica o valor médio e a reta, a mediana. As duas semi retas nas extremidades dos retângulos mostram as eficiências mínimas e máximas das três bateladas.

### 5.2.7 Nitrato

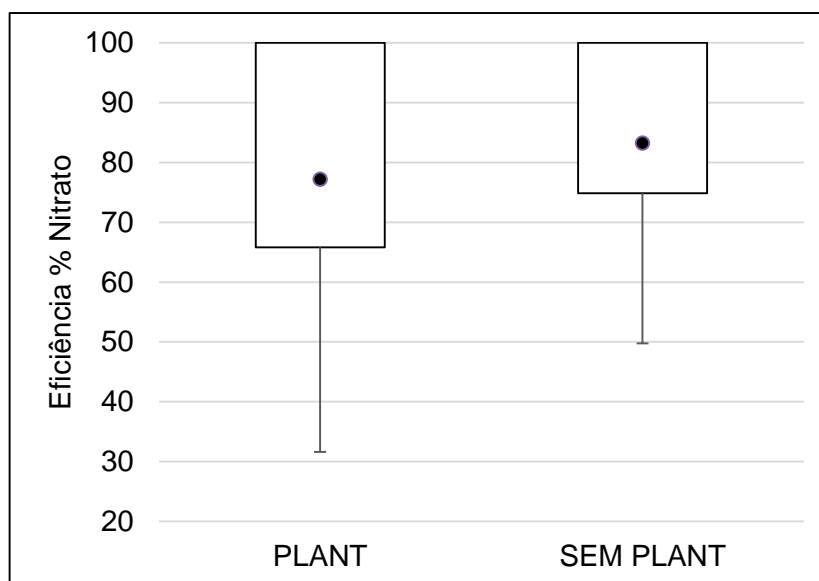
A concentração de Nitrato ( $\text{NO}_3$ ) no sistema plantado variou entre 0,0 a 0,8 mg/L na primeira batelada, 0,0 a 0,03 mg/L na segunda batelada e 0,01 a 0,02 mg/L na terceira batelada. No sistema Sem plantas, a concentração de  $\text{NO}_3$  variou entre 0,0 a 0,6 mg/L na primeira batelada, 0,0 a 0,2 mg/L na segunda batelada e 0,2 a 0,5 mg/L na terceira batelada (Figura 22).

Nas primeiras 8 hs da primeira batelada houve um aumento da concentração de Nitrato no sistema, o que pode estar relacionado com o crescimento das bactéria nitrificantes e a redução do pH.



**Figura 22.** Concentração de Nitrato nas três bateladas realizadas no sistema plantado (a) e sem plantas (b).

A eficiência na remoção de Nitrato do sistema plantado variou entre 31,6%, na terceira batelada e 100,0% na segunda e terceira batelada, tendo eficiência média de média de 77,2%. No sistema não vegetado, a eficiência variou de 49,7% na terceira batelada a 100,0% na primeira e segunda bateladas. A eficiência média foi de 83,2% (Figura 23).



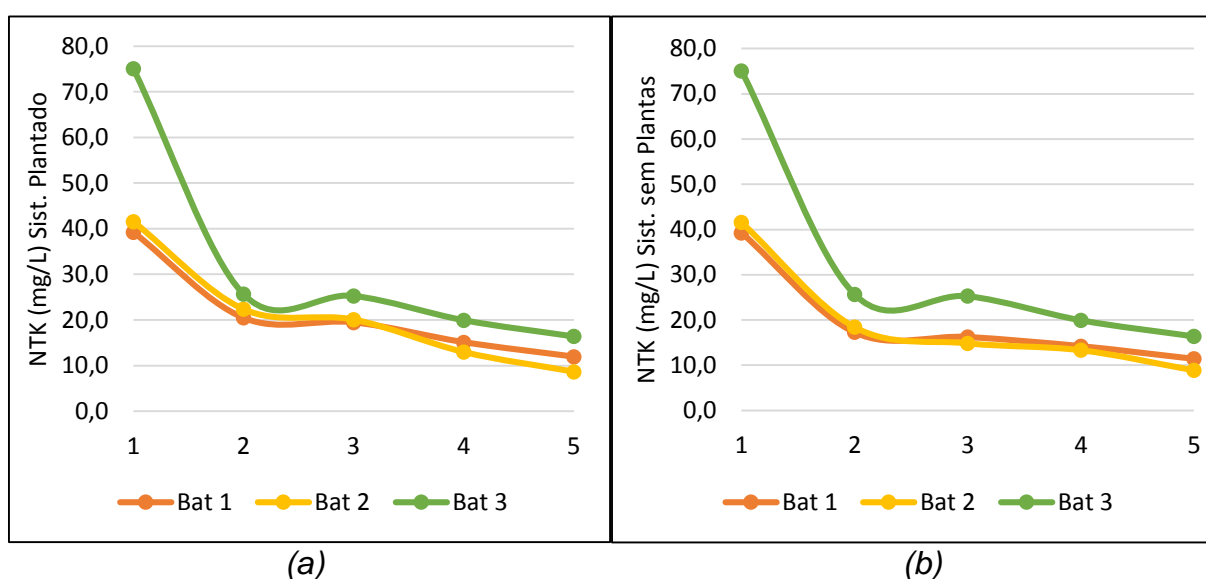
**Figura 23.** Eficiência da remoção de Nitrato entre os sistemas plantado e sem plantas nas três bateladas realizadas. O ponto no meio do retângulo indica o valor médio e a reta, a mediana. As duas semi retas na extremidade inferior do retângulo mostra a eficiência mínimas das três bateladas.



Mazzola *et al.*, (2005) verificou um aumento na concentração de nitrato em dois *Wetlands* construídos cultivados com *Typha* e *Eleocharis* e um sistema sem cultivo para controle nas primeiras 24 hs de análise. Após esse tempo a eficiência dos sistemas na remoção de nitrito foi de 38% (em média) para o leito não vegetado e 60% para os leitos cultivados. Os autores atribuem esse rendimento à desnitrificação quando o nitrato é convertido a  $N_2$ .

### 5.2.8 NTK

Os valores de NTK (Nitrogênio Total kjeldahl) no sistema Plantado variaram entre 11,9 a 20,4 mg/L na primeira batelada, 8,6 a 22,3 mg/L na segunda batelada e 16,4 a 25,7 mg/L na terceira batelada conforme o gráfico da Figura 24.



**Figura 24.** Concentração do NTK nas três bateladas realizadas do sistema plantado (a) e sem plantas (b).

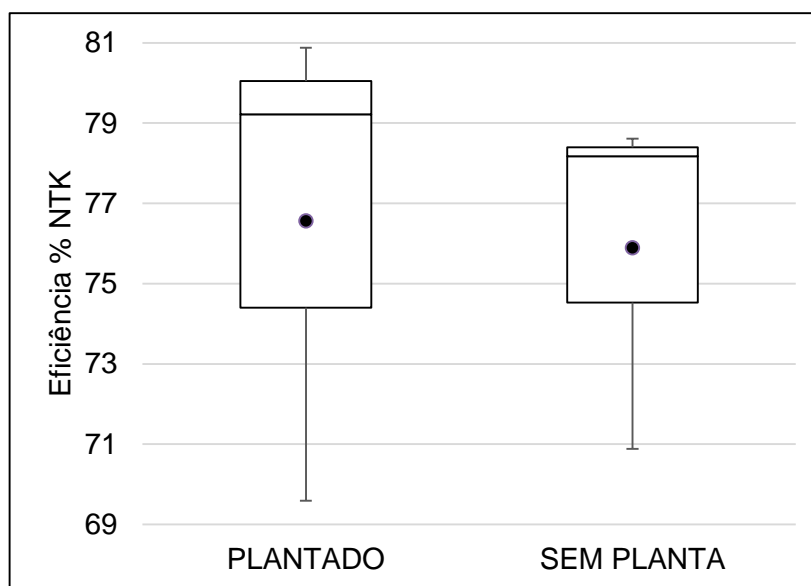
A concentração de NTK no sistema sem plantas variou entre 11,4 a 17,3 mg/L na primeira batelada, 8,9 a 18,4 na segunda batelada e 16,4 a 25,7 mg/L na terceira batelada.

Andrade *et al.* (2013) implantaram sistemas de tratamento por zonas de raízes em uma comunidade rural de Morretes – PR, composto por dois sistemas de fluxo vertical afogado, precedido de caixa de gordura e tanque séptico, preenchidos com brita e um sistema apenas preenchidos com brita, precedido de caixa de gordura,

tanque séptico e biofiltro com anéis de bambu. Os sistemas atingiram 33% de eficiência para remoção de NTK.

O sistema plantado obteve uma eficiência na remoção de NTK que variou de 69,6% na primeira batelada, a 80,9% na terceira batelada. A eficiência média das três bateladas foi 76,6 %. A eficiência no sistema sem plantas, oscilou entre 70,9% na primeira batelada, a 78,2% na segunda batelada. O sistema obteve rendimento médio de 75,9% nas três bateladas (Figura 25).

Andrade (2012) comparou a eficiência de dois *Wetland* de fluxo vertical, um afogado e um livre, plantados com *Canna x generalis*, utilizando tambores plásticos de 200 L cada, preenchido com brita e areia, no tratamento de efluente sintético. No sistema de fluxo livre, foi verificado 57% de eficiência na remoção de NTK, enquanto que o de fluxo afogado, 55%.



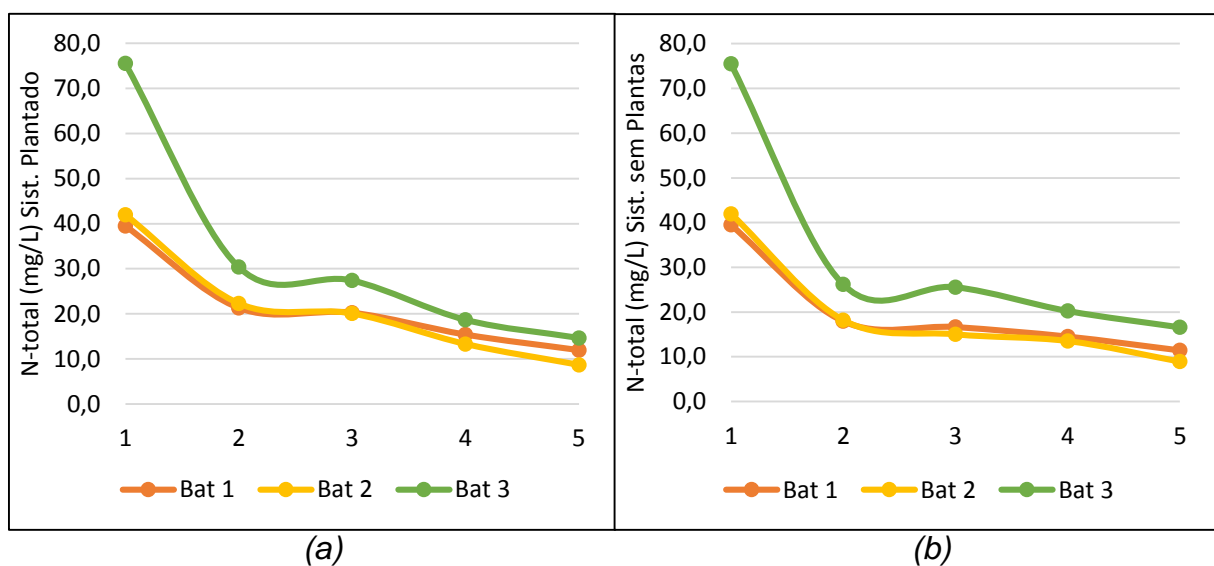
**Figura 25.** Eficiência na remoção de NTK entre os sistemas plantado e sem plantas. O ponto no meio do retângulo indica o valor médio e a reta, a mediana. As duas semi retas nas extremidades dos retângulos mostram as eficiências mínimas e máximas das três bateladas.

### 5.2.9 Nitrogênio total

No gráfico da Figura 26, observa-se que as concentrações de Nitrogênio Total (N-total) no sistema plantado variaram entre 11,3 e 21,3 mg/L na primeira batelada, 8,6 a 22,3 mg/L na segunda batelada e 14,6 a 30,6 mg/L na terceira batelada conforme

demonstra o gráfico da. No sistema sem plantas, os valores obtidos da concentração de N-total variaram entre 11,4 a 17,9 mg/L na primeira batelada, 8,9 a 18,2 mg/L na segunda batelada e 16,0 a 26,0 mg/L na terceira batelada.

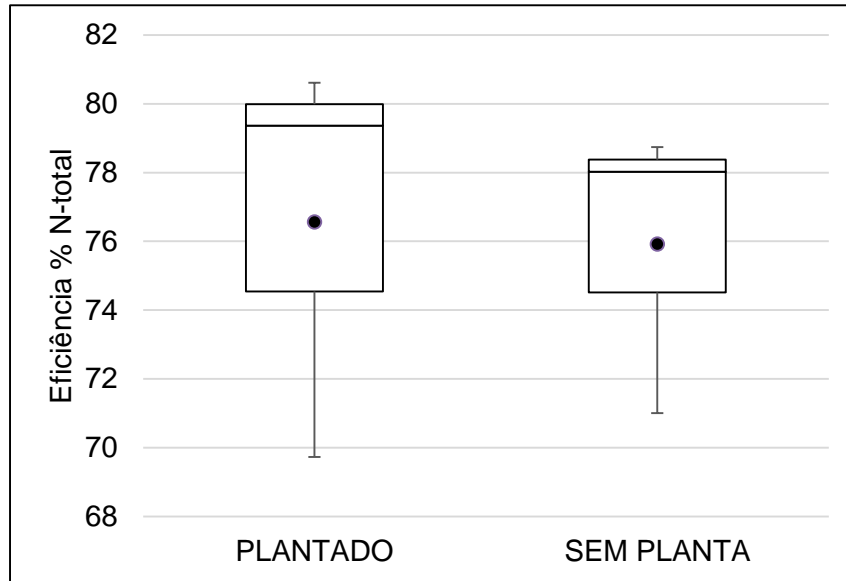
Silva (2007), Analisou sistemas preenchidos com solo arenoso, em tambores de 200 L, de fluxo vertical contínuo, plantados com *Oryza sativa* (arroz), para tratamento de esgoto doméstico e comparou com sistemas não vegetados (controle). Obteve resultados de 93,5% de eficiência na remoção de N-total para os sistemas plantados e 90,7% para os sistemas controle.



**Figura 26.** Concentração de N-total nas três bateladas realizadas do sistema plantado (a) e sem plantas (b).

O sistema Plantado obteve eficiência entre 69,7% na primeira batelada, a 80,6% na terceira batelada. O leito sem cultivo alcançou eficiência entre 71,0% na primeira batelada a 78,7% na segunda batelada, obtendo rendimento médio na remoção de N-total de 75,9% entre as três bateladas analisadas (Figura 27).

Vich *et al.* (2013) avaliaram a eficiência da *Heliconia psittacorum* em dois *Wetland* construídos em escala de bancada, de fluxo horizontal subsuperficial, operados em série, comparando com duas unidades controle também em série de 10,7 L. O efluente analisado foi lixiviado de aterro sanitário. A eficiência na remoção de nitrogênio total não ultrapassou 30% tanto nos sistemas plantados como nos controles. Os autores atribuíram o baixo resultado à falta de ambiente anóxico nos ambientes dos sistemas.



**Figura 27.** Eficiência na remoção de N-total dos sistemas plantado e sem plantas. O ponto no meio do retângulo indica o valor médio e a reta, a mediana. As duas semi retas nas extremidades dos retângulos mostram as eficiências mínimas e máximas das três bateladas.

### 5.2.10 Fósforo

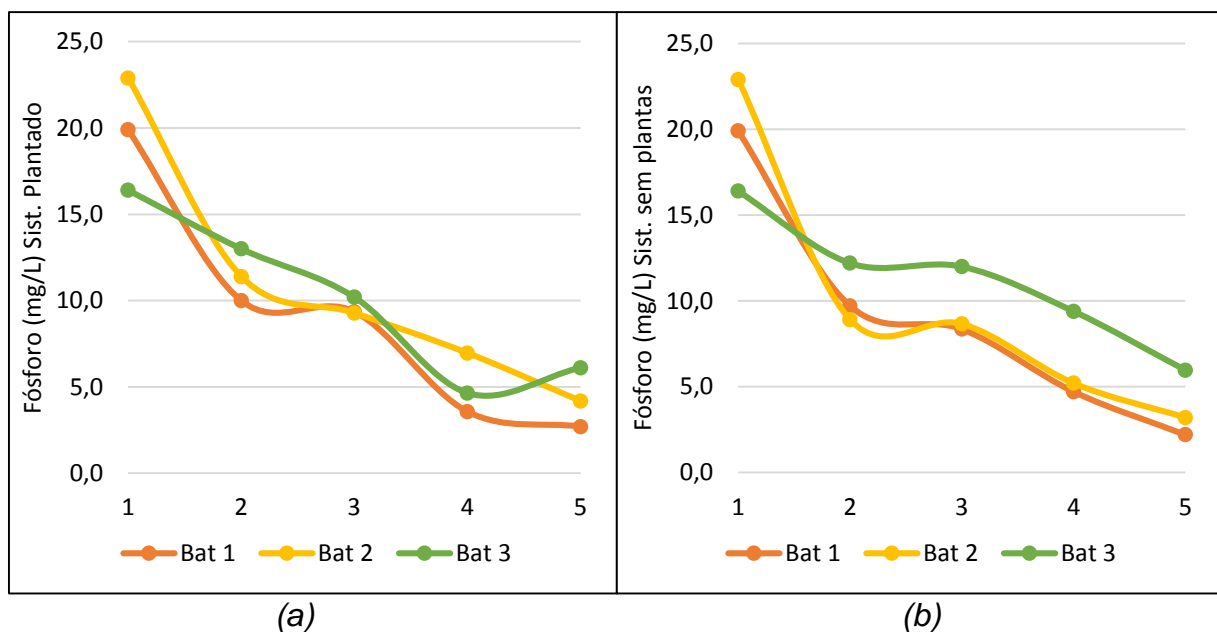
Para a concentração de Fósforo, os resultados encontrados variaram de 2,7 a 10,0 mg/L na primeira batelada, 4,2 a 11,4 mg/L na segunda batelada e 4,6 a 13 mg/L na terceira batelada do sistema com plantas. No sistema sem plantas, a concentração de Fósforo variou de 2,2 a 9,7 mg/L na primeira batelada, 3,2 a 8,9 mg/L na segunda batelada e 5,9 a 12,2 mg/L na terceira batelada. Os resultados referentes ao Fósforo estão apresentados na Figura 28.

Na resolução CONAMA 430/05 é estabelecido, como padrão de qualidade, o limite de 0,03 mg/L para lançamento de fosforo total, em corpos hídricos classe 2.

Tanto o *Wetland* plantado quanto o sem plantas foram considerados satisfatórios na remoção de Fósforo. O sistema cultivado com *Zantedeschia aethiopica*, obteve rendimento que variou entre 62,7 a 86,4%, média de 76,9% enquanto o sistema não cultivado alcançou eficiência ligeiramente acima, que variou entre 63,6 a 88,9%, média de 79,5% (Figura 29). O melhor resultado ocorreu nas primeiras 4 hs, nos dois sistemas, revelando comunidade bacteriana com boa adaptação e eficiência. A menor concentração de fósforo, ocorreu na primeira

batelada para os dois sistemas, com 2,2 mg/L no leito cultivado e 2,2mg/L no leito sem plantas após 48hs do início do processo.

Ferreira e Saron (2013) obtiveram redução de até 90,5% (0,9mg/L) para fósforo 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, e plantados com *Eleocharis parvula*. O sistema foi operado por batelada com tempo de detenção hidráulica de 7 dias, analisando efluente doméstico precedido de reator UASB.



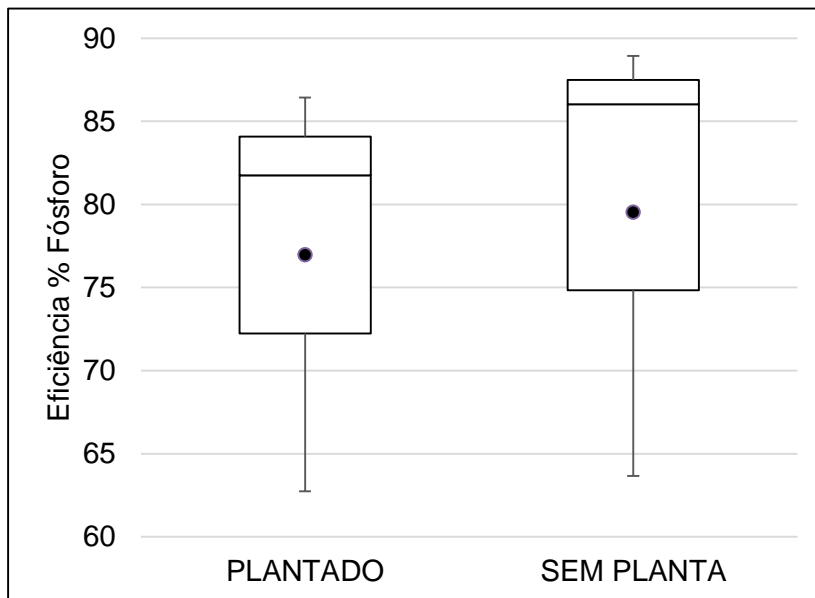
**Figura 28.** Concentração de Fósforo nas três bateladas analisadas do sistema plantado (a) e sem plantas (b).

Silveira e Arsego (2014), analisaram o efluente de uma escola na zona rural de Campo Mourão em um sistema *Wetland*, plantado com *Zantedeschia aethiopica*, precedido de tanque séptico e obtiveram rendimento de 20% na remoção de fósforo, atingindo concentração de 0,93 mg/L.

Pagliarini Junior *et al.* (2011) obtiveram eficiência média de 85% na remoção de fósforo em *Wetland* de fluxo vertical, com 4m<sup>2</sup>, recheado com brita n°1 e areia grossa, plantada com *Cymbopogon nardus* e *Canna indica*, tratando esgoto doméstico em uma pequena propriedade rural.

Campos *et al.* (2013), avaliaram *Wetland* composto por dois sistemas de fluxo subsuperficial tratando esgoto sanitário, preenchidos com brita n°1, um plantado

*Canna indica* e o outro com *Chrysopogon zizanoides*. O primeiro obteve 54% de rendimento na remoção de fósforo total e o segundo, 61%.



**Figura 29.** Eficiência (%) na remoção de fósforo para os sistemas plantados e sem plantas nas três bateladas realizadas. O ponto no meio do retângulo indica o valor médio e a reta, a mediana. As duas semi retas nas extremidades dos retângulos mostram as eficiências mínimas e máximas das três bateladas.

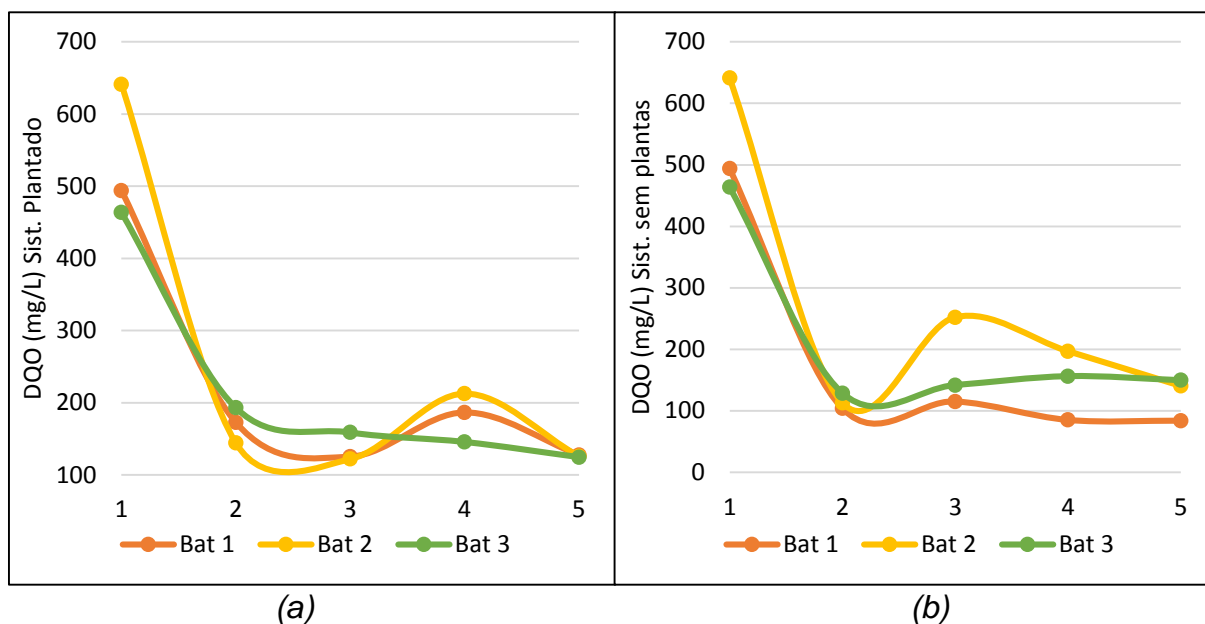
### 5.2.11 DQO

Os valores da DQO para o sistema plantado apresentou variação de 127,7 a 172,7 mg/L na primeira batelada, 122,0 a 212,8 mg/L na segunda batelada e 124,7 a 193,1 mg/L na terceira batelada. No sistema sem plantas, os valores para DQO variaram entre 84,0 a 115,2 mg/L na primeira batelada, 112,9 a 252,2 mg/L na segunda batelada e 128,7 a 156,3 mg/L na terceira batelada como é observado no gráfico da Figura 30.

Na primeira batelada, o sistema sem plantas obteve melhor eficiência com 83,0% contra 74,1% do sistema plantado. Nas segunda e terceira bateladas, o sistema plantado demonstrou ser mais eficiente que o sem plantas com 70,7% contra 67,4% e 73,1 contra 67,7% respectivamente, conforme o gráfico da Figura 31.

Analisando três estações de tratamento por zona de raízes, (ETEZR), de fluxo vertical, em comunidades rurais, Pagliarini Junior *et al.* (2011), obtiveram eficiência acima de 83,7% na redução de DQO.

Em sistema *Wetland* plantado com *Zantedeschia aethiopica*, Silveira e Arsego (2014) analisaram efluente doméstico e encontraram eficiência média de 63,3% na remoção de DQO.

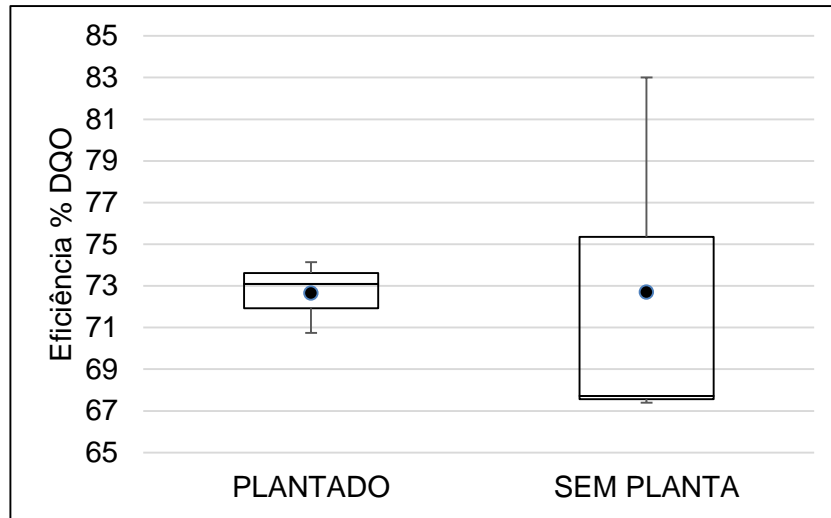


**Figura 30.** Resultado da DQO nas três bateladas do sistema plantado (a) e sem plantas (b).

Comparando *Wetland* de fluxo vertical com sistema livre e afogado, Andrade (2012) obteve eficiência média na remoção de DQO de 95% para o fluxo afogado e 96% para fluxo livre analisando efluente sintético.

Andrade e Pinto (2013) obtiveram 89% de eficiência para remoção de DQO em *Wetland* de fluxo vertical afogado plantado com *Costus spp.* (cana-do-bréjo) e *Heliconia spp.* (heliconia, caetê), analisando esgoto doméstico.

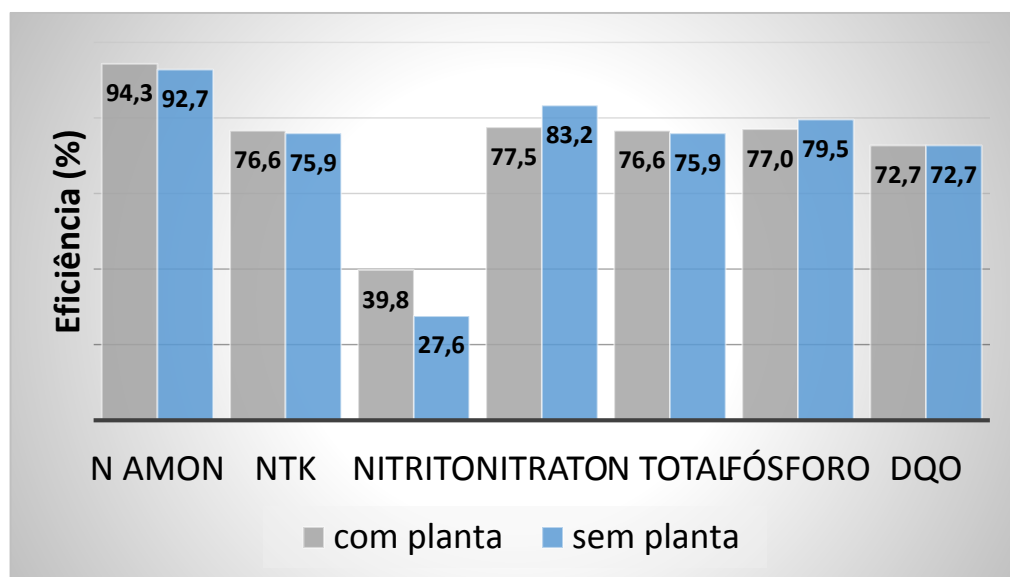
Mazzola *et al.* (2005) analisou efluente de reator anaeróbio, tratado em dois *Wetland* de fluxo vertical cultivados com *Typha sp.* e *Eleocharis sp.*, preenchidos com brita n°2 e um terceiro sistema apenas com brita n°2 para controle. O sistema foi operado por batelada com análises em 24, 48, 72 e 96 hs. A eficiência na remoção de DQO foi de apenas 50%. Os autores acreditam que a baixa eficiência pode estar relacionada a uma baixa remoção de sólidos dissolvidos.



**Figura 31.** Gráfico demonstrativo da eficiência da DQO dos sistemas plantados e sem plantas nas três bateladas realizadas. O ponto no meio do retângulo indica o valor médio e a reta, a mediana. As duas semi retas nas extremidades dos retângulos mostram as eficiências mínimas e máximas das três bateladas.

### 5.2.12 Resumo dos resultados

Os resultados da eficiência ficaram a média cima dos 70% para a maioria dos parâmetros analisados. Apenas os valores para Nitrito permaneceram abaixo dos 40% conforme gráfico da Figura 32.



**Figura 32.** Gráfico da média das eficiências nas três bateladas realizadas para o sistema plantado e sem plantas.



## CONCLUSÃO

A avaliação feita dos sistemas de tratamento para efluente sintético revelou que tanto o leito cultivado quanto sem cultivo obtiveram rendimentos próximos, demonstrando que são eficientes na remoção de nutrientes, carga orgânica e retenção de sólidos suspensos.

Os *Wetland* demonstraram ser bastante eficientes na remoção de turbidez. O sistema plantado obteve ligeira vantagem com 84,4%, contra 83,6% do sistema sem plantas.

Não foram encontradas diferenças significativas na eficiência de DQO, N-total, NTK, N-amoniaco e fósforo. Porém na remoção de nitrato, o sistema cultivado apresentou eficiência de 83,25% versus 77,54% sistema sem plantas. Na remoção de Nitrito o leito sem plantas foi mais eficiente com 39,76% contra 27,60% do sistema cultivado.

Com relação a utilização de *Zantedeschia aethiopica*, no sistema de leito cultivado, apresentou boa adaptação e desenvolvimento durante o período do estudo. Porém não apresentou diferença significativa na remoção de carga e nutrientes comparado ao sistema sem cultivo.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.

Sugere-se que estes sistemas sejam submetidos a análise com efluente real de fluxo contínuo para verificar a real eficiência da macrófitas utilizada.

O uso de outros tipos de recheios, podendo ser combinados promoveria uma melhor avaliação da eficiência dos sistemas.

Com maior tempo de operação, os sistemas poderiam trazer resultados após um período de maior amadurecimento.

## REFERÊNCIAS

ABRANTES, Lorena L. M. **Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos utilizando *Typha angustifolia* e *Phragmites australis***. Dissertação (Mestre em Engenharia do Meio Ambiente). Programa de Pós-Graduação *Scripto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

ANDRADE, Helisson H. B. de. **Avaliação do desempenho de sistemas de zona de raízes (*Wetlandd construídas*) em escala piloto aplicados ao tratamento de efluente sintético**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

ANDRADE, Helisson H. B de; PINTO, Franklin M.; **Zona de Raízes como Alternativa Tecnológica para Adequação de Esgotos Domésticos em Comunidade Rural de Morretes-Pr**. In: 1º Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação de *Wetland* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, 2013, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, p. 17.

ARAUJO, Ramyro B.; NETO, Jose W. da S.; CATTONY, Eduardo B. M.; **Avaliação de Leitões Cultivados com Macrófitas no Pós Tratamento de Vinhaça Oriunda de Reator Anaeróbico**. In: 1º Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação de *Wetland* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, 2013, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, p. 26.

BELMONT, Marco A.; METCALF, Chris D. **Feasibility of using ornamental plants (*Zantedeschia aethiopica*) in subsurface flow treatment wetlands to remove nitrogen, chemical oxygen demand and nonylphenol ethoxylate surfactants-a laboratory-scale study**. *Ecological Engineering*, p 233 – 247. 2003.

CAMPOS, Julyenne M.; GREGORIO, Thais C. di; TEIXEIRA FILHO, José; **Comparação entre duas unidades antigas de leitões cultivados (“wetlands” construídos) com diferentes macrófitas na retenção de fósforo total**. In: 1º Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação de *Wetland* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, 2013, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, p. 42.

CHAGAS, Renata C.; MATOS Antonio T. de; CECON, Paulo R.; MONACO, Paola A. V. Lo; FRANÇA, Luis G. F. **Cinética de remoção de matéria orgânica em sistemas alagados construídos cultivados com lírio amarelo**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*

DORNELAS, Felipe L. **Avaliação do desempenho de *Wetland* horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB**. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

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**.

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**. Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade. Vol. 8 n.1, 2013

HUSSAR, Gilberto J.; CONCEIÇÃO, Celso H. Z. da; PARADELA, André L.; BARIN, David J.; JONAS, Teles C.; SERRA, Waschington; GOMES, João P. R. **Uso de leitões cultivados de vazão subsuperficial na remoção de macronutrientes de efluentes de tanques de piscicultura**. Eng. Ambient., v.1, n.1, p 25-34. Espírito Santo do Pinhal, **2004**.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010, Característica da população e dos domicílios. **2010**.

LAUTENSCHLAGER, Sandro R. **Modelagem do desempenho de Wetland construídas**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Hidráulica e sanitária) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. **2001**.

MAZZOLA, Marcelo; ROSTON, Denis M.; VALENTIM Marcelus A. A. **Uso de leitões 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**.

MONTEIRO, Rodrigo C. de. **Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo “Wetland” para tratamento de água cinza visando o reuso não potável**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Sanitária e Hidráulica. São Paulo, **2009**.

MORAES, Débora C.; **Influência da sazonalidade e de plantas na redução da concentração de poluentes em sistema de alagados construídos de escoamento vertical, com alimentação em pulso, empregado para tratar esgoto doméstico bruto**. Dissertação (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, **2012**.

OLIVIERA, Danielle M. C. de; COSTANZI, Ricardo N.; **Wetlands construídos para o tratamento de água cinza**. In: V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Belo Horizonte, MG, 2014

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**.

PAGLIARINI JUNIOR Sérgio N.; PAROLIN Mauro; CRISPIN Jefferson de Q.; **Estações de tratamento de esgoto por zona de raízes, uma alternativa viável para as cidades?** Revista Geomae. Vol. 2 n.1, p.231-244, Campo Mourão, 2011.

PAOLI, Andre C. de.; SPERLING, Marcos V.; **Avaliação das Condições Hidrodinâmicas de *Wetland* de Escoamento Horizontal Subsuperficial (Unidades Plantada e Não Plantada)**. In: 1º Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação de *Wetland* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, **2013**, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, p. 64.

RIBEIRO, Aline da S.; JHONATAN B. da; SOUZA FI, Jose C. M. de; MAGALHÃES FI, Fernando J. C.; PAULO, Paula L. **Constructed *Wetland* Treating Greywater: Behavior of Nitrogen Compounds**. Panamerican Conference On Wetland Systems For Water Quality Improvement. 2012.

SEZERINO, Paulo H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (*constructed Wetland*) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima tropical**. Tese (Doutor em Engenharia Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, **2006**.

SIVEIRA Diandra F.; ARSEGO Nariete R.; **Avaliação da eficiência do tratamento de esgoto por estação de zonas de raízes**. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2014.

SUNTTI, C.; Trein, C. M.; Ribeiro, E. F.; Scaratti, D.; Sezerino. P. H.; **Sistemas Híbridos de Filtros Plantados – Fluxo Vertical Seguido de Fluxo Horizontal para Pós-Tratamento de Esgoto Doméstico de um Centro de Treinamento**. In: 1º Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação de *Wetland* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, **2013**, Florianópolis. Anais...Florianópolis: UFSC, p. 235