

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



TRABALHO DE GRADUAÇÃO II EM ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROJETO

**EFICIÊNCIA DO SISTEMA WETLANDS EM TRATAMENTO DE EFLUENTE DE  
LATICÍNIO – REATOR ZONA DE RAÍZES**

INGRID KELLEN ALVES DA CUNHA

ERECHIM  
2016

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



EFICIÊNCIA DO SISTEMA WETLANDS EM TRATAMENTO DE EFLUENTE DE  
LATICÍNIO – REATOR ZONA DE RAÍZES

Ingrid Kellen Alves da Cunha

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim, como requisito para a aprovação na disciplina de Trabalho de Graduação II em Engenharia Agrícola.

ERECHIM  
2016

**INGRID KELLEN ALVES DA CUNHA**

**EFICIÊNCIA DO SISTEMA WETLANDS EM TRATAMENTO DE EFLUENTE DE  
LATICÍNIO – REATOR ZONA DE RAÍZES**

Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Msc. Suelen Cristina Vanzetto

Banca examinadora:

---

Prof. M.Sc. Sérgio Henrique Moséle  
Engenheiro Agrônomo  
URI - Erechim

---

Esp. Guilherme Vanzetto  
Engenheiro Ambiental  
Autônomo

---

Prof<sup>ª</sup>. M.Sc. Suelen Cristina Vanzetto  
Engenheira Ambiental  
URI - Erechim

ERECHIM  
2016

## DEDICATÓRIA

À minha querida família, meu padrasto, minha mãe e meus dois irmãos pelo incentivo, apoio e estarem presentes do início ao fim da minha graduação.

*“Gosto daquilo que me desafia. O fácil nunca me interessou,  
já o obviamente impossível sempre me atraiu - e muito.”*

**- Clarice Lispector**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus, por ter me conduzido todos os anos da minha vida para que eu pudesse chegar até aqui;

À minha orientadora Suelen Cristina Vanzetto, pelo apoio e paciência na realização deste trabalho;

Ao laticínio, por ceder o efluente e aos seus funcionários que me ajudaram nas incessantes coletas;

Aos bolsistas que colaboraram na construção do sistema e plantio das macrófitas;

Aos meus colegas Diego e Rafael, pela ajuda na alimentação do sistema, coletas das amostras e auxílio no CAD;

À Coordenação das Ciências Agrárias e à Instituição URI por financiar e ceder o espaço para a pesquisa;

## RESUMO

O setor da indústria alimentícia, em específico os laticínios, representam grande preocupação no Brasil, seja pelo excesso na demanda d'água, ou por todo efluente resultante dos diversos processos envolvidos. Em decorrência desses fatores, a indústria de laticínio contribui significativamente em termos de poluição hídrica, dispondo de um alto teor de matéria orgânica presente no efluente gerado. A legislação determina limites máximos de poluentes antes de ser lançado em corpo hídrico sendo necessário preceder de um tratamento. Nesse contexto, com a legislação cada vez mais rígida, o seu não cumprimento acarreta prejuízos de alto custo para o setor industrial, surge a necessidade de aprimoramento e elaboração de novas técnicas no tratamento de efluentes de laticínio. Os sistemas *wetlands*, também conhecidos como alagados construídos, é considerado um sistema novo para tratamento de efluentes industriais, possuindo o intuito de reduzir a poluição e a carga orgânica de águas residuárias. Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho e eficiência na redução de matéria orgânica utilizando um sistema *wetlands* por zona de raízes com fluxo vertical no tratamento de efluente de laticínio. Foram analisados os quesitos quanto a DBO, DQO, pH e Nitrogênio Amoniacal contidos no efluente de pré e pós-tratamento. Os resultados obtidos se mostraram bastante significativos, apontando o sistema *wetlands* como possível alternativa de tratamento de efluente de laticínio. Dentre as vantagens, o sistema de alagados construídos se mostrou um método de tratamento simples, barato, considerado de fácil aplicação e implantação, podendo ser facilmente integrado à paisagem devido o sistema ser composto por plantas de folhagem ornamental atrativa.

Palavras-chave: Indústria de laticínio, efluente, sistema *wetlands*.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Idealização da construção do sistema <i>wetlands</i> .....	19
<b>Figura 2.</b> Meio Filtrante do sistema <i>wetlands</i> .....	20
<b>Figura 3.</b> Sistema <i>wetlands</i> em fase inicial de adaptação das plantas.....	21
<b>Figura 4.</b> Sistema <i>wetlands</i> em plena fase tratamento.....	22
<b>Figura 5.</b> Concetração de DBO da água residuária da Entrada (Afluente) e Saída (Efluente) do sistema. ....	24
<b>Figura 6.</b> Concetração de DQO da água residuária da Entrada (Afluente) e Saída (Efluente) do sistema. ....	26

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Valores de Eficiência de Remoção de DBO.....	23
<b>Tabela 2.</b> Valores de Eficiência de Remoção de DQO.....	25
<b>Tabela 3.</b> Medição do pH do Efluente, da Entrada e Saída do sistema.....	27
<b>Tabela 4.</b> Remoção de Nitrogênio Amoniacal do Efluente, da Entrada e Saída do sistema.....	28

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1 OBJETIVOS .....	12
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS EFLUENTES INDUSTRIAIS NO BRASIL.....	13
2.2 CACTERÍSTICAS DO EFLUENTE GERADO EM LATICÍNIO.....	14
2.4 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO FACULTATIVAS .....	14
2.5 SISTEMA <i>WETLANDS</i> .....	15
2.6 APLICAÇÃO DO SISTEMA <i>WETLANDS</i> NO TRATAMENTO PARA OS DIFERENTES TIPOS DE EFLUENTE.....	18
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	18
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	23
4.1 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO).....	23
4.2 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) .....	25
4.3 pH DO EFLUENTE.....	26
4.4 NITROGÊNIO AMONÍACAL.....	27
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	29
5.1 RECOMENDAÇÕES.....	29
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	31

## 1. INTRODUÇÃO

A água é o bem mais abundante do planeta Terra, sendo o recurso mais utilizado em todas as civilizações em todos os aspectos, do meio físico, biótico e socioeconômico. Conhecido já o seu potencial e sua relevância para o meio ambiente, a água tem profunda importância no desenvolvimento de diversas atividades econômicas, sendo aplicada na agricultura, na indústria e no abastecimento à população. Sabe-se que a água é um recurso escasso, e sua qualidade já não é a mesma desde que o homem começou a lançar seus dejetos poluidores em cursos d'água.

Os problemas de escassez da água vivenciados na atualidade conduzem a necessidade de desenvolver estratégias que possibilitem aprimorar o estágio de desenvolvimento em que nos encontramos atualmente. Dentre os diversos segmentos da sociedade, o setor industrial é um dos que desperta grande preocupação com relação ao problema de escassez de água, seja pela demanda excessiva ou pela poluição resultante do lançamento de efluentes nos corpos d'água (MIERZWA, 2002).

No Brasil, as indústrias de laticínio constituem parcela importante da indústria alimentícia e sua contribuição em termos de poluição dos cursos d'água é expressiva. Dessa forma, percebe-se a relevância dos laticínios no setor industrial e a necessidade de se dar um destino adequado aos efluentes oriundos desta atividade, bem como o tratamento prévio de seus resíduos líquidos, tornando-se necessário e obrigatório a redução do volume de efluentes gerados por eles, (SARAIWA, 2008).

Os efluentes gerados nas indústrias de laticínios, em termos de poluição hídrica, têm alto teor de matéria orgânica presente na sua composição, são oriundos das diversas etapas do processamento industrial tais como: lavagens de pisos, tanques e equipamentos que carregam resíduos de leite, assim como os produtos de limpeza, resultando em uma elevada carga poluidora. As lagoas de estabilização são tradicionalmente usadas no tratamento deste tipo de efluente, pois além do baixo custo de implantação e manutenção, mostram-se eficazes na remoção da carga poluidora (MAGNO, 2010).

Outro sistema de remoção de carga poluidora pouco conhecido é chamado de “*Wetlands*”, que significa “Alagados” ou também conhecido regionalmente como “banhados construídos”. Segundo Stiegemeier, (2014) o sistema *wetlands* possui o intuito de agir e desvincular a

poluição hídrica buscando novos métodos de tratar os efluentes, sendo mais eficazes para correção de problemas ambientais gerados pelo mesmo.

Dentro do contexto empregado, pouco se tem estudado a respeito de elaboração de novas técnicas para aprimorar ou tratar efluentes oriundos de indústrias de Laticínio, principalmente no Brasil, visando que estas possuem grande volume de efluentes gerados todos os dias pelo alto consumo de água. Embora esse efluente passe por métodos convencionais considerados eficientes no seu tratamento, é preciso salientar a necessidade de elaboração de outras alternativas no tratamento de efluentes industriais, que possam obter um melhor desempenho na redução de poluentes antes de serem lançados nos cursos d'água.

## 1.1 OBJETIVOS

Avaliar o desempenho e eficiência de remoção de matéria orgânica a partir de um sistema *wetlands* por zona de raízes com fluxo vertical no tratamento de efluente de laticínio substituindo o processo convencional por lagoas.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Análise de referencial teórico do processo de tratamento de efluente gerado em indústria de laticínio;
- Instalação do sistema em escala de bancada em laboratório;
- Instalação e adaptação das plantas ao sistema de tratamento;
- Avaliação do funcionamento do sistema;
- Coleta de amostra do efluente (bruto e tratado) para encaminhamento de análises físico-químicas com DBO, DQO, Nitrogênio Amoniacal, pH;

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DOS EFLUENTES INDUSTRIAIS NO BRASIL

A abundância de água que caracteriza o Brasil, em relação a outros países, é um dos fatores que frequentemente leva a sociedade a ignorar seu valor econômico. Hoje a água é objeto de cobiça que se acirra, na mesma proporção em que se aumenta a escassez e os interesses conflitantes sobre os usos possíveis (COSTA, 2010).

No Brasil, os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais críticos e frequentes, principalmente devido ao crescimento populacional e ao aumento da atividade industrial. Como consequência, os problemas advindos da ação antrópica têm atingido dimensões catastróficas, podendo ser observadas através de alterações na qualidade do solo, ar e água (KUNZ et. al., 2002).

Algumas indústrias ainda lançam seus efluentes nos rios, estuários ou no solo, ou então são descarregados na rede de esgoto, quando permitidos, e em geral são precedidos de um pré-tratamento no seu interior. A busca de novas tecnologias aplicáveis ao tratamento de efluentes hídricos tem se tornado assunto de grande interesse industrial, pois os órgãos de controle ambiental tornam-se mais atuantes à medida que a sociedade exige mais qualidade de vida (COSTA, 2004).

A resolução 430 de 2011 do CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE) estabelece padrões mais rígidos para lançamento de efluentes industriais e a tendência é de haver um maior controle sobre esses poluentes. Com a legislação ambiental cada dia mais rígida, os prejuízos advindos do seu não cumprimento representam custo muito alto para o setor industrial. Para reduzir os efeitos poluentes do setor industrial, as técnicas de tratamento têm sido aperfeiçoadas, ao mesmo tempo em que as atitudes de prevenção de poluição são implementadas para minimizar a geração dos resíduos (SARAIVA, 2008).

## 2.2 CACTERÍSTICAS DO EFLUENTE GERADO EM LATICÍNIO

De acordo com a USDA (Departamento da Agricultura dos Estados Unidos) a atividade leiteira tem se tornado de grande importância na economia brasileira, se desconsiderarmos a União Européia, o Brasil é hoje o quarto maior produtor mundial de leite. A produção em 2014 corresponde a 33,3 bilhões de litros, crescendo 3,07% a produção comparado ao ano anterior.

O volume de efluente gerado em laticínio pode variar de 1 a 5 vezes o volume de leite processado, dependendo do produto final e do nível tecnológico da indústria de laticínio e, com base na carga poluente que essas águas possuem, pode-se inferir que grandes impactos ambientais podem ser gerados se elas não forem adequadamente tratadas e dispostas no ambiente (MATOS, et al. 2010).

As indústrias de Laticínio possuem alta quantidade de efluentes gerados devido ao elevado consumo de água para os vários processos dentro da indústria. O efluente gerado em um indústria de laticínio varia de acordo com as condições operacionais e o tipo de produto final gerado por ela. Segundo Holmes et. al., (1992), o leite possui alto índice de DBO devido ao seu alto teor de gordura e açúcar.

A preocupação com o meio ambiente tem refletido no aumento da cadeia produtiva, e como consequência na destinação adequada de efluentes e resíduos, que devem buscar a garantia do equilíbrio ambiental a fim de proteger o meio ambiente de possíveis impactos ambientais gerados pelos laticínios (TEIXEIRA, 2011).

O volume total dos efluentes líquidos nas indústrias de laticínios está relacionado aos diversos procedimentos e operações realizadas. As atividades industriais que consomem uma grande quantidade de água portanto, geram um grande volume de efluente (TEIXEIRA, 2011).

## 2.4 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO FACULTATIVAS

As lagoas de estabilização são grandes reservatórios rasos, delimitados por diques ou por diques e taludes de corte. Nelas ocorrem processos naturais sob condições parcialmente controladas, havendo, em consequência, uma redução da matéria orgânica inicial (MAGNO, 2010).

Os processos que ocorrem no sistema de lagoas de estabilização apresentam uma complexidade intrínseca resultante do acoplamento dos processos de produção de decomposição de matéria orgânica pela microbiota residente, além da influência das alterações climáticas sobre o metabolismo do sistema. Diante disso, fica claro que a otimização de operações de um sistema de lagoas de estabilização deve levar em conta, além da configuração, geometria e parâmetros hidrodinâmicos, geralmente considerados na fase de projeto como determinantes para a eficiência de remoção desejada, o conhecimento das respostas das lagoas às variações climáticas, incluindo as relações ecológicas (MIWA, 2007).

As Lagoas de Estabilização são muito eficientes, desde que o projeto seja tecnicamente adequado. Podem ser classificadas em anaeróbias, facultativas e de manutenção, esta última quando empregada como uma unidade complementar de tratamento, podendo ser muito efetiva na remoção de patógenos, porém, em decorrência do crescimento algal associado (fenômeno intrínseco a esse tipo de sistema de tratamento, principalmente em lagoas de maturação), a remoção de sólidos em suspensão é um parâmetro difícil de ser controlado quando não se prevê um pós-tratamento destes efluentes (ORMONDE, 2012).

## 2.5 SISTEMA WETLANDS

Entre as soluções mais atrativas encontradas atualmente, evidenciam-se aquelas em que no tratamento simulam os fenômenos que ocorrem espontaneamente na natureza, como os verificados nos brejos, em que espécies vegetais purificam as águas. O tratamento de efluentes pelo sistema de alagados construídos constitui uma opção reconhecida e recomendada, sendo efetivo na redução da matéria orgânica e na retenção ou eliminação de substâncias tóxicas que, de outra maneira, seriam lançadas no meio ambiente (UCKER *et. al.*, 2012).

O sistema zona de raízes consiste na utilização de plantas para o tratamento de águas residuais. A degradação das substâncias poluidoras presentes no esgoto ocorre através da simbiose solo e/ou substrato artificial e microrganismos. A função principal das plantas consiste em fornecer oxigênio ao solo/substrato através de rizomas e possibilitar o desenvolvimento de uma população densa de microrganismos, que finalmente são responsáveis pela remoção dos poluentes da água (MELO, 2013).

Os *wetlands* artificiais ou zonas de raízes são representações de áreas alagáveis naturais (banhados, várzeas), construídos para realizar a depuração de águas reiduídas, caracterizando-se em um mecanismo alternativo no tratamento de efluentes, pois utilizam processos naturais. Sua simplicidade na implantação, operação e manutenção, além da elevada eficiência de tratamento, torna esta tecnologia uma das mais promissoras em ampliação nos países desenvolvidos, e quando utilizada em regiões tropicais há acréscimo no seu desempenho devido ao clima favorável (COSTA, 2004).

Os *wetlands* naturais apresentam grande capacidade de alterar a qualidade das águas que por elas passam através da ação de diversos mecanismos físicos, químicos e biológicos. Por esta razão, os *wetlands* têm sido introduzidos de maneira artificial, como uma forma de tratamento de águas poluídas por diversas formas, sendo denominados *wetlands* contruídos. (LAUTENSCHLAGER, 2001).

O sistema *wetland* geralmente é construído com o propósito de pós-tratamento de efluente, destaca-se pela sua capacidade de remover carga poluidora, manter a conservação dos ecossistemas terrestres e aquáticos, reduzir o aquecimento global da terra, fixar o carbono do meio ambiente, mantendo o equilíbrio do CO<sub>2</sub>, além de criar e conservar biodiversidade (VITORINO, *et. al.*, 2010).

O módulo de zona de raízes, como assim também pode ser chamado, funciona como um filtro biológico instalado que na primeira camada filtrante prevalece a condição aeróbia, devido às raízes das macrófitas aquáticas e à difusão de O<sub>2</sub> atmosférico. As duas camadas seguintes atuam sob condições anaeróbias devido à depleção do O<sub>2</sub> dissolvido pela degradação biológica da matéria orgânica. O meio filtrante é composto por camadas de pedra brita e areia, além das raízes das plantas utilizadas (ANDRADE, 2002).

O sistema *wetlands* pode ser comparado a um complexo de bioma similar ao de banhados ou lugares alagados dado por suas características. Sendo assim, a escolha da espécie da planta a ser utilizada deve ser compatível com os recursos disponíveis que o ambiente pode lhes proporcionar.

Segundo Ormonde (2012), a escolha das macrófitas devem seguir critérios como: dar preferência as espécies nativas locais devido à facilidade de adaptação às condições climáticas; possuir uma rede de aerênquimas muito bem desenvolvidas para suprir a demanda de oxigênio pelas raízes; tolerância da espécie à lugares saturados de água ou esgoto; adaptabilidade ao clima local, alta taxa fotossintética; maior capacidade de oxigênio; possuir

capacidade de assimilação de poluentes; boa resistência à pragas e doenças e sistema radicular bem desenvolvido.

A seleção da espécie vegetal é juntamente com outras variáveis de dimensionamento, de fundamental importância para o sucesso do tratamento de águas residuárias em SAC (sistemas de alagados construídos). Além disso, dentre as funções das macrófitas aquáticas, estão a extração de nutrientes contidos no efluente; a transferência de oxigênio para o substrato; servir de suporte para o crescimento de biofilme de bactérias, além de melhoria na permeabilidade do substrato e na estética do ambiente (MATOS, et a. 2010).

Andrade (2012), aponta que as plantas do gênero *Canna* teriam seu desenvolvimento natural em áreas com inundação periódica ou perenes (com alagamento entre 50 e 100% do tempo), com profundidade máxima do líquido entre 0,05 e 0,25m, estas características apontam para um melhor desenvolvimento da espécie estudada nos sistemas de fluxo afogado.

A espécie utilizada no presente estudo é conhecida como *Canna indica*, beri ou bananeira-da-Índia, é uma planta heliófita rizomatosa perene, nativa da América tropical, com inúmeras hibridizações e melhoramentos genéticos, são indivíduos de tamanho entre 0,50 a 1,50m de altura, de folhagem ornamental, rajadas ou variegadas, possui inflorescências eretas com flores em vasta gama de cores, principalmente vermelhas, amarelas e róseas que formam-se durante todo o ano, multiplica-se por divisão de rizoma (ANDRADE, 2012).

Brix (2010), utilizando a espécie *Canna indica generalis* em *wetlands*, vertical de fluxo livre quanto e em fluxo horizontal no tratamento de esgoto sanitário em escala real, demonstrou um crescimento vigoroso da espécie sem indícios de diferença significativa entre os dois modelos de operação, com aplicações de uma vez ao dia do efluente com maior taxa de aplicação ( $174 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ) favorecendo a disponibilidade hídrica e nutricional das plantas não afetando o seu desenvolvimento.

## 2.6 APLICAÇÃO DO SISTEMA WETLANDS NO TRATAMENTO PARA OS DIFERENTES TIPOS DE EFLUENTE

Maier (2007), buscando um tratamento simples, não mecanizado, barato e de fácil construção e operação, com o intuito de melhorar a qualidade das águas superficiais utilizou o *wetlands* como forma de tratamento de esgoto em propriedades rurais. Os resultados obtidos das análises físico-químicas quanto a DBO e DQO alcançaram uma eficiência acima de 98%.

Matos *et. al.* (2010), utilizou o Sistema de Alagados Construídos (SAC) com escoamento superficial horizontal no tratamento secundário/terciário de água residuária de laticínio com 5 *wetlands* em sequência por onde o efluente passava, comparando-se a capacidade extratora de duas espécies de macrófitas: capim tifton e capim elefante; sendo que o capim tifton teve melhores resultados quanto a extração de nutrientes.

Matos *et. al.* (2010), avaliou a eficiência do sistema *wetlands* para remoção de poluentes em águas residuárias provenientes da suinocultura com monocultivo e multicultivo não consorciado, utilizando três espécies de plantas. Para as três espécies: Taboa, *Alternanthera* e Tifiton 85; foram alcançados resultados satisfatórios quanto a remoção, apresentando equivalência para as diferentes espécies quanto a eficiência do sistema.

### 3. METODOLOGIA

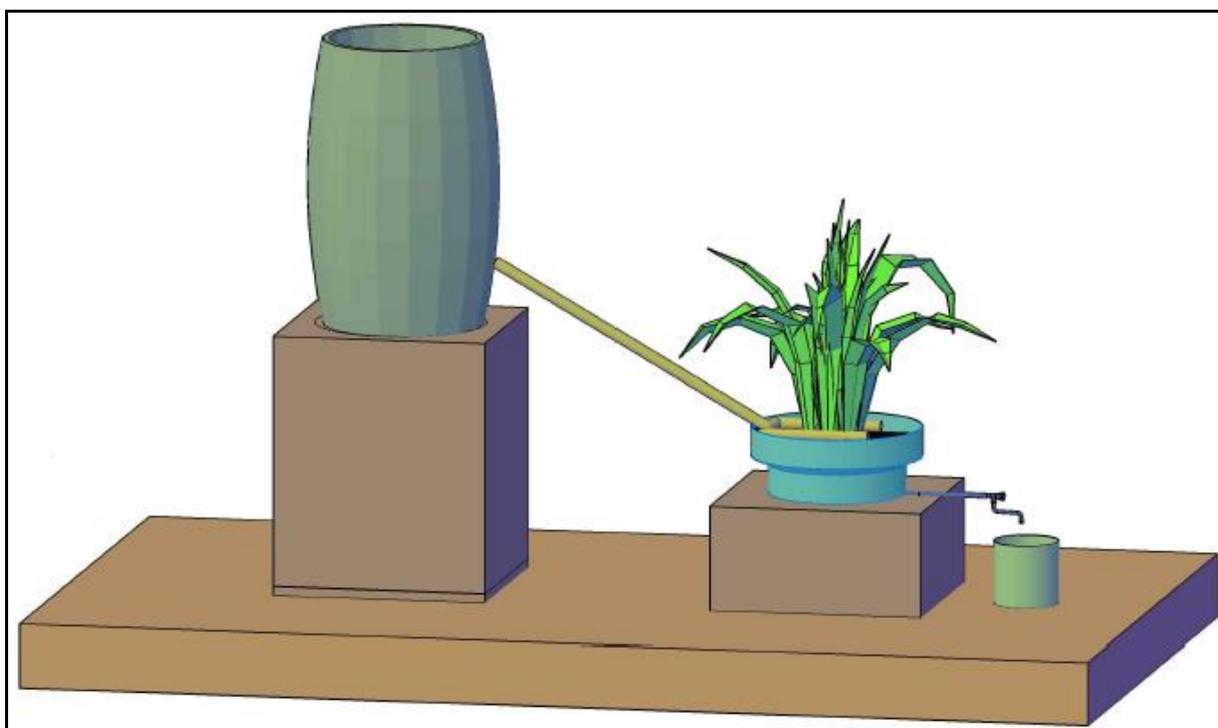
O tratamento de efluentes das indústrias de laticínios requer a instalação de projeto de tratamento, a solução técnica no tratamento do esgoto industrial deverá atender a legislação ambiental em vigor. A finalidade desse tratamento é reduzir a carga orgânica incluindo as águas utilizadas na higienização do empreendimento (DO LIVRAMENTO, 2009).

A indústria de laticínios gera resíduos sólidos, líquidos e emissões atmosféricas passíveis de impactar o meio ambiente. Independentemente do tamanho e potencial poluidor da indústria, a legislação ambiental exige que todas as empresas tratem e disponham de forma adequada seus resíduos. A forma mais racional e viável de fazer o controle ambiental é minimizar a geração dos resíduos pelo controle dos processos e buscar alternativas de

reciclagem e reuso para os resíduos gerados reduzindo ao máximo os custos com tratamento e disposição final (DA SILVA, 2011).

De modo geral, o efluente gerado no laticínio é proveniente de diversas atividades de higienização de tanques, silos, pisos, equipamentos, tubos e canalizações que acarretam resíduos de leite, detergentes e produtos químicos usados para limpeza, entre estes; soda cáustica (NAOH) e diferentes tipos de ácidos. Assim, o efluente a ser tratado no estudo, era procedente da caixa de gordura da indústria.

O estudo foi conduzido nas dependências da URI-ERECHIM, onde foi construído um sistema *wetlands* por zona de raízes com fluxo vertical em escala de bancada, conforme idealizado na Figura 1. O propósito do sistema é o tratamento do efluente gerado em laticínio.

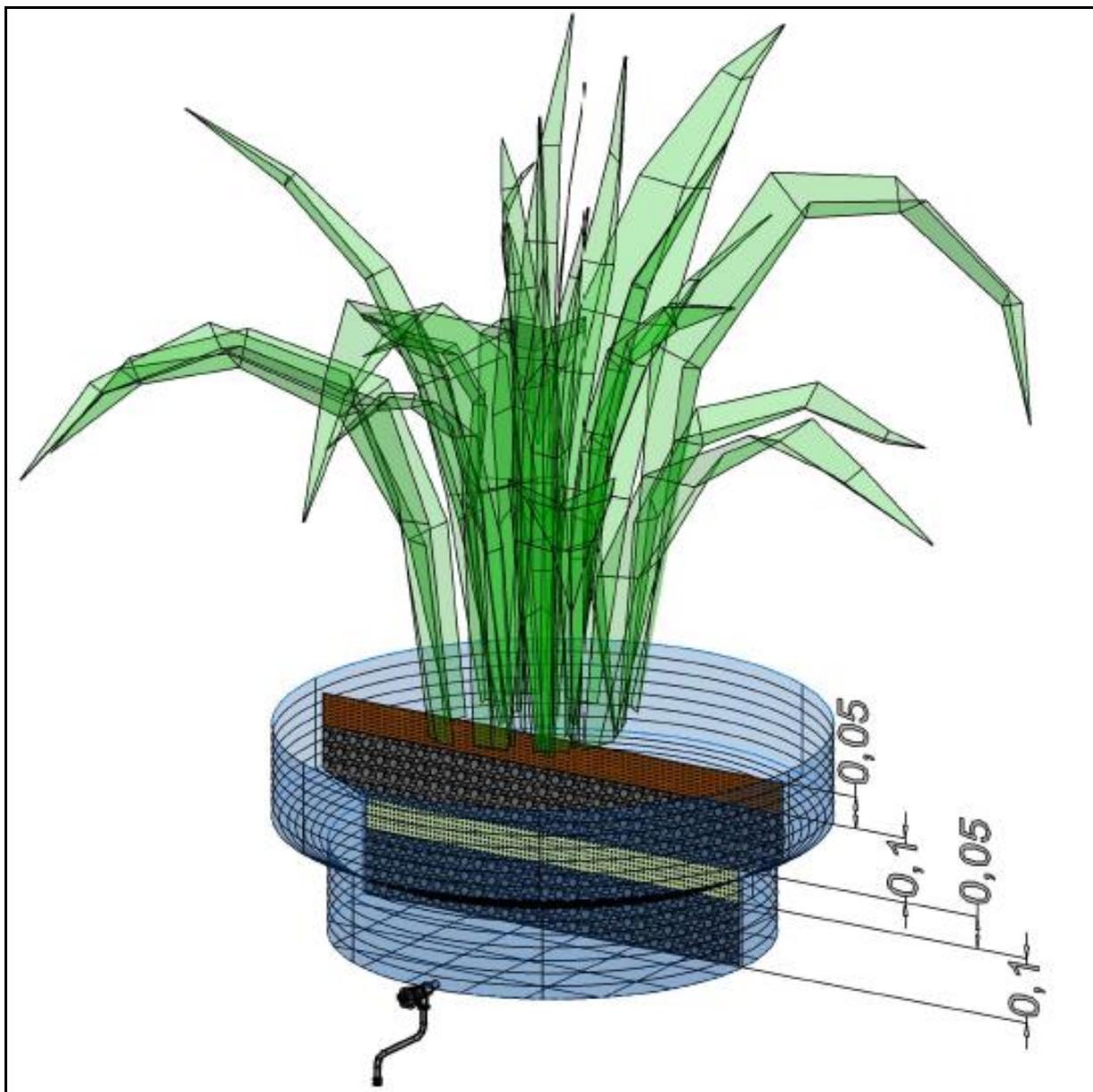


**Figura 1.** Idealização da construção do sistema *wetlands*.

Para construção do sistema *wetlands* foi utilizado uma caixa PCV de 100 litros com 32 cm de altura, onde foram colocados como material filtrante, 10 cm de pedra brita nº1 na primeira camada, em seguida foram adicionados 5 cm de areia a qual acomodou-se sobre a camada de brita, adicionando-se uma terceira camada de mais 10 cm de brita nº1.

Após encerrado o filtro, foi adicionado 5 cm de solo servindo de suporte para as mudas, figura 2, a espécie utilizada foi a *Canna indica generalis* da família das Podáceas, com

floração vermelha e amarela, típicas de territórios tropicais e facilmente encontrada no Brasil devido suas condições climáticas favoráveis.



**Figura 2.** Meio Filtrante do sistema wetlands.

A construção do sistema realizou-se na segunda quinzena de Janeiro/2016, nos quais inicialmente foram introduzidas 10 mudas da espécie *Canna indica generalis*. O período de adaptação das plantas foi de 30 dias onde o efluente era despejado 6 dias por semana, esse período foi de fundamental importância para aumento do tempo de retenção e bom funcionamento do sistema, (Figura 3).



**Figura 3.** Sistema *wetlands* em fase inicial de adaptação das plantas.

Ao decorrer do experimento, na fase inicial de adaptação das plantas no sistema, alguns indivíduos morreram e precisaram ser substituídos, sendo que não houve perdas por doenças ou ataque de pragas. Após o período de adaptação, as plantas se desenvolveram rapidamente e se multiplicaram significativamente devido à disposição natural de conciliação com ambiente.

A alimentação do sistema foi realizada em batelada despejando-se aproximadamente 10 litros do resíduo líquido em um galão com capacidade de 200 litros havendo uma canalização que conduzia o efluente até o sistema com as plantas (caixa de PVC), o resíduo líquido era distribuído proporcionalmente em todas as direções. Posteriormente, o efluente descia por gravidade em fluxo vertical no meio filtrante passando pelas bactérias facultativas presentes nas raízes das plantas, solo de suporte, e ainda pelas camadas intercaladas de brita e areia até se direcionar à saída do sistema (torneira), totalizando um tempo de detenção do efluente no sistema de 3 horas.

O efluente foi despejado com uma frequência de cinco dias semanais para manter o funcionamento do sistema e das plantas. As análises foram feitas a partir de amostras do efluente da entrada do sistema, e do efluente pós-tratamento para a avaliação da eficiência do sistema de tratamento.



**Figura 4.** Sistema *Wetlands* em plena fase tratamento.

Os efluentes de entrada e saída do sistema *wetlands* foram encaminhados para análises de laboratório onde foi particularmente analisado a DBO (matéria orgânica biodegradável), DQO (matéria orgânica não biodegradável), o pH e o Nitrogênio Amoniacal.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os fatores mais consideráveis de poluição hídrica, a matéria orgânica representa o principal poluente de águas residuárias, sendo qualificadas pelos parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio, junto a outros. Com base nos resultados obtidos nas análises físico-químicas, pôde-se comparar com os padrões da legislação ambiental vigentes.

### 4.1 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)

A DBO mede a quantidade de oxigênio necessária para que os microorganismos biodegradem a matéria orgânica, em corpos receptores a matéria orgânica ao ser biodegradada, causa um decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido (OD) no meio hídrico, deteriorando a qualidade ou inviabilizando a vida aquática (DO LIVRAMENTO, 2009).

Maier (2007), afirma que a DBO afeta diretamente o nível de oxigênio dissolvido na água: quanto maior for, mais rapidamente o oxigênio desaparecerá do sistema, significando que uma menor quantidade de oxigênio está disponível para os organismos aquáticos. Em sistemas aquáticos não poluídos os valores de DBO chegam até 2,0 mg/L, enquanto aqueles sujeitos a descargas de efluente podem apresentar valores superiores a 10,0 mg/L.

Na tabela 1, são apresentados os valores de DBO contidos na água residual de entrada e saída do reator, com seu respectivo percentual de remoção. Os resultados de mg/L são definidos como mg de O<sub>2</sub> (oxigênio) consumido por litro de amostra.

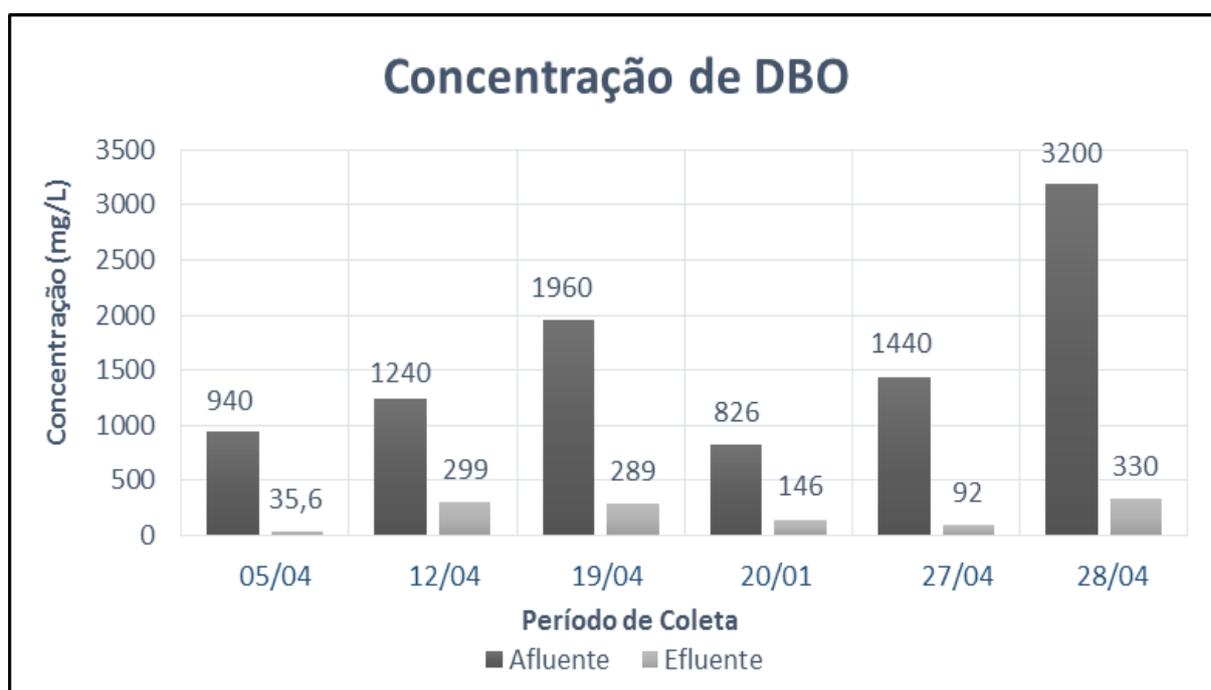
**Tabela 1.** Valores de Eficiência de Remoção de DBO

Período de Coleta	Entrada do Sistema <i>Wetlands</i> (mg/L)	Saída do Sistema <i>Wetlands</i> (mg/L)	Remoção (%)
05/abril	940	35,6	96,21
07/abril	5565	237	95,74
12/abril	1240	299	75,89
19/abril	1960	289	85,26
20/abril	826	146	82,32
27/abril	1440	92	93,61
28/abril	3200	330	89,69
<b>Média</b>	<b>2167,29</b>	<b>204,09</b>	<b>90,58</b>

A partir dos dados obtidos nas análises físico-químicas, os valores de BDO atingiram uma média de 90% de eficiência, pressupõe que esse desempenho esteja associado a vasta biomassa de raízes formada pelas plantas da espécie *Canna Indica*, que ajudam a degradar a matéria orgânica, e portanto, diminuem a concentração de DBO na passagem do efluente pelo sistema radicular.

Perante a Resolução 128 do CONSEMA/2006, é previsto para Efluentes líquidos de fontes poluidoras, exceto efluentes líquidos domésticos, DBOs entre 180-40mg/L para as seguintes vazões (Q):  $Q < 20\text{m}^3/\text{dia}$  e  $Q \geq 10000\text{m}^3/\text{dia}$ .

A BDO é um fator importante para medir a poluição das águas residuárias, ante a Resolução 430 do CONAMA/2011, é estabelecido que a remoção mínima de DBO deve ser 60% o limite, sendo assim, o tratamento se mostra eficaz com média de 90%. Porém, a legislação ainda determina que a DBO deve conter até 10 mg/L antes de se lançar o efluente ao corpo hídrico. Na figura 5, os valores de remoção podem ser entendidos com mais clareza.



**Figura 5.** Concentração de DBO da água residuária da Entrada (Afluente) e Saída (Efluente) do sistema.

Embora o sistema não tenha atingido alguns parâmetros dentro da Legislação, os valores de remoção da DBO do afluente destacam-se pela considerável redução de concentração. Dessa forma, a remoção apresentada é significativa devido ao alto teor poluidor característico de água residuária de laticínio.

## 4.2 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

A DQO é a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria oxidável através de um agente químico. Este parâmetro nos permite conhecer a quantidade total de oxigênio que pode ser consumido pelos microorganismos (MAIER, 2007).

Segundo Ormonde (2012), a camada superior do meio filtrante do sistema possui organismos facultativos que vivem em associação no suporte formado pelas raízes, onde o princípio básico é a composição de um biofilme incorporado nessa primeira camada, onde esses micro-organismos aeróbios e anaeróbios degradam matéria orgânica e os nutrientes contidos, auxiliando assim no tratamento do efluente.

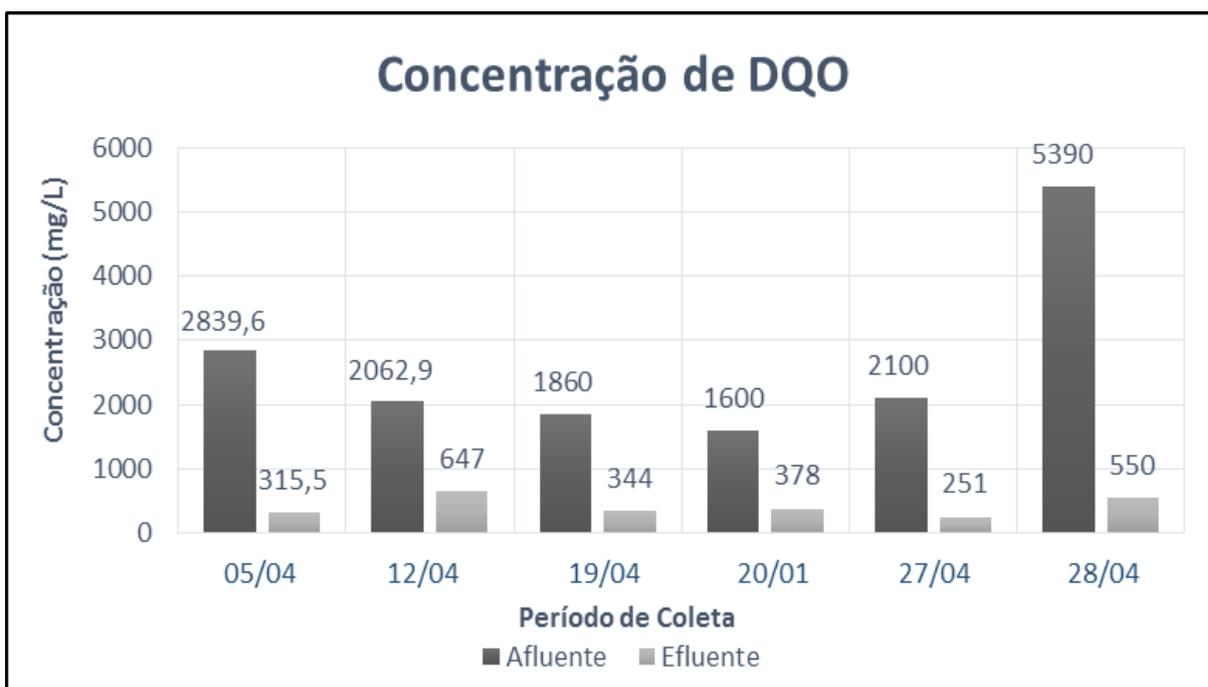
Na tabela 2, estão expostos os valores quanto a DQO de entrada e saída do reator, com seu respectivo percentual de remoção. Os resultados de mg/L são definidos como mg de O<sub>2</sub> (oxigênio) consumido por litro de amostra.

**Tabela 2.** Valores de Eficiência de Remoção de DQO

Período de Coleta	Entrada do Sistema <i>Wetlands</i> (mg/L)	Saída do Sistema <i>Wetlands</i> (mg/L)	Remoção (%)
05/abril	2839,6	315,5	88,89
07/abril	13105,8	703,8	94,63
12/abril	2062,9	647	68,64
19/abril	1860	344	81,51
20/abril	1600	378	76,38
27/abril	2100	251	88,05
28/abril	5390	550	89,80
<b>Média</b>	<b>4136,90</b>	<b>455,61</b>	<b>83,98</b>

Conforme os resultados apresentados, a remoção média de DQO resultante do sistema foi de aproximadamente 84%, com percentual mínimo de remoção de 76% e máximo de 94% em sete ensaios realizados de análise físico-químicas. De acordo com a Resolução 128 do CONSEMA/2006, para Efluentes líquidos de fontes poluidoras, exceto efluentes líquidos domésticos, a DQO deve manter-se entre 400-150mg/L com as seguintes vazões (Q):  $Q < 20\text{m}^3/\text{dia}$  e  $Q \geq 10000\text{m}^3/\text{dia}$ .

Em sete ensaios, três ficaram acima do valor máximo de 400mg/L exigido pelo CONSEMA/2006. Na Figura 6 são mostrados os valores de concentração da DQO da entrada e saída do sistema *wetlands*.



**Figura 6.** Concentração de DQO da água residuária da Entrada (Afluente) e Saída (Efluente) do sistema.

Os resultados de DQO foram compatíveis com os obtidos na DBO, o sistema *wetlands* se mostra bastante convincente quanto ao seu poder de remoção, tendo um percentual de remoção de DQO considerável. Contudo, não foi possível atender os valores previstos pela legislação, devido ao alto grau poluidor do efluente.

#### 4.3 pH DO EFLUENTE

Ormonde (2012) presume que o pH é um fator abiótico de relevância aos processos biológicos ocorridos nos *wetlands*, e que os sistemas *wetlands* de fluxo subsuperficial tendem a levar os valores de pH à neutralidade durante a passagem do fluxo pelo leito.

Para valores de pH apresenta-se a Tabela 3, com os valores de entrada (afluente) e saída (efluente) do reator de zona de raízes, com os específicos dias de coleta.

**Tabela 3.** Medição do pH do Efluente, da Entrada e Saída do sistema.

Período coletado	Entrada	Saída
05/abril	11,6	6,8
07/abril	12,1	7,2
12/abril	11,3	7,1
19/abril	11,1	7,2
20/abril	11,8	7,1
27/ abril	12,3	6,4
28/ abril	12,1	6,3

O pH é representado em escala, na qual uma solução neutra é igual a sete e os valores menores que sete indicam uma solução ácida, e os maiores que sete indicam uma solução básica. O pH do afluente, ou seja, da entrada do sistema, mostraram-se muito acima de sete, com valores próximos á 12 indicando uma solução básica.

Tal resultado é associado ao fato de que a água residuária do laticínio continha quantidade significativa de soda cáustica (NaOH), uma solução alcalina capaz de neutralizar ácidos fortes, utilizada na higienização e lavagem de tanques de caminhões, de tubos e conexões, tornando as águas residuais uma solução básica.

Perante a Resolução CONAMA N°430 de 2011, é estabelecido que para ideais Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, o pH deve permanecer entre 5 a 9. O sistema *wetlands* foi capaz de neutralizar a água residual, transformando-a de solução básica à neutra, com valores iguais ou com poucas variações a cima ou a baixo de sete, se enquadrando na referida legislação.

#### 4.4 NITROGÊNIO AMONIAICAL

Em ecossistema aquático no caso do sistema *wetlands*, o nitrogênio pode ser encontrado como amônia livre, sendo conceituado como nitrogênio amoniacal, além disso, quando presente em excesso, é considerado como indicador de poluição hídrica. Pena et. al. (2005), alega que o nitrogênio amoniacal em sua forma gasosa, presente no meio aquoso, atua como inibidor da fotossíntese das algas, e possui capacidade de atravessar membranas biológicas e alterar o sistema fotossintético.

Na tabela 4, são representadas as análises realizadas para nitrogênio amoniacal durante o desenvolvimento do estudo.

**Tabela 4.** Remoção de Nitrogênio Amoniacal do Efluente, da Entrada e Saída do sistema.

Período coletado	Entrada (mg/L)	Saída (mg/L)
20/abril	4,2	0
27/ abril	2,8	0

Observou-se remoção de 100% de nitrogênio amoniacal do sistema *wetlands*, as plantas macrófitas do gênero *Canna* possuem uma capacidade surpreendente pra redução de nitrogênio, nas quais as plantas absorvem o nitrogênio incorporando-o à sua biomassa para manter o seu desenvolvimento. Salati (2006), afirma que o nitrogênio também pode ser removido como consequência da dinitrificação (desnitrificação) microbiológica.

Luvizotto (2013), explica que a nitrificação ocorre na presença de oxigênio, oxidando o amônio em nitrato, e na ausência de oxigênio, o nitrato é utilizado por muitos microrganismos como um receptor de elétrons, na redução dissimilatória de nitrato a amônia, acoplada à oxidação anaeróbia de carbono orgânico; o nitrato pode ser convertido em gás dinitrogênio pela desnitrificação.

Outro fator que pode ter atuado na remoção total do nitrogênio amoniacal no sistema, é o fato do nitrogênio possuir alta eletronegatividade e atração de elétrons, os demais compostos presentes no sistema tendem a competir pelo nitrogênio disponível para formação de ligações químicas. Luvizotto (2013), afirma que lugares alagados possuem altos teores de matéria orgânica de maneira geral, porém são deficientes em nutrientes, principalmente em nitrogênio e fósforo que não se encontram prontamente disponíveis neste ambiente.

Para Nitrogênio Amoniacal a Resolução 357 CONAMA/2005 estabelece para valores com  $\text{pH} \leq 7,5$  não devem ultrapassar a 3,7mg/L N, neste caso com base nos resultados obtidos nas duas amostragens realizadas, o Nitrogênio Amoniacal foi reduzido à 0 durante ao tratamento mostrando-se adequado para lançamento do efluente em corpo hídrico.

## 5. CONCLUSÃO

O sistema *wetlands* é um sistema de tratamento recente no Brasil e que vem se tornando promissor no tratamento de efluentes oriundos de diversos gêneros. O *wetlands* construído é um método de tratamento simples, barato, considerado de fácil aplicação e implantação, empregando técnicas que utilizam recursos naturais podendo ser utilizado no tratamento de efluentes domésticos e industriais.

A espécie *Canna indica generalis* utilizada neste experimento, apresentou alta capacidade de remoção de matéria orgânica e extração de nutrientes incorporando-os na sua biomassa para sua própria sustentação. Além disso, a planta possui folhagem ornamental e floração atrativa podendo ser facilmente integrada à paisagem tornando possível a implantação do sistema em locais como jardins.

Ante ao seu desempenho quanto ao tratamento de efluente de laticínio, os resultados obtidos no estudo se mostraram bastante significativos quanto a remoção da DBO e DQO, a eficácia do sistema foi medida comparando-se a DBO/DQO do efluente de entrada do sistema e o de saída. Sua efetividade na remoção para DBO foi de 90%, e remoção de DQO de 84%. Porém, os valores de remoção obtidos não atingiram os parâmetros estabelecidos pela legislação para lançamento deste efluente tratado em corpo hídrico.

Contudo, validou-se a capacidade do sistema *wetlands* na neutralização do pH, sendo que o efluente possuía características de solução básica com valores pH próximos à doze, neutralizando o pH para sete, se enquadrando dentro da legislação. Da mesma forma, para nitrogênio amoniacal o *wetlands* obteve sucesso, atingindo os parâmetros requeridos pela legislação, tendo uma remoção de 100% nas análises realizadas.

### 5.1 RECOMENDAÇÕES

Para implantação em escala real: sugere-se, em termos de obtenção de melhores resultados de remoção a utilização de dois sistemas de *wetlands*, um para tratamento e outro para polimento do efluente; na construção do *wetlands* com fluxo contínuo de efluente, aconselha-se alimentação superficial do sistema com retirada no leito do filtro, porém com saída do

efluente tratado próximo ao nível de entrada do sistema, para que o meio filtrante do sistema permaneça sempre saturado.

Para trabalhos futuros: recomenda-se testar diferentes espécies de plantas, podendo consorciá-las ou utilizá-las individualmente; variar as camadas do meio filtrante; testar os dois métodos de alimentação superficial ou subsuperficial; avaliar diferentes vazões de efluentes, com fluxo contínuo ou em batelada; analisar diferentes tempos de detenção do efluente no sistema; sugere-se, a construção de um reator sem a presença das plantas, somente com a presença das camadas filtrantes, servindo como “testemunha” para avaliar a capacidade das plantas na remoção de poluentes; e ainda, aconselha-se aumentar o número de repetições de análises e amostras para os diferentes poluentes e nutrientes presentes no efluente a ser tratado para um melhor conhecimento da capacidade de remoção no tratamento de efluente industrial em sistema *wetlands*.

## REFERÊNCIAS

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

BRIX, H., KOOTTATEP, T., FRYD, O., LAUGESSEN, C. **The flower and the butterfly constructed wetland system at Koh Phi Phi – System design and lessons learned during implementation and operation.** 2010.

COSTA, F. N. **Uso de Sistemas Construídos de Áreas Alagadas (CONSTRUCTED WETLAND SYSTEM – CWS) Tipo Ascendente/Descendente, Para Tratamento de Efluentes Avícolas.** Projeto de Pesquisa do Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Estadual Paulista - Rio Claro, SP, 2010.

COSTA, S. M. S. P. **Avaliação do Potencial de Plantas Nativas do Brasil no Tratamento de Esgoto Doméstico e Efluentes Industriais em “Wetlands Construídos”.** Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas SP, 2004.

DA SILVA, D. J. P. **Resíduos na Indústria de Laticínios.** Série de Sistema de Gestão Ambiental. Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Tecnologia de Alimentos. Viçosa-MG, 2011.

DO LIVRAMENTO, M. P. S. & DE OLIVEIRA, J. R. **Tratamento de Efluentes Através de Lagoas de Estabilização: Comparação entre Eficiência Teórica e Eficiência Real.** *Águas Subterrâneas*, 1. 2009.

HOLMES, B. J., MASSIE, L. R., BUBENZER, G. D. and HINES, G. **Design and construction of a wetland to treat milkhouse wastewater (Projeto e Construção de zona de raízes para tratar resíduos de uma casa de Ordenha).** Presented at the International Summer Meeting, Pap. No. 92-4524, ASAE, St. Joseph, MI, USA, 1992.

KUNZ, A., PERALTA-ZAMORA, P., de MORAES, S. G., & DURÁN, N. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis.** (Departamento de Química – Universidade Federal do Paraná, PR/Instituto de Química – Universidade Estadual de Campinas, SP) *Química nova*, 25(1), 78-82, 2002.

LAUTENSCHLAGER, S. R. **Modelagem do Desempenho de Wetlands Construídas.** Dissertação (Mestrado, Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Universidade de São Paulo SP, 2001.

LUVIZOTTO, D. M. **Transformações do nitrogênio e diversidade de Planctomycetes em sedimentos de manguezais.** Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz. Piracicaba - SP, 2013.

MAGNO, P. S. L. **Tratamento de Efluentes em Lagoas de Estabilização: Um Estudo de Caso em Indústria de Laticínio**. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais) – Universidade de Taubaté – PA, 2010.

MAIER, C., **Qualidades de Águas Superficiais e Tratamento de Águas Residuárias por Meio de Zona de Raízes em Propriedades de Agricultores Familiares**. Dissertação de Mestrado – UFSM, Santa Maria-RS, 2007.

MATOS, A. T., FREITAS, W. S., LO MONACO P. A. V., **Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura**. *Ampli-Água*, v. 5, n. 2, p. 119-132, 2010.

MATOS, A. T., ABRAHÃO S. S., LO MONACO P. A. V., SAMENTO A. P., MATOS M. P. **Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n12, p.1311-1317, 2010.

MELO, L. JOSUÉ, F; EFRIDE, A. **Dimensionamento Comparativo Entre Sistemas de Lagoas de Estabilização e Zona de Raízes Para o Tratamento de Esgotos de Pequena Comunidade**. *Iniciação Científica CESUMAR* - jan./jun. 2013, v. 15, n. 1, p. 33-44 - ISSN 1518-1243.

MIERZWA, J.C. **O Uso Racional e Reuso como Ferramentas para o Gerenciamento de Águas e Efluentes na Indústria Estudo de caso da Kodak Brasileira**. (Tese de Doutorado, Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Universidade de São Paulo SP, 2002.

MIWA, A. C. P. et al. **Dinâmica de Nitrogênio em um Sistema de Lagoas de Estabilização Na Região do Vale do Ribeira**. *Artigo Técnico* – FAPESP São Paulo-SP, 2007.

ORMONDE, V.S.S. **Avaliação de “Wetlands” Construídos no Pós-Tratamento de Efluentes de Lagoa de Maturação**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso – MT, 2012.

PENA, N. L. CLEMENTE, C. T. **Remoção de nitrogênio amoniacal em efluentes de sistemas anaeróbios**. In: *Avanzando hacia los Objetivos de Desarrollo del Milenio en el marco de la ingeniería sanitaria ambiental*. AIDIS Paraguay, 2005. p. 1-5.

SALATI, E. **Controle de qualidade de água através de sistemas de Wetlands construídos**. FBDS Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável Rio de Janeiro-RJ, 2006.

SARAIVA, C.B. **Potencial Poluidor de um Laticínio de Pequeno Porte: Um Estudo de Caso**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa MG, 2008.

STIEGEMEIER, A.M. **Avaliação do Sistema *Wetland* Construído no Polimento do Eflente da Indústria Frigorífica de Aves**. Monografia (Requisito para obtenção de Bacharel em Engenharia Ambiental) – UNIVATES Lajeado RS, 2014.

TEIXEIRA, C. O. **Efluentes de Laticínio, Enquadramento Legal e a Representação dos Técnicos e Gerentes.** Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados) – Universidade Federal de Juiz de Fora - MG, 2011.

UCKER, F. E., DE ARAÚJO ALMEIDA, R., & DA CUNHA KEMERICH, P. D. **Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver/Removal of nitrogen and phosphorus from wastewater in a constructed wetland system using vetiver grass.** Revista Ambiente & Água, 7(3), 87, 2012.

VITORINO, F. A., GONTIJO, C. A. V., & LERMONTOV, A. **Wetlands-Processos Naturais Para a Remoção de Nutrientes em Estações de Tratamento de Esgotos.** 2010.