



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**  
Centro de Tecnologia e Ciências  
Faculdade de Engenharia

Jossana Gomes Pereira de Sousa

**Avaliação do efeito de salinidade sobre a planta *Salvinia molesta*  
Mitchell em um experimento piloto de *wetland***

Rio de Janeiro  
2017

Jossana Gomes Pereira de Sousa

**Avaliação do efeito de salinidade sobre a planta *Salvinia molesta* Mitchell  
em um experimento piloto de wetland**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Efluentes Líquidos.

Orientador: Prof.º Dr. Gandhi Giordano

Coorientador: Prof.º PhD. Olavo Barbosa Filho

Rio de Janeiro

2017

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

S725 Sousa, Jossana Gomes Pereira de.  
Avaliação do efeito de salinidade sobre a planta salvinia molesta mitchell em um experimento piloto de wetland / Jossana Gomes Pereira de Sousa – 2017.  
101f.

Orientador: Gandhi Giordano.  
Coorientador: Olavo Barbosa Filho.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Terras inundáveis - Dissertações. 3. Tratamento de efluentes - Dissertações. 4. Estresse salino - Dissertações. 5. Macrófitas aquáticas – Dissertações. I. Giordano, Gandhi. II. Barbosa Filho, Olavo. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. IV. Título.

CDU 628.387

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Jossana Gomes Pereira de Sousa

**Avaliação do efeito de salinidade sobre a planta *Salvinia molesta* Mitchell  
em um experimento piloto de wetland**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Efluentes Líquidos.

Aprovada em 17 de março de 2017.

Banca Examinadora:

---

Prof.º Dr. Gandhi Giordano (Orientador)  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof.º PhD. Olavo Barbosa Filho (Coorientador)  
Faculdade de Engenharia - UERJ

Rio de Janeiro

2017

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, meu pai e melhor amigo.

A Josevaldo Pereira de Sousa, meu pai, pelo estímulo, ajudou no trabalho braçal e financeiro, além de ter me dado força sempre.

A Maria do Socorro da Silva Gomes, minha mãe, pelo carinho, força e dedicação sempre. Me incentivando através de palavras e de muito amor em cada etapa da minha vida.

A Juliana Gomes Pereira de Sousa Gaudard, minha irmã, pelos conselhos e auxílios. Ela também foi responsável pela parte dos desenhos ilustrativos.

A Gandhi Giordano pelo auxílio técnico, financeiro, pela paciência e principalmente por acreditar no meu projeto e nos sonhos científicos.

A Olavo Barbosa pelos conselhos e auxílio.

A Denise Faria, minha amiga, pelos seus conselhos e ensinamentos. Por me ensinar sobre a vida com muito carinho e amor.

A Tecma e a DBO por cederem o espaço e equipamentos para a realização desse trabalho.

Aos colegas: Thales Protázio, Luciano, João Paulo Cabral, Luiz, Sérgio, entre outros, que tanto ajudaram a mim e a meu pai durante a construção e operação da *wetland*. Além de nos receberem sempre amigavelmente.

A todos os amigos e colegas que me deram força nesse momento de tanta entrega e dedicação acadêmica.

Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui,  
nunca desista de seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis,  
a próxima tentativa pode ser a vitoriosa.

*Albert Einstein*

## RESUMO

SOUSA, Jossana Gomes Pereira de. *Avaliação do efeito de salinidade sobre a planta *Salvinia molesta* Mitchell em um experimento piloto de wetland*. 2017. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

O uso de *wetlands* para tratamento de esgoto traz benefícios a saúde e ao meio ambiente além de ser um processo que não exige energia elétrica para seu funcionamento. Por outro lado, o uso de macrófitas aquáticas em tratamento de efluentes industriais, principalmente de origem petrolífera, na etapa de polimento de uma estação não é uma prática comum. O trabalho tem por objetivos: a construção de uma *wetland* para estudo de tratabilidade na etapa de polimento de uma estação de tratamento de esgoto sanitário e industrial; através dela estudar a viabilidade de seu uso visando na eficiência para melhoria de alguns parâmetros físico-químico e biológicos do processo; quantificar a biomassa gerada; e viabilizar o estudo toxicológico com sal nas macrófitas flutuantes estudadas, *Salvinia molesta*, visto que o afluente petrolífero é extremamente salino. Constatou-se através do estudo toxicológico um estresse salino provocado pela concentração excessiva de KCl no organismo das plantas. Os resultados encontrados para caracterização dos parâmetros elencados foram: variação entre 15 a 30°C na temperatura do ar e nos leitos; 1.833 a 2.930µS/cm de condutividade; 1,4 a 6,7mg/L de OD; 7,1 a 9,2 de pH; 63 a 218mg/L de DQO; 5 a 304 NTU de turbidez e 52 a 332mg/L Pt.Co de cor. Além disso, foi produzida uma faixa de 25 a 440g/m<sup>2</sup> de biomassa viva e retirada uma faixa de 1,7 a 8,6 Kg. Observou-se que a *Salvinia* é resistente a efluentes salinos de até cerca de 15.000µS/cm. A comprovação da resistência ao sal foi encontrada nos resultados dos testes de toxicidade (nº de plantas mortas/ 1.000x condutividade): 1/4; 2/6; 0/8; 1/10; 100/10; 0/15; 100/20 e 100 mortes de plantas/ 25.000µS/cm de condutividade. Os resultados encontrados mostraram também a necessidade de revisão no método de dimensionamento de wetlands e as concentrações de DQO, condutividade, cor e turbidez maiores nos efluentes em relação aos afluentes.

Palavras-chave: *Wetlands*; Tratamento de efluentes; Polimento; Estresse salino.

## ABSTRACT

SOUSA, Jossana Gomes Pereira de. *Evaluation of the salinity effect on the *Salvinia molesta* Mitchell in a wetland pilot experiment*. 2017. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

The use of wetlands for sewage treatment brings benefits to health and the environment besides being a process that does not require electrical energy for its operation. On the other hand, the use of aquatic macrophytes in the treatment of industrial effluents, mainly of petroleum origin, at the polishing stage of a season is not a common practice. The objectives of the work are: to construct a wetland for the study of treatability in the polishing stage of a sanitary and industrial sewage treatment plant; through it to study the feasibility of its use aiming in the efficiency to improve some physical-chemical and biological parameters of the process; quantify the biomass generated; and to make feasible the toxicological study with salt in the studied macrophytes, *Salvinia molesta*, since the petroleum tributary is extremely saline. A saline stress caused by the excessive concentration of KCl in the plant organism was found through the toxicological study. The results found to characterize the parameters listed were: variation between 15 and 30°C in air temperature and in the beds; 1,833 to 2,930µS / cm of conductivity; 1.4 to 6.7 mg / L OD; 7.1 to 9.2 pH; 63 to 218mg / L of COD; 5 to 304 NTU of turbidity and 52 to 332mg / L Pt.Co of color. In addition, a range of 25 to 440 g / m<sup>2</sup> of living biomass was produced and a range of 1.7 to 8.6 kg was withdrawn. The *Salvinia* is resistant to saline effluents up to about 15,000µS / cm. The evidence of salt resistance was found in the results of toxicity tests (number of dead plants / 1000x conductivity): 1/4; 2/6; 0/8; 1/10; 100/10; 0/15; 100/20 and 100 plant killed / 25,000µS / cm conductivity. The results also showed the need to review the wetlands sizing method and the higher COD, conductivity, color and turbidity concentrations in the effluents in relation to the tributaries.

Keywords: Wetlands; Wastewater treatment; Polishing; Saline stress.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-1 – Esquema dos fatores ambientais que influem numa <i>wetland</i> .....	17
Figura 1-2 – Morfologia da <i>Salvinia molesta</i> .....	19
Figura 1-3 – Raízes da <i>Salvinia</i> .....	20
Figura 3-1 – Estação de tratamento de esgoto DBO localizada em Paracambi.....	34
Figura 3-2 – Etapa de polimento da estação.....	36
Figura 3-3 – As duas piscinas montadas .....	39
Figura 3-4 - Ligação das duas piscinas através de mangueira transparente .....	39
Figura 3-5 - Flanges e bico de mangueira para ligar as piscinas .....	40
Figura 3-6 - Entrada na primeira piscina, mangueira ligada ao bico de mangueira e ao flange .....	40
Figura 3-7 – Torneira ligada a piscina por flange .....	41
Figura 3-8 – Flutuador .....	42
Figura 3-9 – Galão .....	43
Figura 3-10 – Cobertura da tenda vista de baixo .....	44
Figura 3-11 - Vista superior da tenda .....	45
Figura 3-12 - Vista isométrica da tenda.....	45
Figura 3-13 – Peixes Danio rerio.....	46
Figura 3-14 – Esquema com os pontos de amostragem.....	47
Figura 3-15 – Medição da área ocupada pelas plantas.....	49
Figura 3-16 – Secagem e pesagem das plantas.....	49
Figura 3-17 – Medição da amostra pesada.....	50
Figura 3-18 – Medição da área ocupada pela biomassa viva nos leitos com auxílio de um galho e uma trena .....	51
Figura 3-19 - medição da porção de plantas a ser pesada .....	51
Figura 3-20 - Secagem da amostra de plantas durante uma hora .....	52
Figura 3-21 - Pesagem das plantas secas .....	52
Figura 3-22 - Coleta do excesso de biomassa viva retirada no dia 15 de julho de 2016 .....	52
Figura 3-23 - Pesagem do excesso de biomassa viva retirada no dia 15 de julho de 2016 .....	53
Figura 3-24 – Descarte na canaleta do decantador .....	54

Figura 3-25 - Teste de tratamento de esgoto bruto em bacia .....	55
Figura 3-26 – Descarte no tanque de aeração desativado.....	55
Figura 3-27 – Descarte no tanque de aeração desativado.....	56
Figura 3-28 – Ordem de condutividade dos recipientes .....	57
Figura 3-29 - Extrapolação da curva concentração de KCl x condutividade .....	57
Figura 4-1 – Sistema no dia 13 de abril de 2016.....	59
Figura 4-2 – Sistema no dia 21 de maio de 2016.....	60
Figura 4-3 – Sistema no dia 7 de junho de 2016.....	60
Figura 4-4 – Sistema no dia 15 de julho de 2016 .....	61
Figura 4-5 - Variação de temperatura nos pontos de amostragem ao longo do tempo .....	63
Figura 4-6 – Evapotranspiração com base na temperatura do ar .....	63
Figura 4-7 - Variação da condutividade nos pontos de amostragem ao longo do tempo .....	64
Figura 4-8 – Variação do oxigênio dissolvido nos pontos de amostragem ao longo do tempo .....	65
Figura 4-9 – Variação do pH nos pontos de amostragem ao longo do tempo.....	66
Figura 4-10 - Variação da DQO nos pontos de amostragem ao longo do tempo.....	67
Figura 4-11 – Variação da turbidez nos pontos de amostragem ao longo do tempo	68
Figura 4-12 - Variação da cor nos pontos de amostragem ao longo do tempo .....	69
Figura 4-13 – Variação da biomassa viva ao longo do tempo.....	69
Figura 4-14 – Biomassa retirada ao longo do tempo.....	70
Figura 4-15 - Testes de toxicidade com sal nas plantas <i>Salvinia</i> .....	71
Figura 4-16 – Teste de salinidade aplicado em 31 de agosto de 2016 .....	72
Figura 4-17 – Teste de salinidade aplicado em 16 de setembro de 2016 .....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 – Tabela resumo .....	28
Tabela 3-3-1 - Cálculo da carga hidráulica.....	37
Tabela 3-3-2 - Cálculo do tempo de detenção teórico.....	38
Tabela 3-3-3 - Parâmetros sua metodologia de aferição em laboratório - 2016.....	47
Tabela 3-3-4 - Parâmetros e equipamentos de medição - 2016 .....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APHA	<i>American Public Health Association</i>
CW	<i>Wetland</i> Construído
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estações de Tratamento de Esgoto
EVT	Evapotranspiração
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OD	Oxigênio Dissolvido
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
<b>1 REFERENCIAL TEÓRICO - WETLANDS</b> .....	<b>16</b>
1.1.1 Influência externa sobre a estrutura da <i>wetland</i> .....	17
1.1.2 Estrutura e mecanismos da <i>Salvinia molesta</i> Mitchell .....	18
<b>2 POLIMENTO DE EFLUENTES E SUAS TECNOLOGIAS</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS PARÂMETROS DE ANÁLISE DOS EFLUENTES E DO PROCESSO (WETLANDS)</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2 SALINIDADE EM PLANTAS</b> .....	<b>31</b>
<b>2.3 ENSAIOS DE TRATABILIDADE/TOXICIDADE</b> .....	<b>33</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1 DETALHES SOBRE A WETLAND</b> .....	<b>36</b>
3.1.1 Dimensionamento .....	37
3.1.2 Materiais e construção .....	38
3.1.3 Adaptação da macrófita .....	45
<b>3.2 VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ANÁLISE</b> .....	<b>47</b>
3.2.1 Análises de campo e de laboratório .....	47
<b>3.3 ESTIMATIVA DA BIOMASSA PRODUZIDA</b> .....	<b>49</b>
<b>3.4 TESTE DE TOXICIDADE DE SALINIDADE</b> .....	<b>56</b>
<b>4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>59</b>
<b>4.1 OPERAÇÃO DA WETLAND</b> .....	<b>59</b>
<b>4.2 VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ANÁLISE</b> .....	<b>62</b>
4.2.1 Temperatura.....	62
4.2.2 Condutividade .....	64
4.2.3 Oxigênio dissolvido .....	64
4.2.4 Potencial Hidrogeniônico.....	65
4.2.5 DQO .....	66
4.2.6 Turbidez .....	67
4.2.7 Cor real .....	68
<b>4.3 ESTIMATIVA DA BIOMASSA PRODUZIDA</b> .....	<b>69</b>
<b>4.4 TESTE DE TOXICIDADE DE SALINIDADE</b> .....	<b>70</b>

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>76</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>77</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>87</b>
	<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>88</b>
	<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>89</b>
	<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>90</b>
	<b>APÊNDICE E .....</b>	<b>91</b>
	<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>92</b>
	<b>APÊNDICE G.....</b>	<b>93</b>
	<b>APÊNDICE H .....</b>	<b>94</b>
	<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>95</b>
	<b>APÊNDICE J.....</b>	<b>96</b>
	<b>APÊNDICE L.....</b>	<b>97</b>
	<b>ANEXO A.....</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXO B.....</b>	<b>99</b>
	<b>ANEXO C.....</b>	<b>100</b>
	<b>ANEXO D.....</b>	<b>101</b>

## INTRODUÇÃO

Diante de tantas notificações diárias de poluição hídrica ao longo do Brasil, é notória a necessidade da solução imediata da lacuna existente no tratamento de esgoto no país. Segundo dados mais recentes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2016), no ano de 2008 somente 55% das cidades brasileiras possuíam esgotamento sanitário e dessas cidades somente 49% apresentavam tratamento do esgoto em suas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Boa parte dos esgotos das cidades era despejada sem tratamento nos corpos hídricos.

Uma das soluções para combater a poluição dos corpos hídricos é o tratamento dos esgotos de indústrias e de residências. Conforme Wang *et al.* (2012), o emprego de *wetland* construído (CW) tem se mostrado uma tecnologia mais acessível a nível de custo. Além da economia constatada, Zhang *et al.* (2015) relataram a necessidade de mais pesquisas sobre essa tecnologia em países de clima tropical e subtropical, o que demonstra seu pouco uso nessas regiões.

Segundo Bueno *et al.* (2013) e Cui e Jiang (2011), os CWs possuem diversas vantagens no seu uso, dos quais são mais relevantes: baixo custo de manutenção, aplicação para pequenas vazões, necessidade somente da energia solar, reintegração do paisagismo local, entre outros. Além disto, conforme visto nos estudos de Bueno *et al.* (2013) e Musungu *et al.* (2013) seu uso já foi testado no tratamento de diversos tipos de efluentes para diversas finalidades com obtenção de bons resultados.

Além disso, essa tecnologia proporciona uma melhora na qualidade dos efluentes a serem lançados nos corpos receptores, incluindo o atendimento aos parâmetros de controle ambiental, notadamente os coliformes fecais. Isto foi evidenciado por Calijuri *et al.* (2009), através da diminuição significativa de coliformes fecais no esgoto tratado de uma unidade experimental de tratamento de esgoto e utilização de efluentes. Em adição a isto, Cui e Jiang (2011) descreveram que elas também proporcionam uma harmonia paisagística antes destruída, bem como a reconstrução de habitats.

Não obstante, a utilização desse tipo de tratamento para o polimento de efluentes tratados provenientes de diversas fontes, desde os efluentes domésticos até os industriais, ainda é pouco difundida, principalmente no polimento de efluentes salinos. Visto as mudanças metabólicas provocadas pelos sais, precisa-se conhecer

até que ponto a salinidade afeta os vegetais e o tratamento realizado por essas. Segundo Dias e Blanco (2010), a salinidade excessiva em plantas sensíveis, causa efeitos tóxicos em seu metabolismo.

O teste de toxicidade vem oferecer o diagnóstico para entender o comportamento de um ser vivo diante da exposição a um composto adverso. No caso da salinidade, esse teste também se aplica. Segundo Costa *et al.* (2008), esses testes são realizados em organismos para determinação de feitos nocivos por meio de observação e quantificação.

Para a aplicação de qualquer tecnologia de tratamento, é necessário fazer um estudo em escala reduzida antes da sua aplicação em escala real para otimizar o projeto.

O trabalho foi estruturado da forma a seguir: introdução; objetivos gerais e específicos; capítulo 1, há uma descrição respeito de *wetlands*, suas estruturas e mecanismos naturais e artificiais; capítulo 2, nesse trecho é possível encontrar uma descrição sobre polimento de efluentes e suas tecnologias, efeito da salinidade em plantas, parâmetros de análise e ensaios de toxicidade; no capítulo 3 são encontradas as metodologias utilizadas para construção da *wetland*, mensuração e análise da variação dos parâmetros, estimativa da biomassa produzida e aplicação do teste de salinidade na *Salvinia molesta*; no capítulo 4 encontram-se todos os resultados obtidos e a discussão; capítulo 5, onde se encontram todas as conclusões necessárias a se chegar aos objetivos propostos; no capítulo 6 são dadas sugestões para trabalhos futuros com base nos resultados encontrados; por último, estão listadas todas as referências utilizadas na parte escrita do trabalho.

## OBJETIVOS

A seguinte hipótese afirmativa foi gerada para direcionar a presente pesquisa: É viável a utilização de uma *wetland* na etapa de polimento. Seguindo o raciocínio da hipótese, os seguintes objetivos gerais foram propostos para esse estudo:

1. Construir uma *wetland* para ensaio de tratabilidade.
2. Analisar a eficiência de parâmetros do efluente da *wetland* construída.
3. Quantificar a biomassa gerada.
4. Identificar o limite máximo de salinidade suportado pelas *Salvinias molesta*

O cumprimento dos objetivos gerais depende da realização dos específicos, visto que estão intimamente relacionados, são estes os relacionados ao objetivo geral 1:

- Levantar dados iniciais sobre *wetlands*.
- Definir parâmetros de projeto.
- Dimensionar a *wetland*.
- Adquirir materiais para a construção.
- Construir a *wetland*.
- Adaptar a vegetação gradualmente ao efluente.
- Colocar a *wetland* em funcionamento.

Ao objetivo geral 2 estão ligados os seguintes específicos:

- Identificar os parâmetros a serem analisados e a frequência.
- Coletar as amostras durante um determinado período na *wetland*.
- Analisar em laboratório e em campo cada amostra coletada.

O objetivo geral 4 contém os seguintes itens específicos:

- Aplicar teste de toxicidade aguda com sal
- Analisar os resultados do teste.

## 1 REFERENCIAL TEÓRICO – WETLANDS

Segundo Mitsch e Gosselink (2007), as CWs naturais são ecossistemas encontrados em diversas escalas no meio ambiente. São ambientes alagados que possuem diversas definições, como: brejo, ambiente alagado, pântano, floresta alagada, entre outros. Sua escala pode variar desde pequenas poças a enormes pântanos. Araújo *et al.* (2015) mostraram como funciona a dinâmica natural de remoção de poluentes por macrófitas. Ficou demonstrado a remoção de matéria carbonácea, Coliformes e *Escherichia coli* pelas plantas em uma região alagada com despejos constantes de esgoto sanitário no solo.

Ainda segundo Mitsch e Gosselink (2007), os CWs construídos surgiram a partir da iniciativa de estudiosos em reproduzir esses ambientes alagados naturais devido às diversas vantagens encontradas. Entre as áreas beneficiadas podem ser citadas: agricultura, obtenção de materiais de construção e decorativos (sofás entre outros) e remoção de nutrientes essenciais aos vegetais e microrganismos comuns a esse ambiente e que há em excesso nos esgotos domésticos. Sezerino *et al.* (2015) remetem a configuração de uma *wetland* construída que pode ser de escoamento superficial ou subsuperficial. Os principais parâmetros para sua construção são tempo de retenção hidráulico, constante de degradação biológica, área superficial do filtro, profundidade, geometria e macrófitas. Segundo Nivala *et al.* (2013), parâmetros como direção de fluxo, grau de saturação, regime de carregamento e mecanismo de aeração precisam ser estudados a longo prazo.

Diversas são as utilidades de uma *wetland*, muitas descobertas recentemente. Dentre essas está a descrita por Oon *et al.* (2015) na qual foi possível mostrar a viabilidade de um sistema de *wetland* para tratamento de esgoto em associação com a obtenção de energia elétrica através de eletrodos espaçados no substrato. Segundo O'Sullivan *et al.* (2010), a queima da espécie *Salvinia* como biomassa para produção de energia não produz tanto metano quando comparada a outras espécies de macrófitas. Além disso, segundo Wu *et al.* (2015), as *wetlands* tem sido aplicadas com sucesso no tratamento de diversos tipos de efluentes industriais, inclusive nos das indústrias petrolíferas. No caso do efluentes petrolíferos, os maiores desafios são: salinidade, presença de óleo, hidrocarbonetos, metais e fenólicos, além da baixa biodegradabilidade.

Stefanakis *et al.* (2016) comprovaram a redução de contaminantes provenientes de efluente petrolífero através de uma CW piloto de fluxo horizontal com plantas subsuperficiais. Nesse estudo, compostos orgânicos como fenol e m-cresol foram 100% eliminados. Por outro lado, a concentração dos contaminantes benzeno e éter metil-terc-butílico não foi alterada.

Até então, a maioria dos casos relatados de tratamento de efluente petrolífero foram tratados com plantas emergentes, não sendo encontrado nenhum caso com macrófita flutuante. Vymazal (2014), confirma em sua revisão sobre tratamento de efluentes industriais com CWs, que a maioria dos tratamentos de efluentes provenientes de refinarias e da indústria petrolífera foram tratados com CWs de fluxo horizontal plantadas com macrófitas de subsuperfície, principalmente *Typha latifolia* e *Phragmites australis*. Liang *et al.* (2017), confirmam essa tendência em sua revisão sobre tratamento de efluentes salinos, nesse aparece um quantitativo maior de plantas emergentes. Porém, macrófitas flutuantes como *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Lemna minor* também foram encontradas nesse estudo.

### 1.1.1 Influência externa sobre a estrutura da *wetland*

São diversos os fatores que influenciam no funcionamento de uma *wetland*, alguns de ordem natural e outros operacionais, como: evapotranspiração, vetores, salinidade, afluente, efluente, precipitação, temperatura e radiação (Figura 1-1).

Figura 1-1 – Esquema dos fatores ambientais que influem numa *wetland*



A evapotranspiração dependerá da capacidade da espécie de planta utilizada; os vetores variam conforme o ambiente e as espécies de interação; a salinidade, o afluente e o efluente vão depender de parâmetros operacionais para ambientes

construídos e de fatores dos ambientes circunvizinhos no caso de ambientes naturais. A precipitação, temperatura e a radiação vão depender do clima do local.

### 1.1.2 Estrutura e mecanismos da *Salvinia molesta* Mitchell

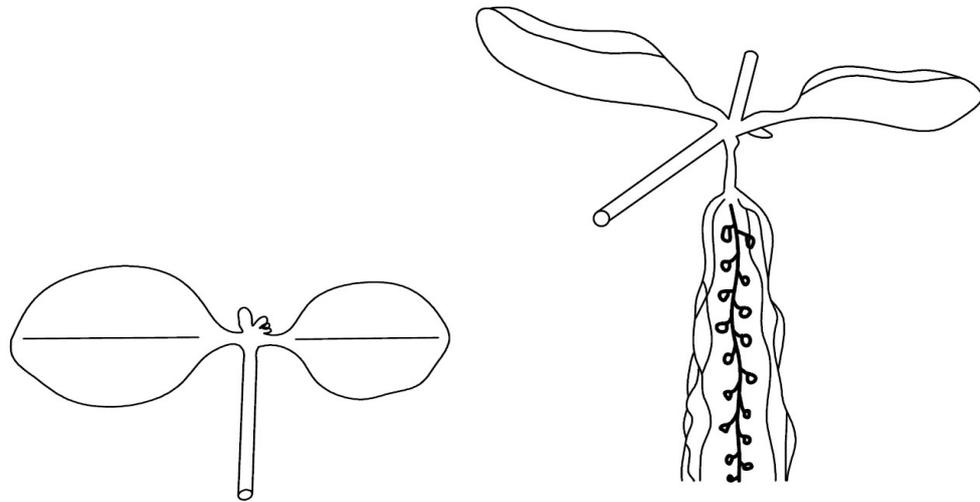
Segundo Hardman, Mceldowney e Waite (1993), a remoção de poluentes de uma CW depende basicamente da sua estrutura formada por: tipos de plantas, substrato, natureza e distribuição do efluente pelo leito e distribuição da vegetação pelo leito. São esses fatores que proporcionam a maior ou menor absorção de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, por parte das plantas e dos microrganismos. Para acelerar a lenta assimilação de nutrientes em ambiente anóxico<sup>1</sup>, as plantas possuem tecidos chamados aerênquimas<sup>2</sup> que encaminham oxigênio para as raízes e caules. Portanto, esse mecanismo da planta gera aeração em suas proximidades, melhorando a degradação dos poluentes nas maiores profundidades do leito.

A sobrevivência e reprodução das macrófitas estão correlacionadas aos seus fatores limitantes. A *Salvinia molesta* é uma planta que precisa ter seu potencial para tratamento de esgoto mais explorado, visto que muitos assuntos com respeito a esse tema não foram abordados por outros autores. Whiteman e Room (1991) descreveram a *Salvinia molesta* Mitchell como uma espécie de samambaia aquática que fica boiando na superfície de lagos. Além disso, parte da sua estrutura fica diretamente em contato com o ar enquanto outra parte fica submersa. A sua sobrevivência é limitante numa faixa de aproximadamente de 3 a 43°C, variando conforme a região em que se encontra. Essa faixa de temperatura suportada por essa vegetação determina a ocorrência principalmente na faixa equatorial do globo terrestre. A presença de nutrientes como o nitrogênio, o fósforo e o potássio a ajuda a suportar as variações de temperatura, embora não em grande escala. Conforme Rani e Bhambie (1983), a temperatura e incidência solar influenciam muito no crescimento das *Salvinias*. Seu crescimento é maior quando há maior luminosidade. E segundo Cancian, Camargo e Silva (2009), em países de clima tropical o crescimento de macrófitas aquáticas é limitada pela temperatura e luminosidade solar. A Figura 1-2 mostra a morfologia da *Salvinia molesta*, composta pela região das folhas, caule, esporos e raízes (Figura 1-3).

---

<sup>1</sup> Ambiente com total ou parcial ausência de oxigênio.

<sup>2</sup> Tecido que contém amplo espaço extracelular com ar.

Figura 1-2 – Morfologia da *Salvinia molesta*

Fonte: Adaptado de Room, 1990.

A sua rápida reprodução é o ponto chave da sua importância, visto que em condições ideais de sobrevivência pode vir a se tornar uma praga. Segundo Room (1990), a *Salvinia molesta* é uma planta estéril e sua multiplicação ocorre a partir de brotos que crescem lateralmente por ramificações. Ao alcançar seu limite de vida ou por falta de nutrientes, essa deixa de se ramificar passando a se espalhar. O principal nutriente limitante ao seu crescimento é o nitrogênio. Embora sua multiplicação seja rápida, seu tempo de vida e de estabilização são curtos, não chegando a um mês. A sua taxa de crescimento lateral representa uma ameaça a determinados ambientes onde essa planta é exótica.

Figura 1-3 – Raízes da *Salvinia*

Fonte: Ng e Chan, 2017.

Considerando as características químicas, as *Salvinias molesta* apresentam um determinado perfil fotoquímico na presença de alguns reagentes. Mithraja *et al.* (2011) determinam os constituintes encontrados nessas plantas: fenol e tanino na presença de acetona, benzeno, clorofórmio, água, etanol e éter de petróleo; esteróide em clorofórmio, etanol, acetona e benzeno; cumarina em etanol, acetona, éter de petróleo e água; saponina em clorofórmio, benzeno e éter de petróleo; flavonóide em clorofórmio; xantoproteína em etanol, acetona e água; proteína em clorofórmio, benzeno e éter de petróleo; carboidratos em clorofórmio, água e etanol.

Mithraja *et al.* (2011) evidenciam a partir do perfil fotoquímico levantado que essa planta possui propriedades farmacológicas” ideais para prevenir a diabetes, o câncer, ações microbiológicas, alergia, mutações, inflamações e oxidações. Portanto a planta possui diversas utilidades terapêuticas ainda não muito exploradas, visto a sua recente descoberta até mesmo no Brasil. Ng e Chan (2016) demonstram que há bastante armazenamento de proteínas e carboidratos nas *Salvinia molesta*. Essa característica pressupõe um aumento desses componentes na biomassa ganha, que servem para utilidades nutritivas (alimentação de peixes) e como biocombustível.

Forno e Harley (1979) relatam que no Brasil a planta foi descoberta por volta da década de 70 em lagoas naturais, na faixa marginal de rios, em barragens,

pântanos e drenos na região nordeste, sudeste e sul. Além da umidade presente nesses locais, é imprescindível a boa incidência de luz e uma temperatura para o crescimento regular das plantas. Rao (1988) encontrou uma evaporação na *Salvinia molesta* de 2,1 a 6,8 mm/dia. O vento e a umidade do ar são fatores determinantes na perda de água por essa planta. Durante o verão, sob altas temperaturas, há mais evapotranspiração. No inverno a transpiração fica mais evidente devido à baixa temperatura. Anjos et al. (2016) evidenciaram, através da aplicação de modelos, que as maiores taxas de evapotranspiração no estado do Rio de Janeiro ocorrem no inverno e na primavera.

Rani e Bhambie (1983) concluíram que na Índia a planta apresentou um crescimento satisfatório a uma temperatura de 30°C com insolação de 4000 Kcal de intensidade. Atrelado a este fato está a tendência de crescimento positiva e não linear para a temperatura e para a luz solar. O crescimento da planta está associado com sua absorção de nutrientes. Ng e Chan (2016) demonstraram uma remoção de nutrientes bem eficiente por parte das *Salvinias molesta*, principalmente do fósforo (95% de remoção). Cary e Weerts (1983) evidenciaram que a *Salvinia molesta* é um filtro natural visto que absorve altos valores de nutrientes como: P (2mg/L) e N (2 a 20 mg/L). Essa absorção é maior a temperatura da água de 22°C. A relação entre absorção de nutrientes e temperatura a água estão muito correlacionadas.

Segundo Beharrell (2004), a escolha e a operação das plantas numa *wetland* construída são determinantes para o sucesso do projeto. Além das condições ideais do meio ambiente, influencias externas negativas devem ser evitadas para o completo sucesso do sistema. Para um planejamento efetivo da estabilização da vegetação, a prevenção contra-ataques de substâncias nocivas deve ser realizada.

#### **1.1.2.1 Prevenção de vetores e o *Danio rerio***

Como parte da cadeia alimentar, os vegetais costumam atrair consumidores naturais, situação que pode prejudicar o seu crescimento dentro da *wetland* construída. Portanto, torna-se necessário o controle desses consumidores conhecendo os possíveis consumidores da espécie de planta em questão presentes na região e aplicando métodos de controle. Um exemplo de predador da *Salvinia molesta* usado para seu controle biológico, *Cyrtobagous salviniae*, é descrito por Tipping e Center (2005).

Um exemplo de herbívoro que se alimenta de *S. molesta* é descrito por Cilliers (1991): a espécie *Cyrtobagous salviniae*, uma espécie de besouro. Esses ovíparos ao se tornarem adultos se alimentam das folhas da planta. Tipping e Center (2005) complementam dizendo que esses consumidores se alimentam e põem seus ovos principalmente no rizoma da planta. Room (1990) discrimina como alguns herbívoros são usados para o controle do crescimento dessas plantas, como gorgulhos. Esses pequenos animais são consumidores típicos das *Salvinias molesta*, e costumam ter o mesmo habitat natural das plantas estudadas. Bennet (1977) revela que os insetos também são potenciais consumidores.

A fim de evitar a proliferação das larvas dos consumidores das plantas e de vetores que venham a causar mal à saúde humana, como o *Aedes aegypti*, a utilização de técnicas de controle biológico são ótimas aliadas. Zara *et al.* (2016), explicam como técnicas de controle biológico, ou seja, a utilização de predadores naturais ou patógenos para reduzir a população de vetores são eficazes. Esses autores citam ainda que peixes são predadores naturais de larvas, pupas, bactérias, fungos e parasitas. Outro estudo feito por Chandra *et al.* (2008), mostra que peixes são muito eficientes no controle de larvas de mosquitos. Descrito por Kamatchi, Arivoli e Maheswaran (2016), o *Danio rerio* é um peixe que demonstrou ser eficiente no controle do *Aedes aegypti* por se alimentar constantemente das larvas do mosquito.

## 2 POLIMENTO DE EFLUENTES E SUAS TECNOLOGIAS

O polimento de efluentes é realizado na etapa do tratamento na qual o efluente está mais clarificado. Segundo Giordano e Surerus (2015), essa etapa ocorre após as seguintes etapas de tratamento: primeira (remoção de sólidos grosseiros), segunda (remoção de sólidos suspensos) e terceira (remoção da matéria orgânica biodegradável). O polimento visa a redução de cor, turbidez, compostos orgânicos persistentes e a desinfecção. As principais tecnologias aplicadas nessa etapa são: filtro, membrana e carvão ativado.

A *wetland* também tem sido aplicada na etapa de polimento do efluente. Souza *et al.* (2016), descrevem a utilização de lagoa com a macrófita *Lemna* como etapa final de tratamento de dejetos de suínos. Apesar da alta carga orgânica proveniente dessa atividade, houve 96% de redução de DQO somente na etapa do polimento ocorrida em uma *wetland* com *Lemnas* (macrófitas flutuantes). Em outro estudo realizado por Santos *et al.* (2016), o *Juncus effusus* foi utilizado no tratamento de efluente de frigorífico de suínos obtendo resultado de 98,4 de redução de DQO. Objetivando a melhora na eficiência da *wetland* nessa etapa, Wink *et al.* (2016) utilizaram tanque com microalgas (gêneros *Desmodesmus*, *Scenedesmus* e *Chlorella*), as macrófitas *Hymenachnes grumosa* em conjunto com as microalgas proporcionaram redução de 50% da DQO. Com uma DQO inicial superior a 7.400 mg/L, Lopes *et al.* (2016) descrevem um tratamento de efluente por *wetlands* após diluições, sendo 4 lagoas com mais de 3.000 mg/L e outras 4 com mais de 2.000 mg/L. A *Pistia stratiotes* não resistiu a carga e morreu no sexto dia. As demais plantas além de resistirem a primeira diluição também reduziram a DQO, respectivamente: *Polygonum sp.* e *Eichhornia paniculata*, em 87,5 e 90%.

Wu *et al.* (2015) afirmam que cada tipo de indústria gera um determinado tipo de efluente e que essa mistura pode causar diversas complicações no tratamento com macrófitas. Rejeitos oleosos precisam de um pré-tratamento antes de passar pelo leito com plantas. Derivados de petróleo costumam ter alta salinidade, segundo os autores, isso inviabiliza o tratamento com macrófitas.

Os estudos mencionados nesse item mostraram que não há um padrão de eficiência das *wetlands* na etapa de polimento. Segundo Sezerino *et al.* (2015), Wu *et al.* (2015) e Marín *et al.* (2015), diversos são os fatores que influenciam na sua eficiência: o tipo de planta utilizada, os processos envolvidos no tratamento e o tipo

de efluente recebido. As características do efluente variam de acordo com a sua composição; matéria orgânica, aos sólidos, aos sais, nutrientes e microrganismos. Como já descrito no parágrafo anterior, nem todas as plantas suportam esgoto com muita carga orgânica. Dessa forma as plantas são utilizadas principalmente nos estágios de polimento dos efluentes.

## **2.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS PARÂMETROS DE ANÁLISE DOS EFLUENTES E DO PROCESSO (WETLANDS)**

Segundo Giordano e Surerus (2015), o esgoto bruto apresenta várias características que exigem o tratamento, com objetivo de melhoria da qualidade, atendimento à legislação ambiental e posterior descarte nos corpos receptores. As características físicas, químicas e biológicas são quantificadas através de parâmetros medidos e analisados em campo e principalmente em laboratório.

No âmbito físico, conforme Jordão e Pessôa (1995) são utilizados os seguintes parâmetros: temperatura, turbidez, cor e matéria sólida. Este último é de extrema importância para controle de unidades de tratamento, pois grande parte dos processos remove matéria sólida<sup>3</sup>. A temperatura influencia na atividade biológica das bactérias, na solubilidade de oxigênio (quanto menor for a temperatura maior será a solubilidade do oxigênio) e na sedimentabilidade (proporcional ao aumento da temperatura devido a diminuição da viscosidade do efluente). A turbidez é caracterizada em etapas mais avançadas de tratamento, pois apresenta correlação com a quantidade de sólidos em suspensão<sup>4</sup>.

Segundo APHA (2012), a DQO representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica quimicamente em 1 litro de amostra, a sua determinação ocorre em meio ácido à 150°C com um oxidante forte. A análise de DQO geralmente é também utilizada para esgoto que apresenta pouca matéria orgânica, pois consegue mensurar a matéria orgânica que a análise de DBO eventualmente não o faz.

Segundo Giordano e Surerus (2015), outro importante parâmetro é pH. Sua manutenção é importante para a realização de reações químicas. A condutividade elétrica é útil, é utilizada na determinação da quantidade de sais na água. A mensuração do oxigênio dissolvido (OD) indica a quantidade de oxigênio no

---

<sup>3</sup> Sua classificação depende da finalidade desejada.

<sup>4</sup> Resíduos que não passam pelo filtro, portanto apresentam pequenas dimensões. Faz parte da classificação da matéria sólida por dimensões das partículas.

meio, sendo uma das formas de se verificar a viabilidade de vida no meio aquático. Ainda segundo Giordano e Surerus (2015), a cor é um parâmetro determinante para efluentes líquidos, pois a cor real determina a presença de compostos solúveis e a cor aparente de compostos solúveis e dos coloidais. A turbidez mensura os sólidos em suspensão com diâmetros de partículas inferiores a 0,1  $\mu\text{m}$  e tem um papel preponderante no tratamento.

Todos esses parâmetros são alguns dos determinantes do bom funcionamento de um sistema de tratamento, inclusive das *wetlands*. As citações presentes nos parágrafos a seguir nesse item apresentarão um pequeno panorama dos diversos tipos de parâmetros e metodologias utilizadas em estudos com *wetlands*. Com relação aos resultados, buscou-se mostrar somente dos parâmetros em comum com esse trabalho para posterior comparação, que são: turbidez, cor, DQO, temperatura, condutividade, OD e pH. Nessas citações são citados diversos autores que realizaram estudos com *wetlands*, descrevendo parâmetros, metodologia de análises e resultados (dos parâmetros em comum) de tratamentos com essas lagoas plantadas artificialmente. Além disso, as descrições estão divididas em grupos de tratamento: doméstico, urbano (doméstico e industrial), pontual, polimento e outros.

O tratamento de efluentes domésticos com CWs é muito comum. Segundo Almeida, Pitaluga e Reis (2010), em uma estação domiciliar montada para o tratamento de esgoto doméstico através das plantas *Hedychium coronarium j. König* e da *Typha anustifolia L.*, as coletas mensais duraram 4 meses, medindo-se os parâmetros: DBO, DQO e coliformes termotolerantes. A DQO teve redução encontrada de 78%.

Ferreira e Saron (2013) mostraram os parâmetros e metodologias de seu projeto com fluxo vertical para tratamento de esgoto doméstico com *Eleocharis parvula*: sólidos sedimentáveis, DBO, fosfato, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, pH, coliformes totais e coliformes fecais pela American Public Health Association - APHA com o seguinte resultado: 7,8 de pH.

Conforme Kihila, Mtei e Njau (2014) em seu sistema de *wetlands* para tratar esgoto doméstico para posterior uso na irrigação, a metodologia de amostragem seguiu por coletas usando garrafas de plástico, nas estações secas e molhadas do ano (inverno e verão) e 2 vezes por semana, seguindo devidamente a APHA 1999. Os parâmetros de medição foram: pH, condutividade, sólidos dissolvidos totais, OD,

temperatura, nitrato, amônia, fósforo, potássio, cloro, DQO e coliformes fecais. Os parâmetros químicos foram analisados pelo método APHA. Os parâmetros físicos foram medidos no local e nos biológicos foi utilizada a técnica de filtração por membrana.

No caso descrito por Zidan *et al.* (2015), três tipos de leitos com materiais diferentes foram usados em três *wetlands* de fluxo horizontal subsuperficial para tratamento de esgoto doméstico (o tipo de planta utilizada não foi especificado). As coletas foram realizadas 2 vezes por semana, com 4 amostras coletadas manualmente em garrafas de 500 mL a cada coleta. Os parâmetros analisados foram: DQO, DBO e sólidos suspensos total. A DQO apresentou valores entre 19 e 49% de redução.

Colares e Sandri (2013) para polimento de esgoto sanitário com *Typha sp.* utilizaram 5 pontos de coleta de amostras: DQO, DBO, sólidos suspensos totais, sólidos totais, turbidez, pH, coliformes e *Escherichia coli* pela APHA 2005. O pH variou entre 7,4 e 8,2; a turbidez teve eficiências de 66,89%, 72,11% e 71,37% e a DQO de 65,40%.

Aproximado ao esgoto doméstico está o urbano o qual também é muito tratado pelas CWs. Ávila, Garfí e García (2013), em seu sistema híbrido de *wetland* para tratar esgoto urbano com *Phragmites australis*, utilizaram os seguintes parâmetros: DQO, DBO, sólidos suspensos totais, nitrogênio amônia, nitrogênio nítrito e nitrato, ortofosfato, fósforo, sulfato, nitrogênio Kjeldahl total, *Escherichia coli*, helmintos, temperatura, OD, pH e condutividade. O resultado para DQO foi 65% de eficiência de redução. Os métodos de análise utilizados foram: EN 25663 1993 (Determinação de nitrogênio Kjeldahl com método de acordo com a digestão com selênio (ISO 5663: 1984); versão alemã EN 25663: 1993), APHA 2001 e método de Bailenger. As amostras foram colhidas toda semana no mesmo dia e horário em alíquotas de 1,5L.

Leto *et al.* (2013), através de um sistema de *wetlands* de fluxo horizontal com *Cyperus alternifolius L.* e *Typha latifolia L.* para tratamento de efluente urbano, realizaram uma amostragem através de coleta mensal, totalizando 19 amostras. O peso da biomassa seca foi obtido por secagem à 62°C por 72 horas. Os parâmetros e metodologias utilizadas foram: pH, condutividade, temperatura e OD por medidor universal portátil; sólidos suspensos total, DBO, DQO, nitrogênio Kjeldahl total, amônia e fósforo total pelo método IRSA-CNR (método italiano de análise da água)

de 2004; coliforme fecal *streptococci*, *Escherichia coli* e *Salmonella spp.* foram de acordo com a APHA 1998. Os resultados encontrados foram: pH na faixa 7,7 a 7,8; temperatura em torno de 21,6°C, condutividade de 13,4 a 17,4% de redução, OD de 0,9 mg/L e DQO variando entre 66,6 a 75,7% de redução.

Conforme Abou-Elela e Hellal (2012), o método utilizado para todas as análises de uma *wetland* de fluxo vertical construída para tratar efluente urbano e plantada com *Canna*, *Phragmites australis* e *Cyperus papyrus* foi o da APHA 2005. Os parâmetros mensurados foram: DQO, DBO, temperatura por sensor de radiação solar, amônia, nitrogênio Kjeldahl total, fósforo total, coliforme total, coliforme fecal, *Escherichia coli*, metais pesados, sólidos suspensos total, nitrito e fosfato. Encontraram para a DQO 88% de eficiência de redução.

Ainda dentro do quesito urbano, porém em menor escala, tratamentos pontuais são utilizados com muita eficácia. Segundo Trein *et al.* (2015), em uma *wetland* de fluxo vertical plantada com *Cyperus papyrus nano* e *Cyperus papyrus* para tratamento de esgoto vindo de empreendimento comercial e residencial, as coletas de amostras mensais ocorreram no prazo de 20 meses. Os locais de amostragem foram: esgoto bruto, entrada e saída das 2 *wetlands*. Os parâmetros analisados foram: pH, alcalinidade, DQO, DBO, sólidos em suspensão, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrito, nitrogênio nitrato, fósforo ortofosfato e *Escherichia coli* pelos métodos APHA, 1998 e 2005; nitrogênio amoniacal pelo Vogel 1998.

Conforme objetivo desse trabalho, também há experimentos relacionados a etapa de polimento com seus respectivos resultados de análises. Em sua pesquisa para polimento com *wetland* de fluxo horizontal subsuperficial com *Typha domingensis* para tratar chorume de aterro sanitário, Braile Jr. (2015) conseguiu a redução de 20% da DQO e médias de pH e condutividade; 7,94 e 13,59  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; respectivamente.

Salomão *et al.* (2012) também utilizaram *wetland* para polimento em um sistema intercalando macrófitas (*Eichhornia crassipes* como flutuante, *Schoenoplectus sp.* como emergente e *Gramineae Panicum cf. racemosum* como macrófita com raízes capilares) e algas para tratar efluente de um campus universitário. No estudo houve coleta de amostras durante 15 dias num período de 11 meses. Os parâmetros e métodos utilizados foram: pH, OD, DQO, temperatura, nitrato, nitrito, amônia, sólidos suspensos voláteis pela APHA 2005; fósforo total pelo Hach method. A biomassa foi filtrada e colhida por 15 dias, seca por 48 horas à

60°C. O coliforme fecal foi obtido pelo método 14053 Endo NS. Os resultados encontrados foram: 7,4% de eficiência na redução da DQO; OD na faixa de 3,15 mg/L; pH igual a 7,11 e 8,24g/m<sup>2</sup>.dia de produção de biomassa.

Outras finalidades são encontradas no tratamento com CWs, inclusive o tratamento de esgoto somente industrial. Segundo estudos de Gorra *et al.* (2014) relacionados a tratamento de efluente da produção de leite em uma fábrica com *Phragmites australis*, *Typha latifolia* L. e *Scirpus lacustres* L., os parâmetros e metodologias utilizadas foram as seguintes: pH através de medidor; DBO e nitrogênio Kjeldahl total pela APHA de 1992; nitrogênio amoniacal por colorimetria; nitrato por cromatografia iônica; nitrogênio orgânico; coliformes totais e *Escherichia coli*. O resultado para a temperatura do ar foi de variação de -10 a 27°C.

Suntti, Magri e Phillippi (2011) avaliaram um sistema de fluxo vertical plantado com *Zizaniopsis bonariensis* com a finalidade de desaguamento de lodo de tanque séptico, e analisaram os parâmetros: pH, DQO, sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos fixos totais, sólidos voláteis totais, nitrogênio Kjeldahl total, amônia, nitrito e nitrato o método utilizado foi da APHA de 1998. A DQO apresentou valores de eficiência entre 94 e 99% e pH de 7,4. A Tabela 2-1 resume todos os autores descritos neste item.

Tabela 2-1 – Tabela resumo

Parâmetros	Tipos de fonte	Métodos de análise	Resultados de interesse (pH, DQO, turbidez, cor, temperatura, OD e condutividade) mencionados	Referências
DBO, DQO e coliformes termotolerantes	Domiciliar		DQO-redução de 78%	Almeida, Pitaluga e Reis (2010)
Sólidos sedimentáveis DBO, fosfato, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, pH, coliformes totais e fecais	Doméstico	APHA	pH-7,8	Ferreira e Saron (2013)
pH,	Doméstico	APHA 1999 –		Kihila, Mtei e

condutividade, sólidos dissolvidos totais, OD, temperatura, nitrato, amônia, fósforo, potássio, cloro, DQO e coliformes fecais		amostragem e análise química, medições no local- parâmetros físicos, técnica de filtração por membrana - parâmetros biológicos		Njau (2014)
DQO, DBO e sólidos suspensos totais	Doméstico	Coletas 2 vezes por semana com 4 amostras coletadas manualmente em garrafas de 500mL cada	DQO-redução variando de 19 a 49%	Zidan <i>et al.</i> (2015)
DQO, DBO, sólidos suspensos totais, sólidos totais, turbidez, pH, coliformes E <i>Escherichia coli</i>	Sanitário	APHA 2005	pH-variou entre 7,4 e 8,2, turbidez- reduções de 66,89%, 72,11% e 71,37%, DQO- 65,40%	Colares e Sandri (2013)
DQO, DBO, sólidos suspensos totais, nitrogênio amônia, nitrogênio nitrito e nitrato, ortofosfato, fósforo, sulfato, nitrogênio Kjeldahl total, <i>Escherichia coli</i> , helmintos, temperatura, OD, pH e condutividade	Urbano	APHA 2001, EM 25663 1993 e método de Bailenger, coletas semanais no mesmo horário em alíquotas de 1,5 L	DQO-65% de redução	Ávila, Garfí e García (2013)
pH, condutividade, temperatura, OD, sólidos	Urbano	Coletas mensais, biomassa seca obtida	Temperatura- em torno de 21,6°C, condutividade-	Leto <i>et al.</i> (2013)

suspensos total, DBO, DQO, nitrogênio Kjeldahl total, amônia, fósforo total, coliforme fecal <i>streptococci</i> , <i>Escherichia coli</i> e <i>Salmonella spp</i> e biomassa seca		por secagem à 62°C por 72 horas, medidor universal portátil-parâmetros físicos, método IRSA-CNR 2004-parâmetros químicos e APHA 1998-parâmetros biológicos	redução de 13,4 a 17,4%, OD-0,9mg/L, DQO-entre 66,6 e 75,7% de redução, pH-de 7,7 a 7,8	
DQO, DBO, temperatura, amônia, nitrogênio Kjeldahl total, fósforo total, coliforme total, coliforme fecal, <i>Escherichia coli</i> , metais pesados, sólidos suspensos total, nitrito e fosfato	Urbano	APHA 2005 e sensor de radiação solar-temperatura	DQO-88% de redução	Abou-Elela e Hellal (2012)
pH, alcalinidade, DQO, DBO, sólidos em suspensão, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrito, nitrogênio nitrato, fósforo ortofosfato, <i>Escherichia coli</i> e nitrogênio amoniacal	Comercial e residencial	Coletas mensais durante 20 meses, Vogel 1998-nitrogênio amoniacal, APHA 1998 e 2005-demais parâmetros		Trein <i>et al.</i> (2015)
DQO, pH e condutividade	Chorume de aterro sanitário		DQO-20% de redução, pH-7,94 e condutividade-	Braille Jr. (2015)

			13,59 $\mu$ S/cm	
pH, OD, DQO, temperatura, nitrato, nitrito, amônia, sólidos suspensos voláteis, fósforo total, biomassa e coliforme fecal	Campus universitário	Coletas durante 15 dias distribuídas em 11 meses, APHA 2005, Hach method-fósforo total, biomassa-filtrada e colhida por 15 dias, seca por 48 horas à 60°C, 14053 Endo NS-coliforme fecal	DQO-7,4%, OD-3,15mg/L, biomassa-8,24g/m <sup>2</sup> .dia e pH-7,11	Salomão <i>et al.</i> (2012)
pH, temperatura do ar, DBO, nitrogênio Kjeldahl total, nitrogênio amônia, nitrato, nitrogênio orgânico, coliformes totais e <i>Escherichia coli</i>	Indústrias	Medidor-pH, APHA 1992-DBO e nitrogênio Kjeldahl total, colorimetria-nitrogênio amônia, cromatografia iônica-nitrato	Temperatura do ar- variou de -10 a 27°C	Gorra <i>et al.</i> (2014)
pH, DQO, sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos fixos totais, sólidos voláteis totais, nitrogênio Kjeldahl total, amônia, nitrito e nitrato	Lodo de tanque séptico	APHA 1998	DQO-entre 94 e 99%, pH-7,4	Suntti, Magri e Phillippi (2011)

## 2.2 SALINIDADE EM PLANTAS

Vinda de ambientes naturais, as CWs podem ser fortemente influenciadas por fatores que a circundam, como por exemplo, a salinidade. Mensurações feitas por

Alencar *et al.* (2003) descreveram a salinidade encontrada num estudo de toxicidade com sal em irrigação do cultivo da planta terrestre *Cucumis melo L.* sendo de 0,55 e 56,3 dS/m. O pH da mesma água de poço e do mar foram, respectivamente: de 8,0 e 7,4.

A salinidade em excesso é muito prejudicial às plantas. Segundo Esteves e Suzuki (2008), o estresse salino causado provoca alterações metabólicas, como: diminuição da retenção de nutrientes e de íons  $K^+$  e  $Ca^+$  (que são reguladores); diminuição de enzimas antioxidantes; aumento de substâncias oxidativas; diminuição do efeito osmótico, diminuição da retenção de clorofila a e da fotossíntese. Os prejuízos causados dependem da concentração e da composição de íons presentes no meio. Há mecanismos desenvolvidos pelas plantas para se adaptar ao meio mais salino. Entre esses a biossíntese de osmólitos, que ajudam no balanço osmótico e que são compostos de açúcares, polióis e compostos nitrogenados; além da ocorrência de características mutagênicas para reverter os efeitos da salinidade.

Esteves e Suzuki (2008) afirmam que os efeitos tóxicos do sal são mais evidentes principalmente nas folhas, onde há diminuição da área superficial. As diversas alterações metabólicas provocam uma redução das folhas, raízes, parte aérea, comprimento e altura dos vegetais mesmo em plantas aquáticas. Conforme Jampeetong e Brix (2009), a salinidade de NaCl em *Salvinias natans* acima de 50Mm afeta no tamanho e quantidade de raízes. O excesso de salinidade é tóxico as plantas, podendo levá-las a morte. Gomes *et al.* (2011) afirmam que níveis salinos muito elevados interferem negativamente no crescimento da *Salvinia auriculata* e no seu metabolismo e morfologia.

Ambientes como lagoas de tratamento de esgoto podem apresentar elevada salinidade gerando, portanto, maior estresse pela macrófita. Segundo Bissegger *et al.* (2014), há uma relação entre a área de raízes e a capacidade de tratamento das macrófitas aquáticas. Quanto maiores são as plantas, mais eficiente é o tratamento. Room e Gill (1985) relatam que em comparação com outros meios onde se encontram *Salvinia* as lagoas contendo esgoto tem maior condutividade elétrica. Condutividades de 1375  $\mu\text{S}/\text{cm}$  são encontradas nesses ambientes.

### 2.3 ENSAIOS DE TRATABILIDADE/TOXICIDADE

Segundo Magalhães e Ferrão Filho (2008), os estudos de toxicidade são essenciais para a análise da qualidade da água. Só as análises físico-químicas não mostram os reais impactos das diversas substâncias despejadas na água pelo homem. Para a realização desses estudos são utilizados organismos vivos, submetidos a determinadas condições. Os efeitos causados nos organismos são diversos: desde interferência na taxa de indivíduos sobreviventes, no crescimento e na reprodução, até mudanças comportamentais. Os dois principais estudos existentes são o agudo (a curto prazo (0-96h) com uma dose maior) e o crônico, a longo prazo (1/10 da vida do organismo até uma vida inteira), com doses diluídas e espaçadas. A análise dos sedimentos aquáticos também é de extrema importância; visto que as substâncias tóxicas podem ficar depositadas aí e serem levantadas novamente a qualquer turbulência no meio.

Esses autores ainda relatam que quanto maior é a semelhança dos testes com o ambiente real estudado maior é a otimização do estudo. Portanto o uso de organismos testes de diversos níveis tróficos em várias etapas da vida podem mostrar diferentes sensibilidades às substâncias testadas. Além disso, o teste *in-situ* reproduz com mais firmeza o estado das substâncias frente a influência dos diversos fatores ambientais do meio estudado.

Exemplo desse tipo de teste de toxicidade relacionado a salinidade foi realizado por Izzati (2015), em um estudo realizado com 20 espécies de plantas aquáticas, dentre essas a *Salvinia molesta*. Aquários pequenos de mesmas medidas, com água fresca para cada planta, foram utilizados aplicando-se sal e nutrientes periodicamente. Nessa pesquisa, os resultados, quanto a tolerância a salinidade, encontrados para as plantas de água doce foram: *Hydrilla verticillata* (10 ppt<sup>5</sup>), *Ceratophyllum demersum* (5 ppt), *Myriophyllum spicatum* (10 ppt), *Salvinia molesta* (10 ppt), *Pistia striotes* (15 ppt), *Eichornia crassipes* (10 ppt), *Nymphoides aquatica* (10 ppt), *Elodea sp.* (0 ppt), *Oxalis Javanica* (0 ppt), *Utricularia sp.* (0 ppt), *Chara vulgaris* (10 ppt) e *Lemna minor* (15 ppt).

Room e Gill (1985) encontraram uma condutividade de  $1375,4 \pm 149,5$  ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para *Salvinia molesta*.

---

<sup>5</sup> 1 ppt = Parte por trilhão. Essa é uma relação química de massa ou volume entre soluto e solvente. Exemplo: Para cada 1g de soluto existe 10<sup>12</sup>g de solvente.

### 3 METODOLOGIA

A estação de tratamento em que o estudo de tratabilidade da CW ocorreu é localizada na cidade de Paracambi no estado do Rio de Janeiro no Brasil. As coordenadas de sua localização são  $22^{\circ}35'45.43''\text{S}$  e  $43^{\circ}42'42.50''\text{O}$  (Figura 3-1).

Figura 3-1 – Estação de tratamento de esgoto DBO localizada em Paracambi



Segundo análise climática de Coutinho *et al.* (2015), o município de Paracambi, localizado no estado do Rio de Janeiro, possui um clima tropical úmido com precipitação média anual de 772 mm e temperatura média do ar de  $22,74^{\circ}\text{C}$ . A precipitação não influencia no projeto de estudo, portanto não foi quantificada, as temperaturas do esgoto e o ar foram periodicamente medidas.

A Central de Tratamento de Efluentes *offsite* localizada no município de Paracambi-RJ, recebe efluentes de diversas matrizes e de diferentes geradores localizados no estado do Rio de Janeiro. As principais matrizes recebidas para

tratamento na CTE são: Efluentes Sanitários, Efluentes Industriais, Efluentes de Caixa de Gordura e Águas oleosas.

Os geradores de efluentes industriais enviam uma amostra para a CTE para que se faça uma caracterização do efluente e a melhor rota de tratamento seja adotada dentro da CTE. Os efluentes chegam em caminhões ou carretas e descarregam os efluentes nas células destinadas a cada tipo de efluente.

As águas oleosas passam por uma caixa separadora de água e óleo para a separação do óleo livre por diferença de densidade. Em seguida passam por tratamento primário por coagulação e floculação para separar o óleo emulsionado. A fração aquosa segue para o tanque de equalização e o lodo segue para um leito de secagem destinado a resíduos classe I.

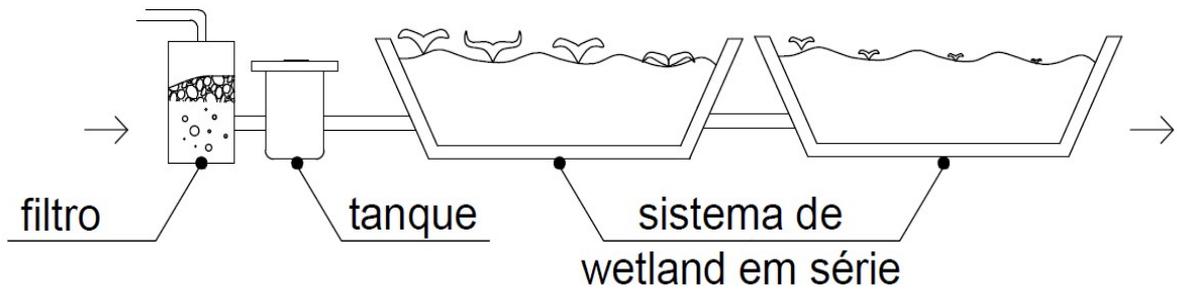
Os efluentes industriais passam por tratamento primário adequado a suas características e a fração aquosa segue para o tanque de equalização, enquanto o lodo gerado é destinado ao leito de secagem destinado a resíduos classe II. Os efluentes de caixa de gordura passam por tratamento primário por coagulação e floculação e enquanto o lodo gerado é destinado ao leito de secagem destinado a resíduos classe II. Os efluentes sanitários e oriundos de fossa séptica são enviados diretamente ao tanque de equalização.

O efluente equalizado é recalcado para o tanque de aeração onde passa por processo de tratamento aeróbio em batelada. O efluente secundário é recalcado para decantadores secundários e de lá é recalcado para filtros de areia para o tratamento terciário que consiste em filtração com membranas. O efluente terciário é lançado no corpo receptor.

Em resumo, antes de chegar a etapa de polimento, o esgoto sanitário chega até a estação e passa pelos seguintes processos de tratamento: transporte e descarregamento do esgoto da origem até a estação em um tanque, desaguamento em um bag, tanque de equalização, tanque de aeração 1, tanque de aeração 2, tanque de reação, decantador, filtro de areia, membrana de nanofiltração.

O afluente de estudo é composto pelo efluente sanitário e industrial tratado no filtro de areia. Em termos de localização dentro do sistema, a etapa em que o *wetland* em escala de estudo se situa em paralelo com as membranas de nanofiltração, na etapa de polimento, após o filtro de areia, como é mostrado na Figura 3-2.

Figura 3-2 – Etapa de polimento da estação



Todo o processo, desde a construção, adaptação das plantas ao efluente, funcionamento e encerramento do monitoramento durou um período compreendido entre os meses de abril e setembro de 2016.

### 3.1 DETALHES SOBRE A WETLAND

A *wetland* foi constituída de um tanque de entrada e dois leitos com *Salvinias molesta* flutuantes em série, em uma configuração similar a que foi adotada por Salomão *et al.* (2012), em um sistema de *wetlands* em série construído em uma cidade de clima semelhante ao de Paracambi para realização da etapa de polimento após, dentre outros processos, um filtro de areia.

A escolha dessa planta ocorreu pela sua grande incidência na região de estudo, tendo sido colhida num lago residencial na cidade do Rio de Janeiro. Segundo Bissegger *et al.* (2014), apesar de não ser a planta aquática flutuante que mais remove matéria orgânica e inorgânica por não produzir a maior biomassa de raízes, a *Salvinia molesta* com ou sem associação com outras plantas gera em sua zona de raízes um ótimo habitat para muitos microrganismos. Essa zona habitada forma o lodo biológico que vai fazer o tratamento do esgoto.

Nivala *et al.* (2013) discutiram sobre qual design produz o melhor desempenho numa *wetland*. Os autores buscaram distribuir melhor o efluente através do leito para um crescimento homogêneo da biomassa. Nesse trabalho, buscou-se uma distribuição mais natural, na qual o efluente entra pelo início da série e sai ao final dela. De acordo com Trein *et al.* (2015), os fatores hidráulicos e de nutrição são cruciais no desempenho de uma *wetland*.

### 3.1.1 Dimensionamento

O dimensionamento do sistema seguiu a metodologia de Mitsch e Gosselink (2007), na qual a carga hidráulica e o tempo de detenção teórico são dependentes. A metodologia de dimensionamento utilizada para achar o tempo de retenção hidráulico também foi encontrada no artigo de revisão de Sezerino *et al.* (2015). Esses foram calculados a partir dos dados da área da *wetland* e da vazão afluyente já existentes, seguindo as equações:

$$q = 100.(Q/A) \quad \text{sendo,} \quad (1)$$

q – taxa de carga hidráulica

Q – volume do afluyente

A – área da superfície do *wetland*

$$t = V.p/Q \quad (2)$$

t – tempo de detenção teórico

V – volume do leito da *wetland*

p – porosidade média (~1.0 para fluxo de superfície)

Q – taxa de vazão através do leito da *wetland* (Q = (vazão afluyente + vazão efluyente) /2)

A princípio foi considerado a vazão afluyente igual a vazão efluyente devido a não interferência da chuva e a necessidade de dados de evapotranspiração das plantas em estudo. Knight (1990, apud MITSCH; GOSSELINK, 2007) definiu a partir de estudos sobre *wetlands* as faixas de 5 a 14 dias para tempo de detenção teórico e de 2,5 a 5 cm/dia para taxa de carga hidráulica para fluxo de superfície. As Tabela 3-1 e Tabela 3-2 mostram os resultados encontrados.

Tabela 3-3-1 - Cálculo da carga hidráulica

Dados Preenchidos	
Dados Calculados (*)	
Vazão do afluyente (m³/s)(*)	0,0000
Vazão do afluyente (L/s)(*)	0,0011
Vazão do afluyente Q(m³/dia)	0,0975
Área da superfície da <i>wetland</i> (m²)	1,2190
Área da superfície da <i>wetland</i> - A(m²) (*)	2,4380
Taxa de carga hidráulica - q = 100(Q/A)[cm/dia](*)	4,0000

Tabela 3-3-2 - Cálculo do tempo de detenção teórico

Dados Preenchidos	
Dados Calculados (*)	
Altura da <i>wetland</i> (m)	0,66
Volume da bacia da <i>wetland</i> - volume do fluxo (m <sup>3</sup> ) (*)	0,80
Porosidade do substrato ~ 1,0 para fluxo de superfície	1,00
Taxa de fluxo pela <i>wetland</i> [(Qafluente+Qefluente)/2] (m <sup>3</sup> /dia) (*)	0,08
Tempo de detenção teórico (*)	10,0000

### 3.1.2 Materiais e construção

A etapa de construção foi dividida basicamente em três partes: montagem dos leitos da CW e do tanque de alimentação; montagem do flutuador do tanque e correções de eventuais erros; colocação dos vegetais e dos peixes para a adaptação, sendo que a etapa adaptativa já se iniciou após a montagem dos leitos.

Para a montagem dos leitos foram necessárias duas piscinas infantis de 400L de volume e com 0,33 m de altura x 1,2190 m<sup>2</sup> de área cada. Abaixo das piscinas foram colocadas lonas de borracha para evitar perfurações por pedras e estabilizar a declividade do terreno (Figura 3-3). Com as piscinas montadas, seguiu-se a montagem do tanque e a sua ligação com a primeira piscina e entre as piscinas em série, com as seguintes peças: lixeira plástica de 100 l, 16 m de mangueira transparente com ½ de diâmetro, 4 buchas redutoras de ¾" para ½", 4 luvas de ¾", 3 bicos de mangueira, 1 tubo de silicone, 4 flanges de caixa d'água, 2 torneiras ¾" (Figuras 3-3 a 3-7).

Figura 3-3 – As duas piscinas montadas



Figura 3-4 - Ligação das duas piscinas através de mangueira transparente



Figura 3-5 - Flanges e bico de mangueira para ligar as piscinas



Figura 3-6 - Entrada na primeira piscina, mangueira ligada ao bico de mangueira e ao flange



Figura 3-7 – Torneira ligada a piscina por flange



A lixeira de 100L foi utilizada como tanque de alimentação. Abaixo desse foi colocado uma luva com flange e por último uma torneira na parte externa. A ligação entre as piscinas ocorreu através de luva, flange e bicos de mangueira e um pequeno pedaço de mangueira. O procedimento foi semelhante na saída do sistema no último leito, com a diferença da colocação no lugar do bico de mangueira de outra torneira. O restante da mangueira foi utilizado na ligação do tanque com o primeiro leito, num tamanho variável dependendo da distância entre esses. As buchas redutoras serviram para encaixar a luva com os bicos de mangueira e as torneiras, pois estas tinham diâmetros diferentes.

Com base na metodologia de Braile Jr. (2015) um flutuador foi construído para controle e regularização da vazão que sai do tanque em direção a primeira piscina (Figura 3-8). Para a sua montagem foram necessários: 4 pedaços de tubo de PVC de 20 mm de diâmetro, 4 joelhos com o mesmo diâmetro, 1 régua de acrílico com 30 cm, 1 bico de mangueira, 1 tubo de silicone e 2 braçadeiras. Os 4 pedaços de tubo foram encaixados entre si unidos pelos joelhos, formando um quadrado. Com o auxílio de uma furadeira, foram feitos furos para encaixe da régua no quadrado.

Figura 3-8 – Flutuador



A união do flutuador construído com o tanque foi através da mangueira de dentro do tanque com o bico de mangueira do flutuador. Contudo, ao testar o flutuador foi constatado que a partir de um determinado nível do tanque a dobragem da mangueira impedia a vazão fluir. Esse problema foi resolvido através da troca do tanque no formato de lixeira por outro no formato de um galão, conforme Figura 3-9. O flutuador e o pedaço de silicone foram inutilizados devido a vazão de saída do tanque ter sido de aproximadamente 3,8 mL/s.

Figura 3-9 – Galão



A marca do nível de 100 litros no tonel foi feita por cubagem (enchimento de 10 litros de água através de proveta graduada num balde menor, colocação dessa medida 10 vezes no tonel com o balde cubado), o nível encontrado foi marcado com tinta. O fósforo posteriormente introduzido era diluído, o que restava do volume morto era esvaziado, portanto não interferia na concentração de fósforo do afluente do próximo enchimento do tonel.

Para evitar a entrada de água de chuva no experimento foi construída uma tenda com tubos de PVC de 50mm e plástico grosso. Com o auxílio de furadeira e com o uso de conexões foi possível realizar a montagem, um outro furo foi feito no centro da parte superior para escoar a chuva e evitar o seu acúmulo. Os tubos verticais foram rosqueados às bases de concreto para fixá-los ao chão. Uma parte do plástico foi colocada na lateral da tenda para evitar a entrada de folhas vindas das árvores próximas. A tenda ficou com as medidas: 1 m de altura, 2,80 m de comprimento e 1,40 m de largura (Figuras 3-10 a 3-12).

Figura 3-10 – Cobertura da tenda vista de baixo



Figura 3-11 - Vista superior da tenda

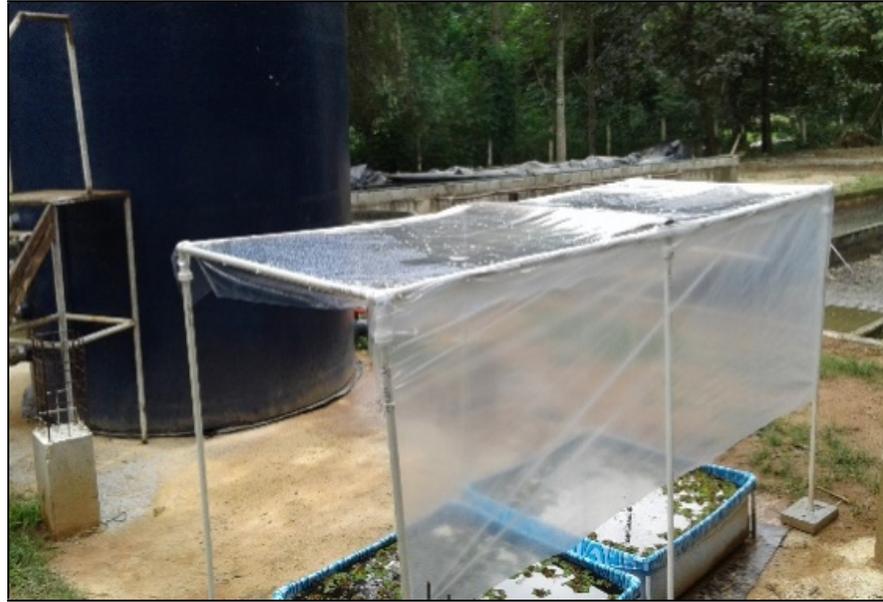


Figura 3-12 - Vista isométrica da tenda



### 3.1.3 Adaptação da macrófita

A adaptação da macrófita não seguiu uma metodologia existente, pois não foram encontrados muitos artigos que descreveram essa etapa. Portanto, uma quantidade não pré-definida foi colocada dentro do CW já preenchido com o efluente a ser tratado. Problemas com vetores começaram a surgir devido a água parada: algas e larvas de mosquito apareceram no efluente. Foi então necessária a colocação de peixes (Figura 3-13) que comessem os ovos, larvas e algas sem

prejudicar a vegetação de *Salvinias molesta*. A espécie escolhida foi o *Danio rerio* dos tipos vermelho e preto.

Figura 3-13 – Peixes *Danio rerio*



Em fase de projeto, notou-se que haveria necessidade de reposição de fósforo por ser um nutriente escasso no afluente da CW. Sua escassez já havia sido previamente detectada em análises laboratoriais da amostra. Portanto, para a relação DQO/N/P ser mantida na proporção de 100/5/1, para atender à necessidade biológica do vegetal, uma solução contendo fósforo foi preparada para aplicação semanal dentro do tanque que alimenta a CW. Os cálculos e a substâncias utilizadas podem ser conferidos através dos cálculos adiante.

A proporção de fósforo na substância de fosfato de sódio dibásico decahidratado ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) foi calculada através de estequiometria. A massa molar do fósforo sendo 30,97g e a massa total da substância igual a 141,96g, resultando numa porcentagem de 22% de fósforo.

Por meio da relação proporcional química entre a concentração e volume e da proporção entre DQO/P de 100/1, o volume da substância de fósforo necessária é,

$$N_i \cdot V_i = N_f \cdot V_f \quad (3)$$

$$20.000 \text{ mg/L} \cdot V_i = 1 \text{ mg/L} \times 100\text{L/d}$$

$$V_i = 0,005\text{L/d} = 5 \text{ mL}$$

Sendo,

$N_i$  – concentração da substância

$V_i$  – volume da substância

$N_f$  – concentração de fósforo

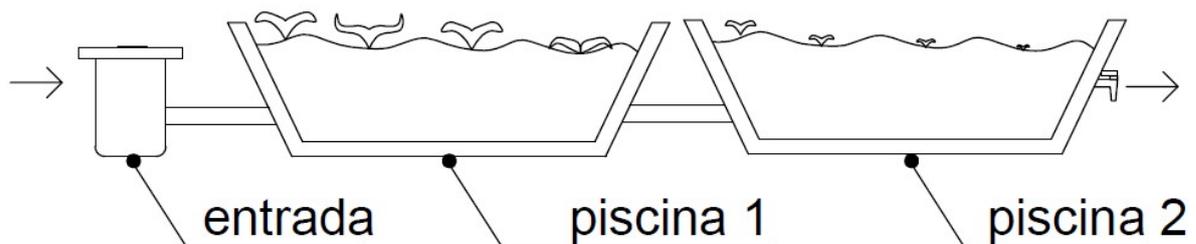
$V_f$  – volume de afluente da *wetland* diários

Esse volume de substância foi aplicado diariamente no afluente do sistema (dentro do tanque de alimentação) através de pipeta volumétrica de 5 mL calibrada proporcionando o crescimento evolutivo da vegetação. Além da adição do fósforo, ocorreu uma alimentação diária de 100 litros de afluente armazenados no tonel.

### 3.2 VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ANÁLISE

As análises dos parâmetros do sistema de tratamento seguem uma metodologia de coleta e análise apresentados nas Tabelas 3-3 e 3-4. O sistema foi dividido em 4 pontos para coleta de amostras e determinações em campo, conforme Figura 3-14.

Figura 3-14 – Esquema com os pontos de amostragem



São esses: entrada, piscina 1, piscina 2 e saída. Esses pontos foram escolhidos para comparação da eficiência de remoção de uma piscina para outra e a aferição dos parâmetros no afluente e efluente.

#### 3.2.1 Análises de campo e de laboratório

Os parâmetros adotados (cor, turbidez e DQO) foram analisados no laboratório da própria ETE, da Empresa DBO. O material e procedimentos seguiram as determinações da APHA (2012) (Tabela 3-3).

Tabela 3-3-3 - Parâmetros sua metodologia de aferição em laboratório - 2016

Parâmetros	Métodos ( <i>Standard Methods</i> ) (2012)
Turbidez	2130 (B) - Método Nefelométrico
Cor Aparente	2120 (B) - Método Espectrofotométrico comprimento de onda único
DQO	5220 (D) - Método Espectrofotométrico

A adoção desse método se deu em função da grande utilização em estudos de CWs pelo mundo. Os demais parâmetros físico-químicos foram medidos diretamente através do aparelho *Water Quality Meter* em campo. Os outros parâmetros medidos em campo foram: condutividade, pH, oxigênio dissolvido (OD) e temperatura por meio de equipamento multiparâmetros (Tabela 3-3-4).

Tabela 3-3-4 - Parâmetros e equipamentos de medição - 2016

Parâmetros	Métodos ( <i>Standard Methods</i> ) (2012)	Equipamento de medição
Turbidez	2130 (B)	Colorímetro - Hach DR 900
Cor	2120 (B)	Colorímetro - Hach DR 900 com adaptador
DQO	5220 (D)	Bloco Reator Digital- Hach DRB 200

Embora não considerado na parte de dimensionamento, a evapotranspiração foi adicionada nessa parte da análise de remoção de poluentes para correção dos dados de concentração de DQO encontrados, visto a grande influência da mesma observada durante os experimentos.

Conforme o método de Jensen-Haise utilizada por Dantas et al. (2016), na qual a evapotranspiração (EVT) é calculada através da equação:

$$EVT = ((0,025 \times T + 0,08) \times G) / 59 \quad (4)$$

Sendo,

T - temperatura do ar em °C

G – radiação solar incidente de onda curta em calorias /cm<sup>2</sup>.dia

Através do gráfico de radiação incidente por tipo de vegetação em W /m<sup>2</sup><sup>6</sup>, da pesquisa meteorológica de Pinto et al. (2010), obteve-se o valor de G para o período estudado.

O volume calculado para permanecer no leito durante o tempo de detenção, 10 dias, foi corrigido subtraindo-se a evaporação calculada durante o mesmo tempo. Com o resultado achado, obtêm-se a porcentagem do real volume remanescente nos leitos. Com o volume calculado, a correção das concentrações de DQO medidas podem ser realizadas.

<sup>6</sup> 1Watts = 859,85 calorias/hora

### 3.3 ESTIMATIVA DA BIOMASSA PRODUZIDA

A biomassa molhada foi estimada separando as plantas no leito e medindo a área que ocupa (Figura 3-15). Uma porção das plantas foi seca durante 1 hora na parte externa ao leito em uma peneira (Figura 3-16). Após a secagem, essa parte foi pesada e medida sua área de superfície (Figura 2-12). O resultado do peso dessa porção é extrapolado para o restante das plantas por meio da área total ocupada.

Figura 3-15 – Medição da área ocupada pelas plantas

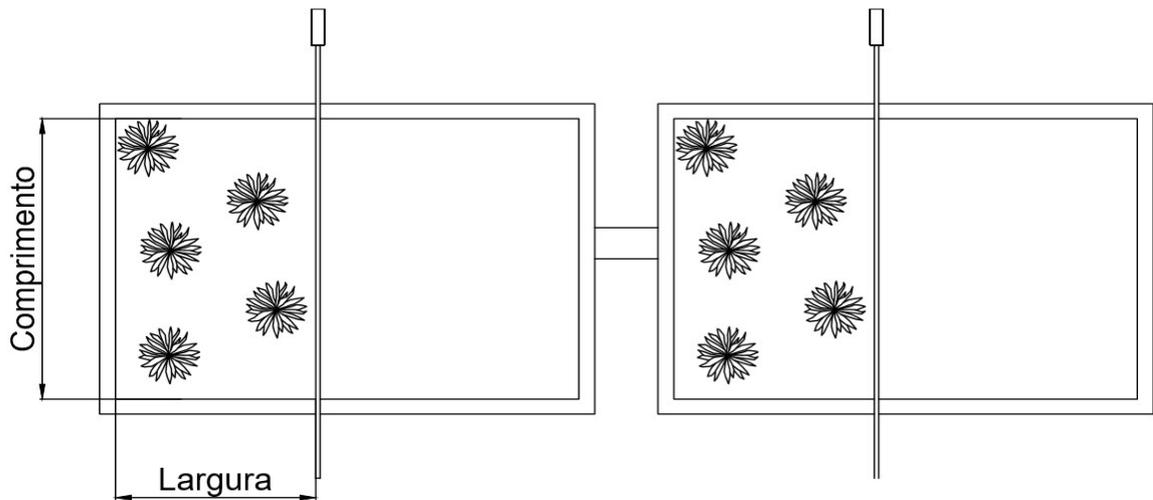


Figura 3-16 – Secagem e pesagem das plantas

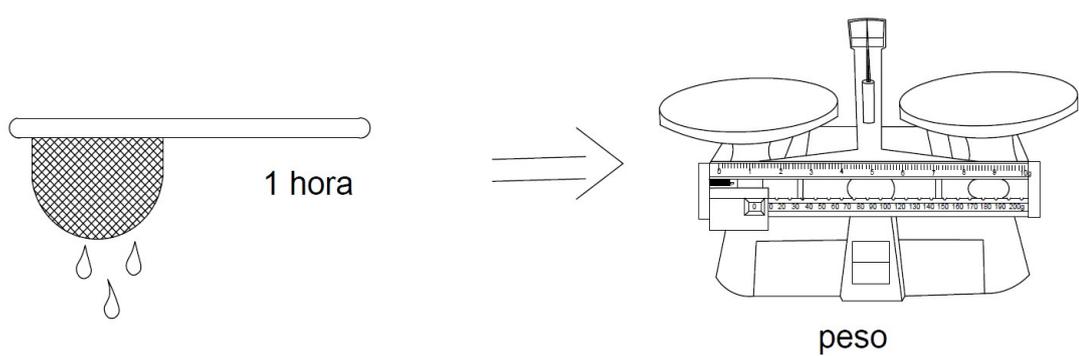
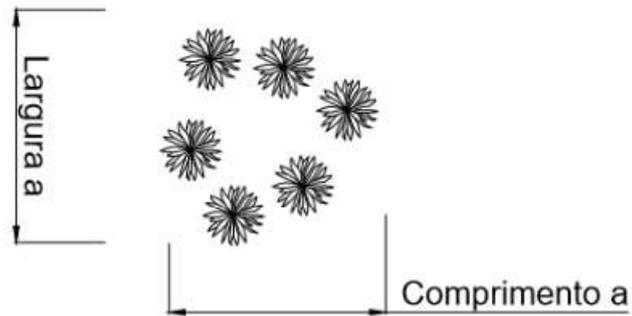


Figura 3-17 – Medição da amostra pesada



A biomassa morta também foi tirada e pesada. Ao ocupar completamente o leito, periodicamente foi necessário a retirada de parte da biomassa viva para proporcionar espaço ao crescimento de novas plantas. A retirada do excesso de biomassa da *Salvinia molesta* também foi realizada por Room e Gill (1985), após metade das plantas serem removidas periodicamente, seu peso molhado total era estimado por peso molhado por área ocupada.

As plantas removidas foram lançadas em um tanque de aeração desativado, embora o reuso de plantas aquáticas possa servir de matéria prima para diversas atividades. No caso da *Salvinia molesta*, segundo O'Sullivan *et al.* (2010), o uso para produção de biogás não é aconselhável devido a sua baixa produção, cerca de 155 L/Kg com apenas 50% de metano.

A estimativa da biomassa total por meio da medição da área ocupada dos leitos e da medição e pesagem de uma pequena parte foi realizada semanalmente. Ao ocupar todo o leito parte dessa biomassa teve que ser retirada. A Figura 3-18 a 3-23 mostram como ocorreu esse processo.

Figura 3-18 – Medição da área ocupada pela biomassa viva nos leitos com auxílio de um galho e uma trena



Figura 3-19 - medição da porção de plantas a ser pesada



Figura 3-20 - Secagem da amostra de plantas durante uma hora



Figura 3-21 - Pesagem das plantas secas



Figura 3-22 - Coleta do excesso de biomassa viva retirada no dia 15 de julho de 2016



Figura 3-23 - Pesagem do excesso de biomassa viva retirada no dia 15 de julho de 2016



As Figuras 3-24 a 3-27 mostram como ocorreu o descarte das plantas. Os locais de destino do descarte foram: tanque de aeração que estava desativado, a calha do decantador e o teste de 1 mês numa bacia com esgoto bruto.

Figura 3-24 – Descarte na canaleta do decantador



Figura 3-25 - Teste de tratamento de esgoto  
bruto em bacia



Figura 3-26 – Descarte no tanque de aeração desativado



Figura 3-27 – Descarte no tanque de aeração desativado

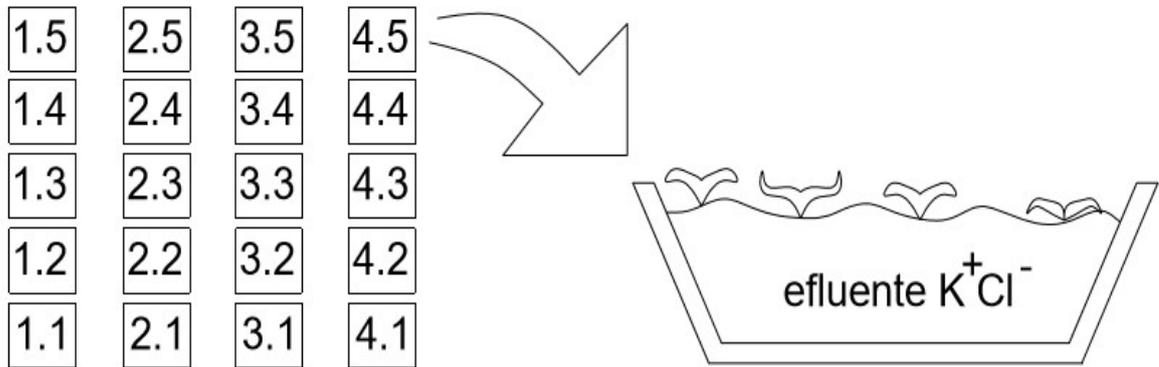


### 3.4 TESTE DE TOXICIDADE DE SALINIDADE

Através dos valores de salinidade de entrada nas *wetlands* numa faixa entre 2000 e 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , iniciou-se o estudo de toxicidade com sal para achar o limite suportado pelas plantas *Salvinia molesta*, com um incremento numa proporção de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  por teste. Cada teste foi constituído de 4 recipientes com 20 plantas cada, como ocorreu em quadruplicata, totalizou 20 recipientes com um total de 400 plantas. Os vasilhames possuem as seguintes dimensões cada: 12 cm, 18cm e 4 cm, em formato retangular.

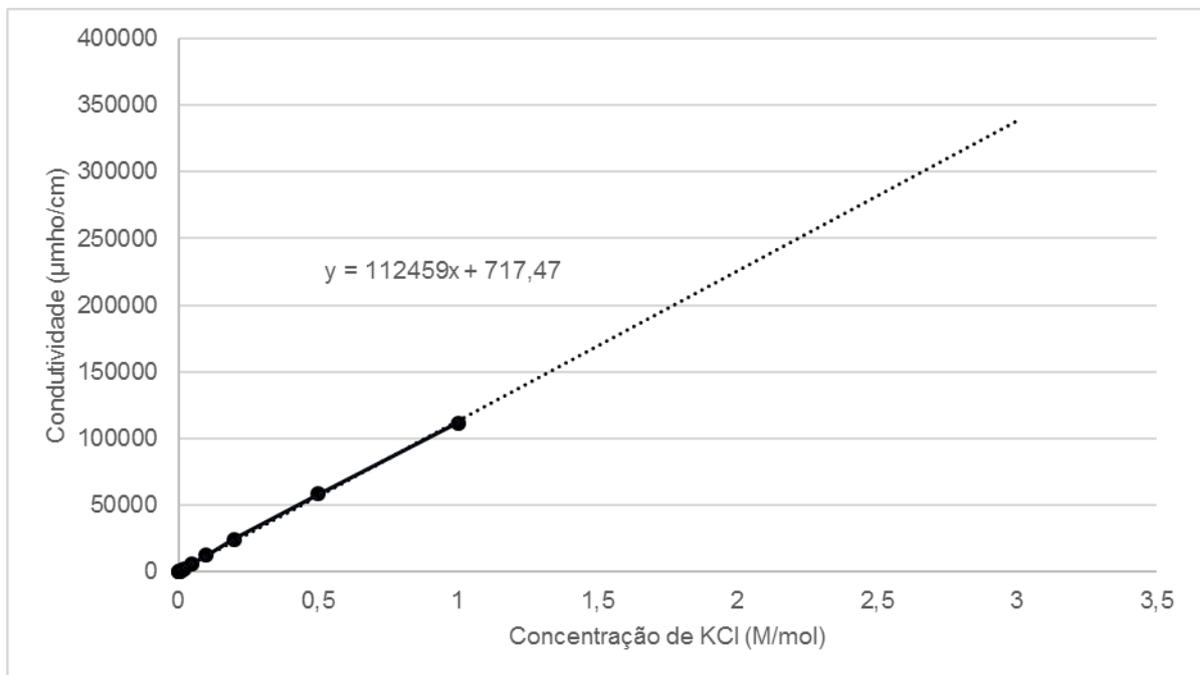
Uma prospecção também foi realizada nos 20 recipientes citados com salinidade de 4000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durante 3 semanas. Todos os testes, inclusive a prospecção, tiveram a configuração apresentada na Figura 3-28.

Figura 3-28 – Ordem de condutividade dos recipientes



Em sua primeira etapa, para delimitar uma faixa menor a ser estudada, a faixa de concentração de KCl a ser inserida foi de 2900 a 10000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Usando a progressão linear da APHA (2012), relacionando concentração de KCl com condutividade (método 2510 A.) e extrapolando sua equação (Figura 2-14), obteve-se a medida do volume mínimo de salmoura a ser adicionada por recipiente.

Figura 3-29 - Extrapolação da curva concentração de KCl x condutividade



Fonte: Dados do APHA, 2012.

Cada medida dessa tem o equivalente a 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de concentração de KCl a ser adicionada à concentração de sal já existente na água tratada no sistema. A faixa inicial de estudo teve como base o limite mínimo já suportado pelas plantas do sistema e o limite máximo de 25.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Como essas plantas vivem naturalmente em água doce, partiu-se do princípio que elas não resistiriam a essa condutividade (50% da condutividade marinha, segundo Alencar *et al.* (2003)).

A estimativa da quantidade de plantas sobreviventes ao teste ocorreu a partir da contagem das unidades de plantas vivas existentes nos vasilhames utilizados. Não foi possível realizar a contagem de ramos devido ao espalhamento dos mesmos. Ao contrário de Rani e Bhambie (1983) que usaram para estudar o crescimento da *Salvinia molesta* por influência da luz solar e da temperatura (variáveis dependentes entre si), o crescimento de novos números de ramos e o novo peso adquirido pelas plantas. Cancian, Camargo e Silva (2009) também contaram a quantidade de indivíduos em cada teste, no caso desses, o experimento ocorreu no intervalo de 3 dias durante 30 dias ao todo.

No presente estudo, a escolha do organismo-teste foi devido a sua já relatada eficiência de absorção de nutrientes, embora não haja muita precisão quanto a salinidade suportada por essa planta. Foi escolhido o teste de toxicidade num período de aproximadamente 1 semana com doses de solução de KCl diluídas no próprio efluente para a determinação da  $CL_{100}$  (concentração na qual 100% dos indivíduos morrem). Não foi analisado o sedimento devido as plantas serem flutuantes e não haver sedimentos nos recipientes do experimento. O teste foi realizado no mesmo local do tratamento do efluente em estudo, portanto, os organismos e as substâncias presentes nos recipientes foram submetidos as mesmas condições do tratamento realizado pelos mesmos indivíduos.

Em paralelo ao estudo com as plantas, outros organismos foram utilizados: os peixes *Danio rerio* foram colocados *in-situ* para biomonitoramento nas condições reais do leito de tratamento; e *Daphnias similis* (os microcrustáceos) foram colocadas em contato com o efluente em laboratório.

## 4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 OPERAÇÃO DA WETLAND

A evolução pode ser vista através das Figura 3-1, Figura 3-2, Figura 3-3 e Figura 3-4. Através destas figuras pode-se observar as mudanças na morfologia da planta e no incremento das montagens. As plantas, que antes apresentavam ramificações e um tamanho maior das unidades, tiveram redução de tamanho (observado principalmente pela diferença entre as Figura 3-1 e Figura 3-4) e mudanças visíveis no seu aspecto, principalmente quanto a deixar de se ramificar.

Figura 4-1 – Sistema no dia 13 de abril de 2016



Figura 4-2 – Sistema no dia 21 de maio de 2016



Figura 4-3 – Sistema no dia 7 de junho de 2016

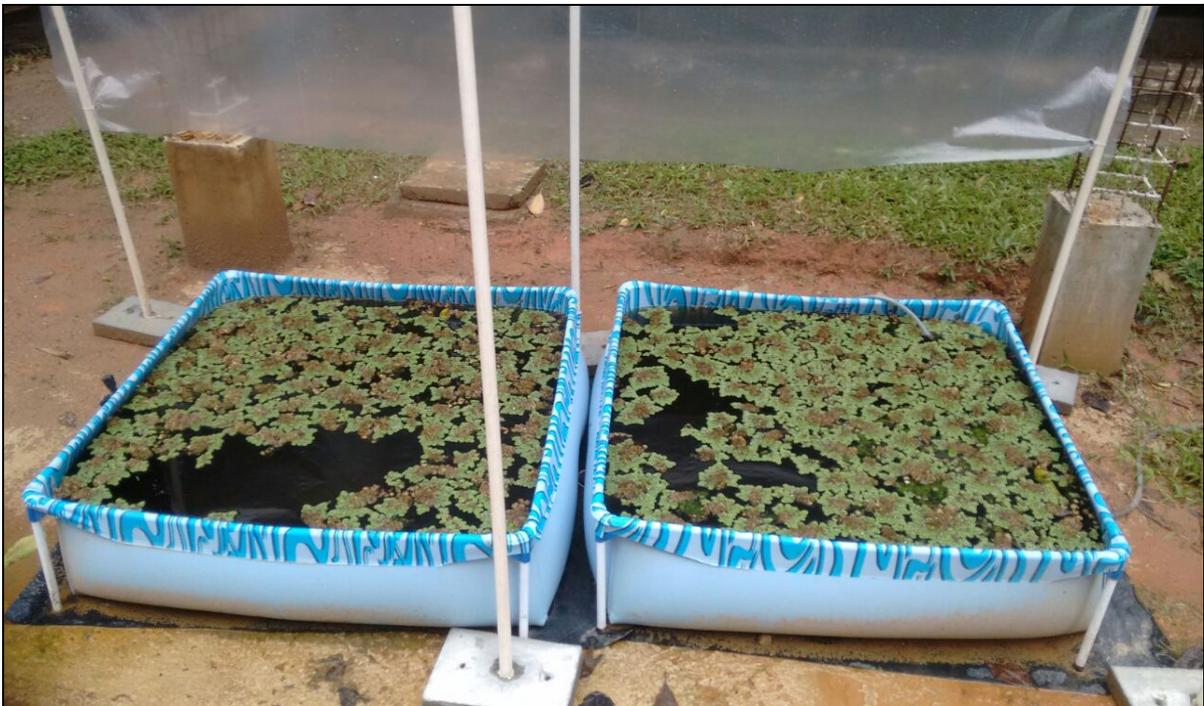
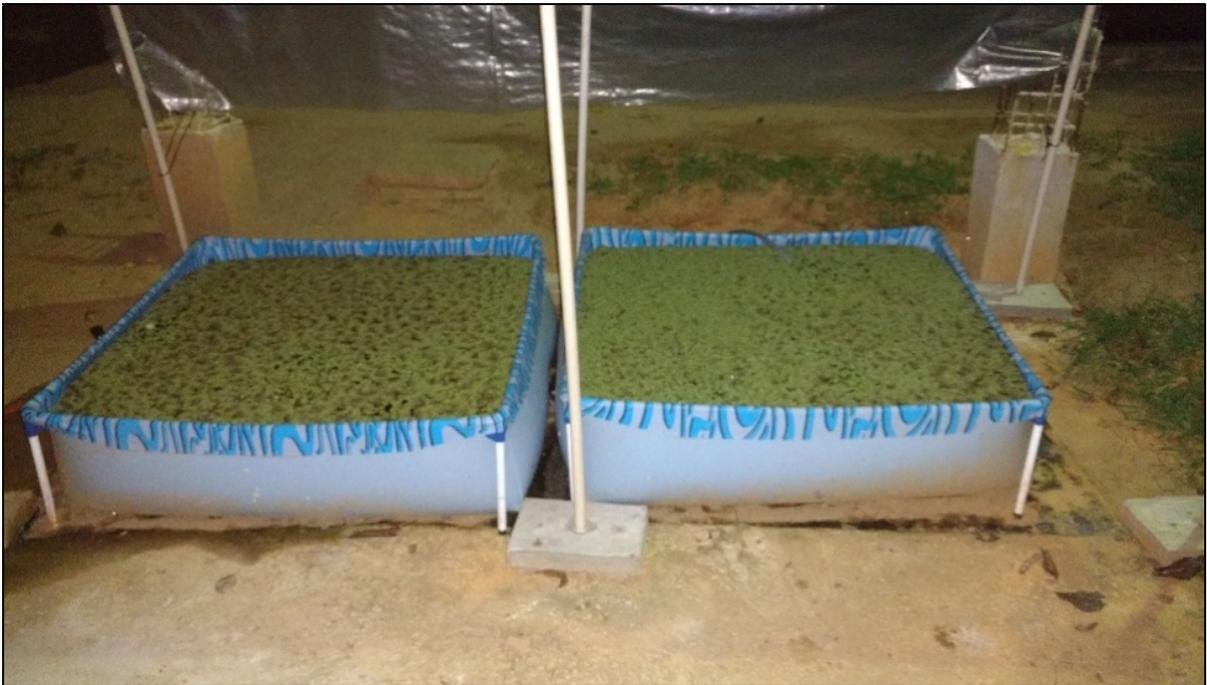


Figura 4-4 – Sistema no dia 15 de julho de 2016



Em períodos de cerca de 3 semanas, ocorriam mortes dos indivíduos que alcançavam seu limite de vida. A mortandade indicava o período de descarte das plantas para ocorrer o crescimento de novas. Isso ocorria, sem a ocupação total dos leitos, durante o período de adaptação do vegetal. Após esse tempo, a vegetação só começava a morrer, em sua maioria, após a ocupação total da superfície.

A alimentação do tanque com fósforo e efluente permitiu a aeração subsuperficial do sistema e o desenvolvimento das macrófitas. Além da aeração, a passagem de luz permitiu o aparecimento de algas junto as raízes das plantas devido a reposição do fósforo. As algas eram o principal constituinte visível do lodo preso às raízes das plantas, a maior parte dos sólidos se depositava no fundo dos leitos, onde ficavam fora do alcance das raízes dos vegetais. O lodo depositado não foi quantificado e parte dele era eliminado periodicamente através de limpeza. A limpeza ocorreu por sucção da água contendo lodo do fundo dos leitos através de um tubo de plástico formando um sifão.

A oxigenação das águas foi favorável ao desenvolvimento de um ecossistema dentro do sistema de estudo. Os peixes antes implantados para prevenção de vetores se reproduziram, mostrando que além da sua não toxicidade (Anexos A ao D), o efluente era habitável para essa espécie. Espécie de gorgulhos também

surgiram no meio, embora não tenham prejudicado o desenvolvimento das plantas, visto que os *Danio rerio* também são predadores desse tipo de espécie, ameaçadora às plantas.

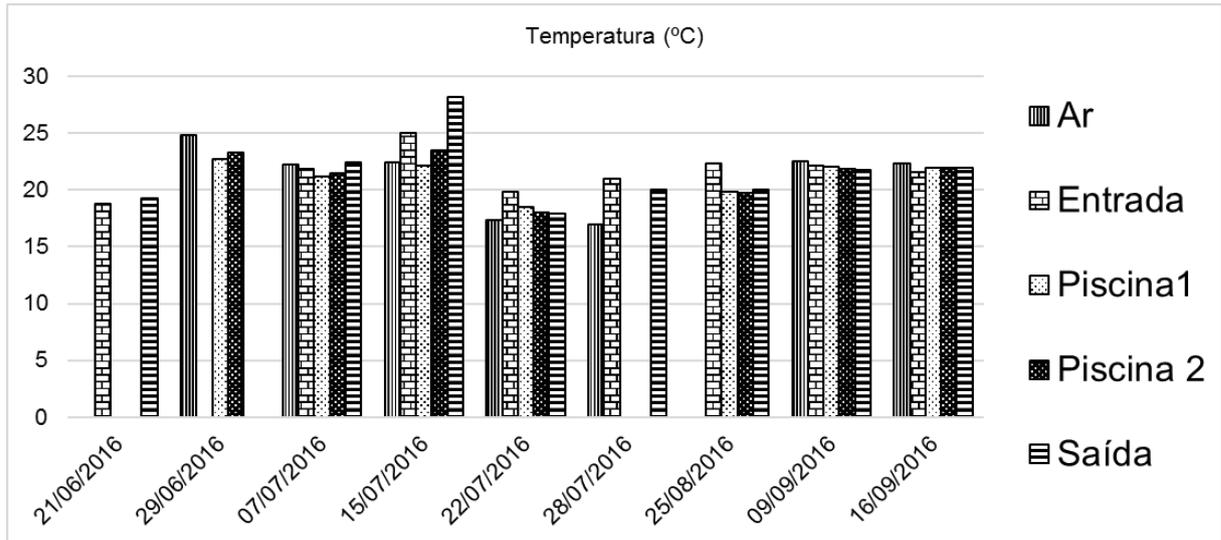
## **4.2 VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE ANÁLISE**

Em aproximadamente 4 meses de monitoramento foram obtidos dados a respeito dos parâmetros: temperatura do ar e da água, DQO, turbidez, pH, OD, condutividade, cor, biomassa produzida e biomassa retirada do sistema. Em paralelo as análises dessa pesquisa, outras foram feitas pela empresa DBO demonstrando as características físico-químicas e biológicas do afluente da *wetland*. Os resultados encontrados podem ser conferidos nos Anexos A ao Anexo D. Para essas análises, a empresa utilizou as mesmas metodologias das realizadas nesse experimento com exceção das análises de caráter biológico. Os gráficos representativos da variação dos resultados do experimento são apresentados a seguir. Foram considerados somente os valores maiores que zero.

### **4.2.1 Temperatura**

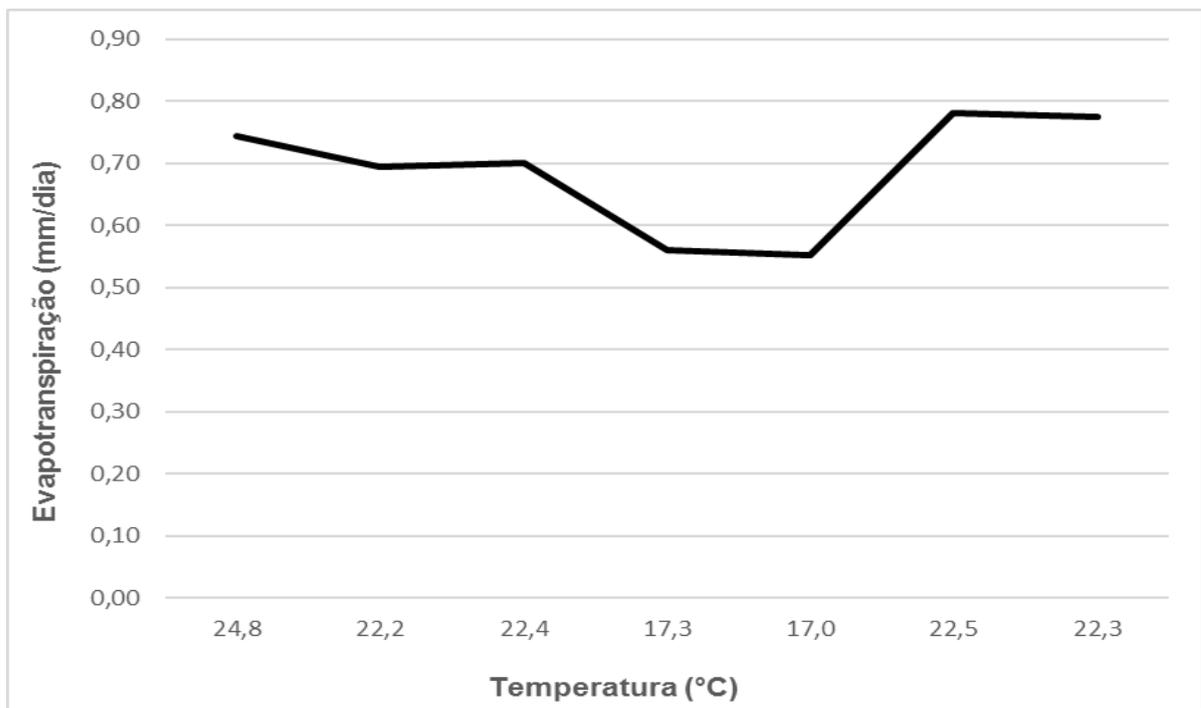
Na Figura 4-5, as temperaturas do ar, da entrada, piscina 1, piscina 2 e saída variam entre 17 a 28°C. A maior temperatura foi registrada no dia 15 de julho na saída do sistema, aproximadamente 28°C. A menor temperatura ocorreu no dia 28 de julho, de 17°C. Apesar da amplitude de 15°C e do intervalo de medição, as variações de um mês para outro apresentaram uma tendência, em que no dia 21 de junho e 27 de julho ocorreram as menores temperaturas em todas as etapas, no restante dos dias as temperaturas foram em geral mais elevadas. As temperaturas apresentadas mostraram uma média normal para a região de Paracambi.

Figura 4-5 - Variação de temperatura nos pontos de amostragem ao longo do tempo



Com base na Figura 4-6, observa-se a influência da evapotranspiração na região com base na temperatura do ar medida em campo, sendo a sua média de 0,69 mm/dia. Com base nesse valor de EVT encontrou-se, para o tempo de detenção de 10 dias, o valor de 0,68% na diferença do volume. Essa diferença não se alterou quando aplicado na concentração da DQO.

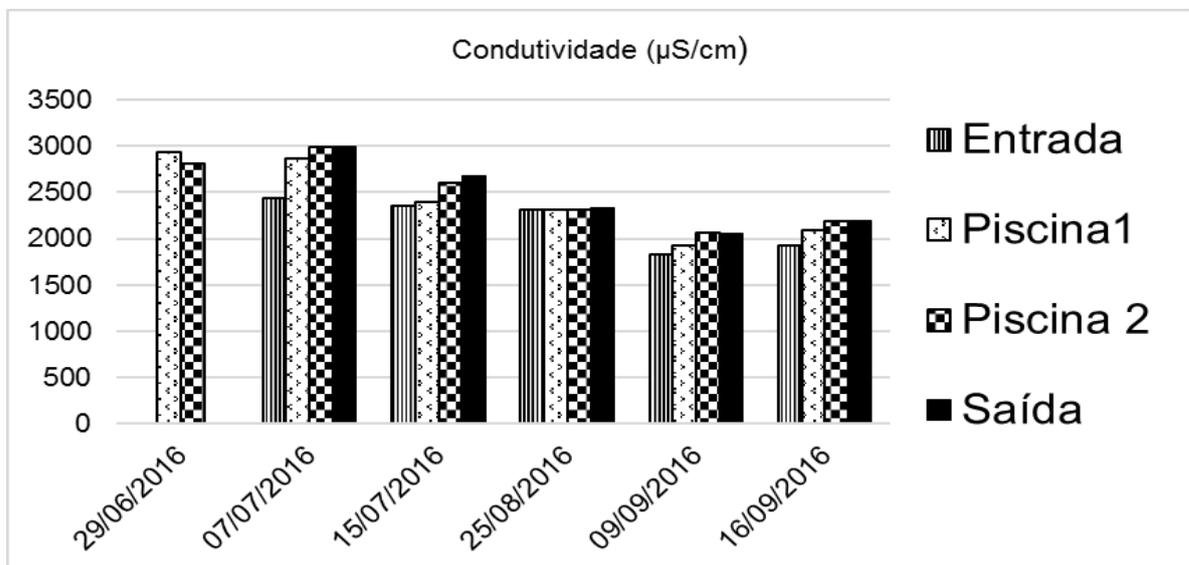
Figura 4-6 – Evapotranspiração com base na temperatura do ar



#### 4.2.2 Condutividade

Comparando-se a outros autores, a condutividade apresentada no sistema foi bem alta, na faixa de 1.833-2.930  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 4-7). Num mesmo dia de uma etapa a outra do tratamento, foram observadas variações significativas nos dias 15 de julho e 16 de setembro. Um fenômeno peculiar foi observado nos dias 29 de junho e em um trecho do dia 25 de agosto, foi a diminuição da salinidade. Tal fenômeno precisa ser melhor investigado levando-se em consideração diversos parâmetros influenciadores.

Figura 4-7 - Variação da condutividade nos pontos de amostragem ao longo do tempo

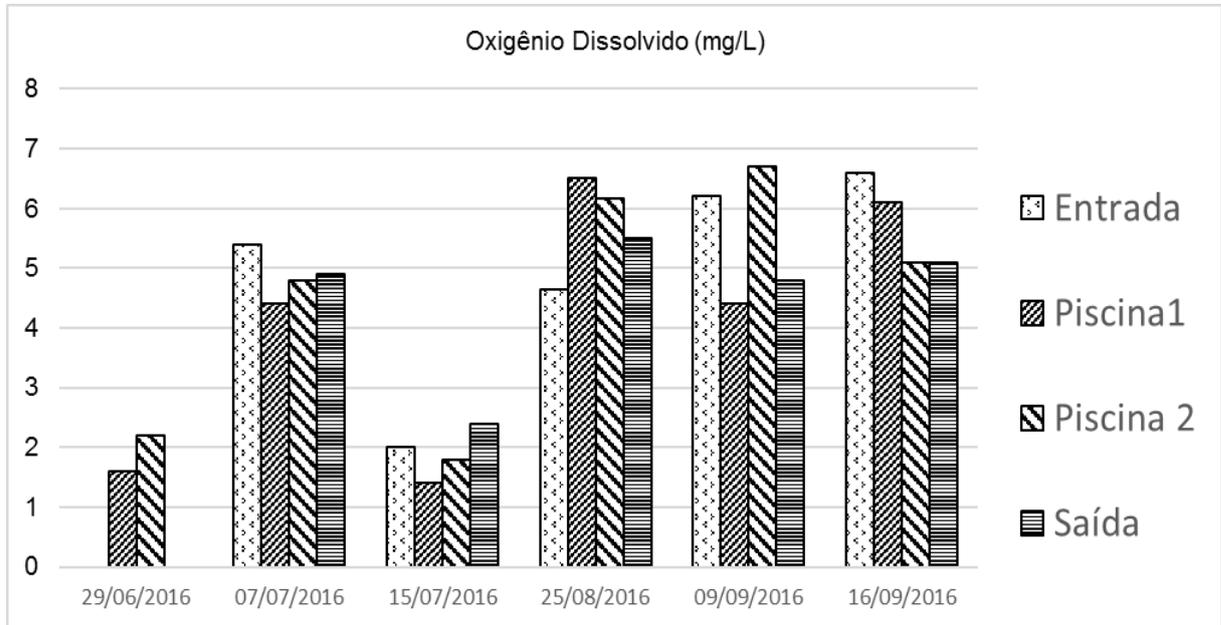


#### 4.2.3 Oxigênio dissolvido

A Figura 4-8 mostra a variação de oxigênio dissolvido em cada etapa, sendo grande a variação observada (1,4 - 6,7 mg/L). Devido à pouca profundidade da lâmina d'água, a profundidade de medição ocorreu por volta de 10 cm da superfície. Os dias em que houve menos OD na água foram 26 de junho e 15 de julho. A oxigenação teve origem na circulação do efluente desde a entrada até a saída do sistema, na pouca profundidade da lamina do leito (0,33m), a presença de fitoplanctons do ecossistema, além da circulação proporcionada pelas raízes da macrófita, vetada muitas vezes pela presença de algas nessa região. Os dias com mais oxigênio dissolvido foram 25 de agosto e 16 de setembro.

Observando o sistema horizontalmente não houve tendência de diminuição nem de aumento entre as etapas inicial e final do sistema. Por outro lado, houve um aumento sazonal de OD ao se aproximar da primavera.

Figura 4-8 – Variação do oxigênio dissolvido nos pontos de amostragem ao longo do tempo

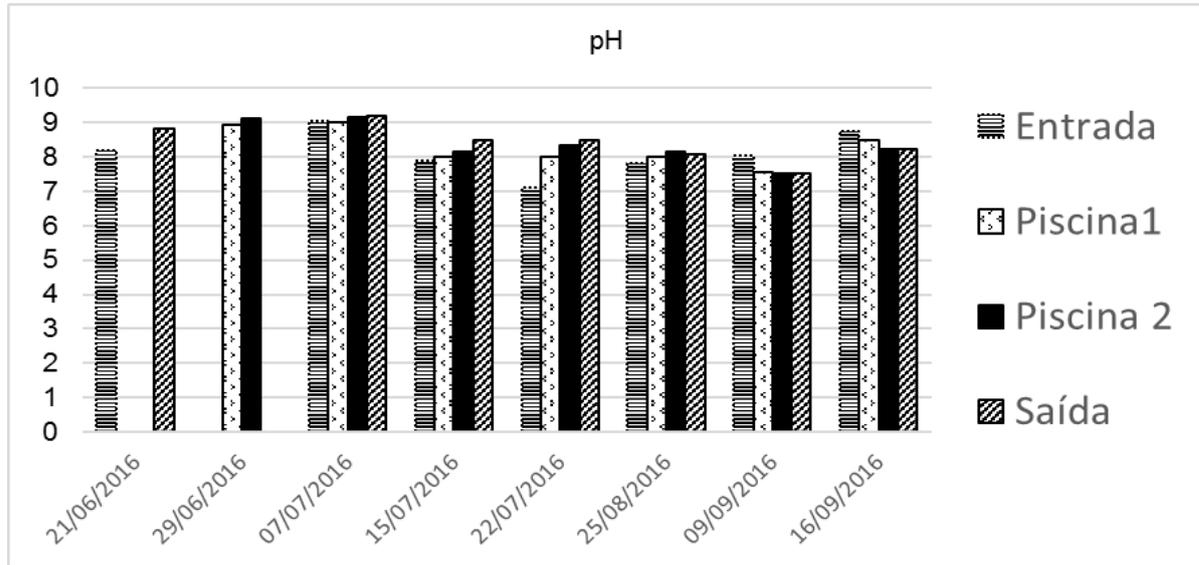


Nos gráficos de Temperatura e OD (Figuras 4-5 e 4-8) não houve uma correlação visto que a variação da temperatura não se mostrou tão expressiva quanto a do OD.

#### 4.2.4 Potencial Hidrogeniônico

O pH não apresentou muita variação, conforme a série de dados da Figura 4-9, de 7,1 – 9,2, de uma etapa a outra do tratamento a variação também foi pouca. Esses valores indicaram que a água no sistema apresentou um caráter de neutro a levemente básico.

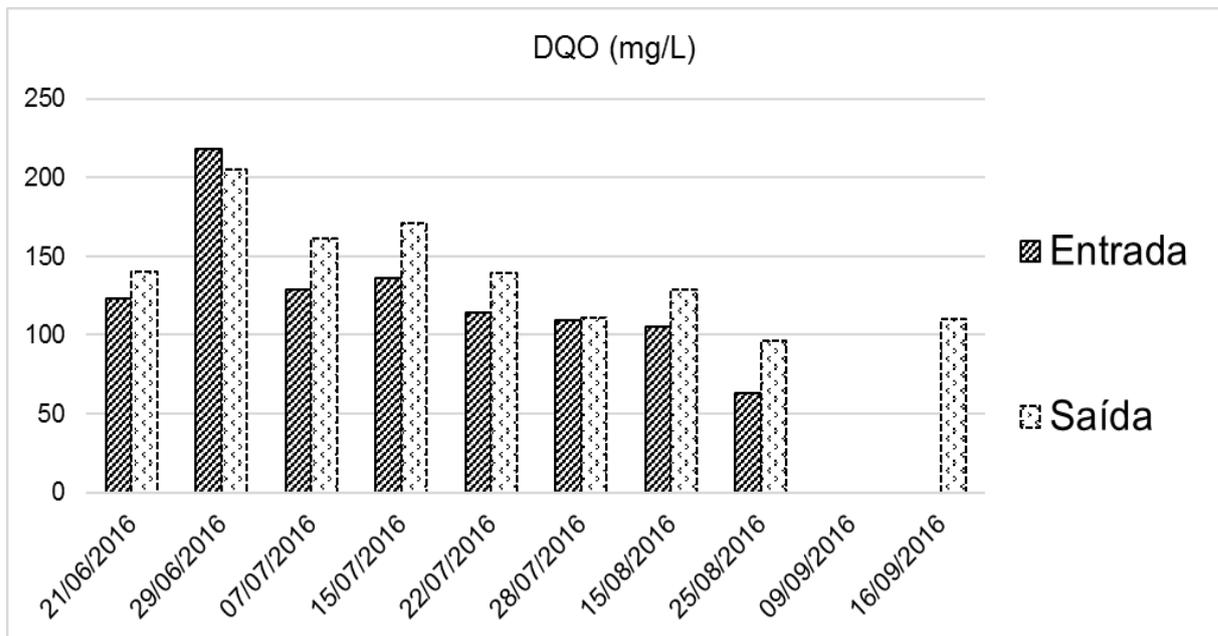
Figura 4-9 – Variação do pH nos pontos de amostragem ao longo do tempo



#### 4.2.5 DQO

A DQO mostrou uma variação numa faixa de 63 – 218 mg/L (Figura 4-10). De maneira não geral os valores de DQO aumentaram da entrada para a saída com exceção do dia 29 de junho que apresentou aproximadamente 5,9% de eficiência no tratamento. No decorrer do tempo o afluente e efluente tiveram menor quantidade de DQO. Por mensurar a matéria degradada, esse parâmetro é um dos mais medidos nos trabalhos científicos que tratam de estudo de caso de *wetlands*.

Figura 4-10 - Variação da DQO nos pontos de amostragem ao longo do tempo



Embora não quantificado foi observado durante todo o período de pesquisa o acúmulo de lodo no fundo do leito. Periodicamente parte do lodo era retirado através de processo de limpeza, mas rapidamente formava-se novamente mais lodo. Com o fluxo dentro do sistema, parte desse lodo era suspenso e, portanto, também foi coletado na amostra. O lodo depositado no fundo do leito vinha de plantas mortas, animais mortos e folhas caídas de árvore próximas o que pode ter contribuído para o aumento na DQO.

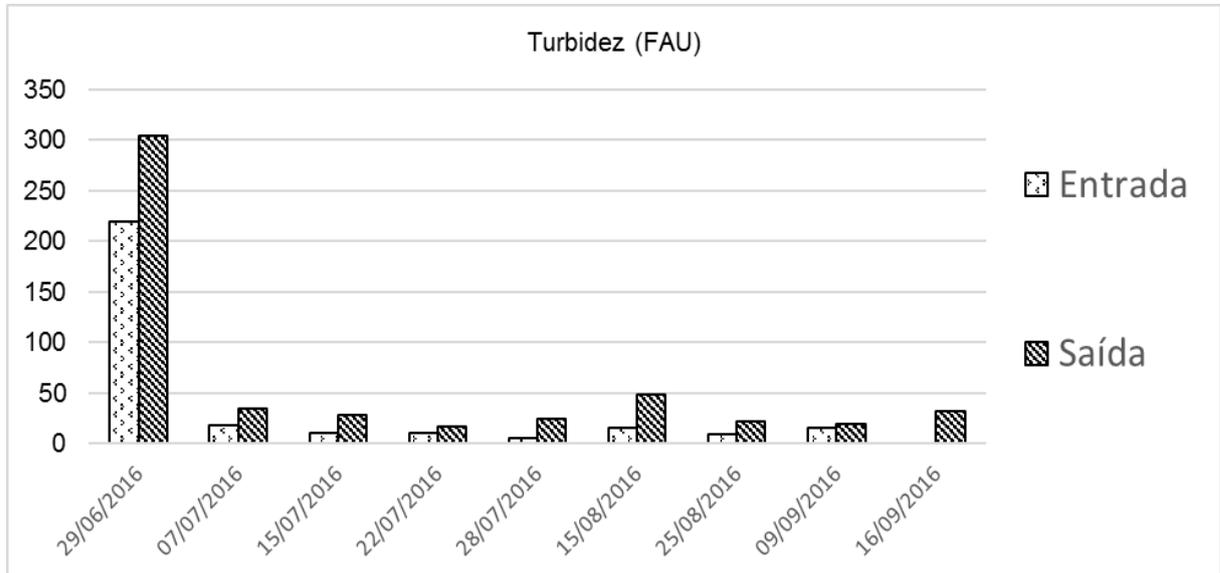
#### 4.2.6 Turbidez

A variação de turbidez mostrada na Figura 4-11 foi bem ampla (5 – 304 FAU<sup>7</sup>). Houve variações quanto a mudança quantitativa entre a entrada a saída em cada dia medido. Os maiores valores de turbidez foram encontrados no dia 29 de junho. Como ocorreu na DQO, os resultados encontrados na turbidez também contrariaram o esperado, pois em todos os dias mensurados a turbidez aumentou da entrada para a saída. Na presente pesquisa ocorreram inclusive aumentos dos valores de DQO que podem ser explicados pelo desenvolvimento de algas (as microalgas não foram quantificadas) nas raízes das plantas *Salvinia molesta*. Assim

<sup>7</sup> 1 FAU = 1 NTU

como ocorrido na DQO, os valores encontrados de turbidez dos autores citados foram baixo, devido à baixa salinidade proveniente do esgoto doméstico e urbano.

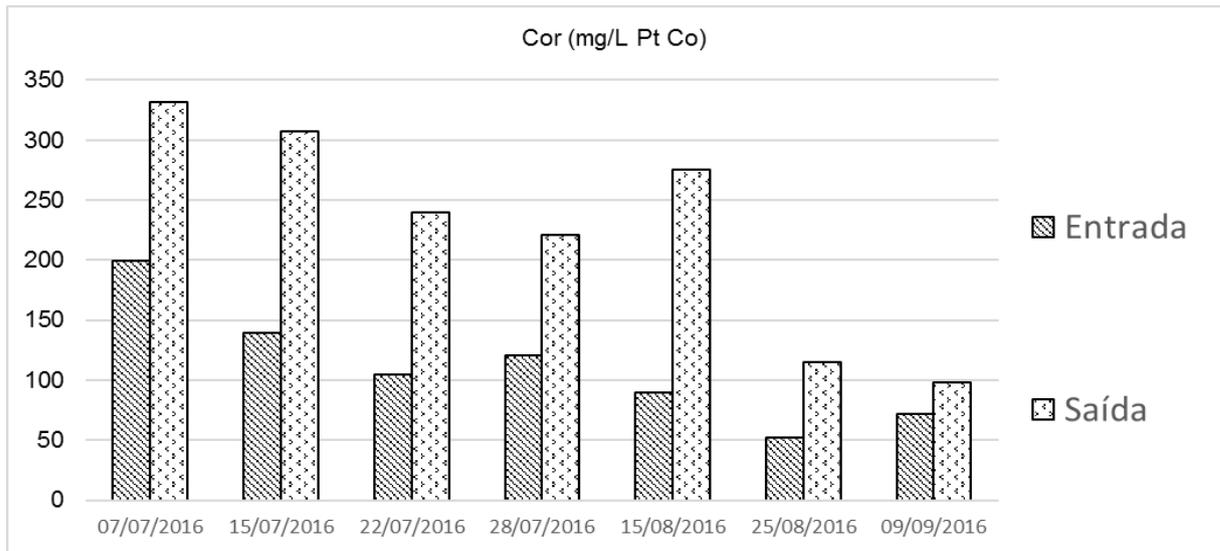
Figura 4-11 – Variação da turbidez nos pontos de amostragem ao longo do tempo



#### 4.2.7 Cor real

A cor real, a cor em que a turbidez é eliminada, apresentou uma tendência a aumentar ao longo do tempo, conforme Figura 4-12. Os valores máximos obtidos na entrada e na saída foram, respectivamente: 199 e 332 mg/L Pt Co. Os valores mínimos também na entrada e saída, respectivamente, foram: 52 e 98 mg/L Pt Co. Esses resultados também demonstraram que houve um aumento de matéria orgânica ao passar pela *wetland*.

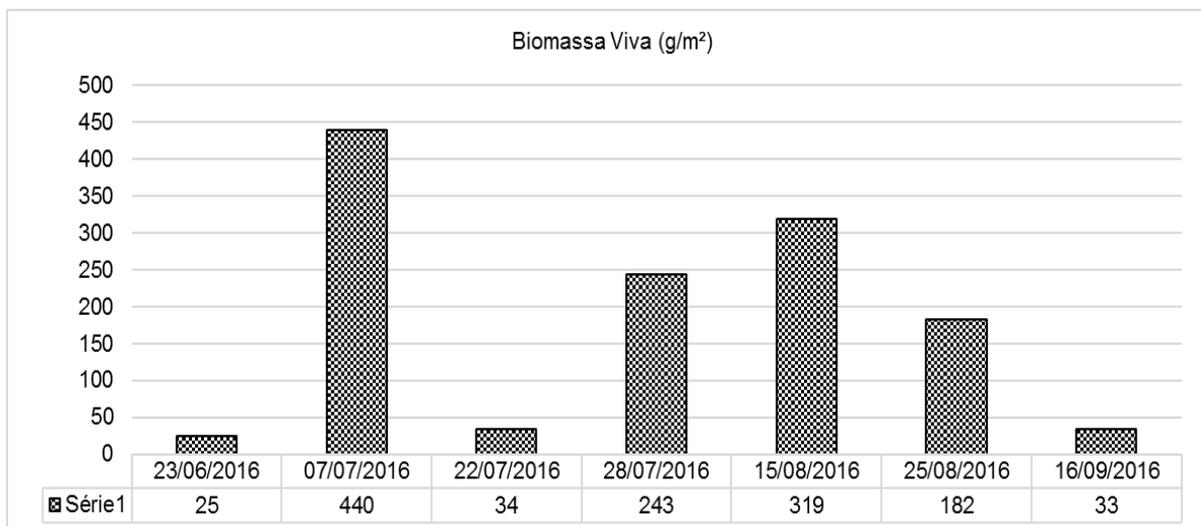
Figura 4-12 - Variação da cor nos pontos de amostragem ao longo do tempo



### 4.3 ESTIMATIVA DA BIOMASSA PRODUZIDA

Os resultados quantitativos da biomassa retirada para descarte e para pesagem (biomassa viva) são mostrados nos gráficos a seguir.

Figura 4-13 – Variação da biomassa viva ao longo do tempo

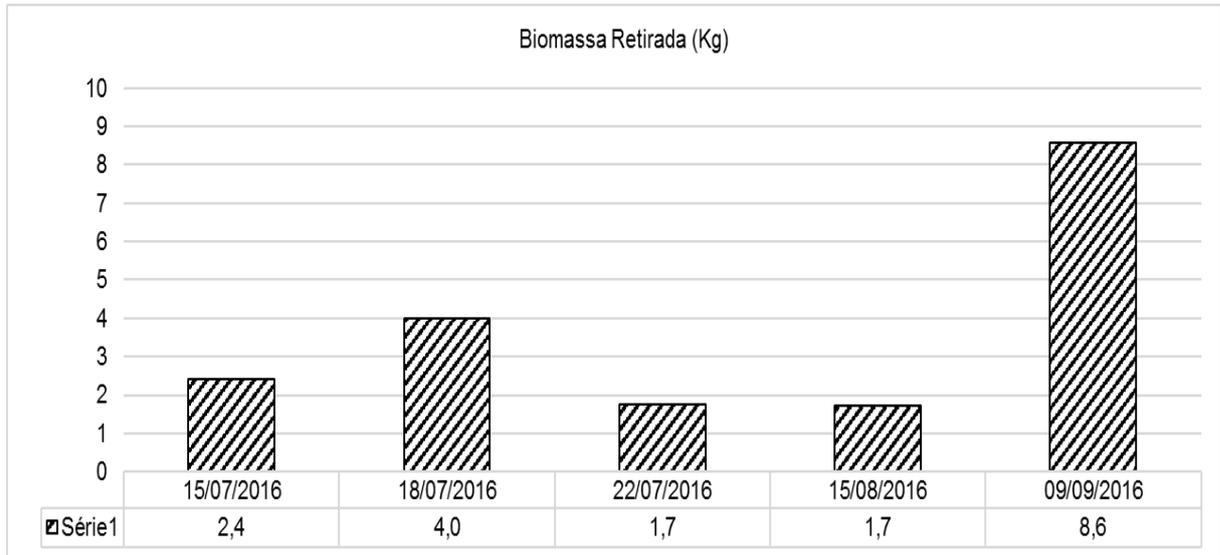


A boa quantidade de biomassa produzida foi um aspecto positivo dos resultados encontrados, pois grandes quantidades de biomassa foram estimadas por área de leito ocupado pelas macrófitas.

A biomassa estimada apresentou variações entre 25,0 e 440,0 g/m<sup>2</sup>, conforme Figura 4-13. Embora as medições não tenham sido periódicas, houve variações

significativas na quantidade de biomassa produzida através do tratamento. Devido ao rápido crescimento das plantas, essas foram retiradas e descartadas nos dias descritos pela Figura 3-16.

Figura 4-14 – Biomassa retirada ao longo do tempo



A periodicidade de descarte mostrou que houve uma rápida reposição da ocupação da superfície da *wetland*. O crescimento e reprodução da vegetação mostraram uma crescente adaptação ao meio e ao efluente. O desenvolvimento da biomassa também mostrou que a alta concentração de sais presentes nos efluentes industriais não era suficiente para cessar seu crescimento.

#### 4.4 TESTE DE TOXICIDADE DE SALINIDADE

A *Salvinia molesta* apresentou uma resistência considerável a salinidade. Apesar das macrófitas terem necessitado de altas doses de KCl para que ocorresse morte de sua população, essas apresentaram mudanças morfológica visíveis a olho nu, como a redução da superfície foliar e das suas raízes, além da configuração individual dos indivíduos em vez de ramos, como é naturalmente e era a princípio. Essa redução das raízes pode ter refletido na baixa absorção de matéria orgânica por parte das macrófitas. Outros dois testes foram realizados com condutividades maiores (Figura 4-15) e a mesma organização de recipientes realizada na prospecção (Figura 3-28).

Figura 4-15 - Testes de toxicidade com sal nas plantas *Salvinia*



a)

b)

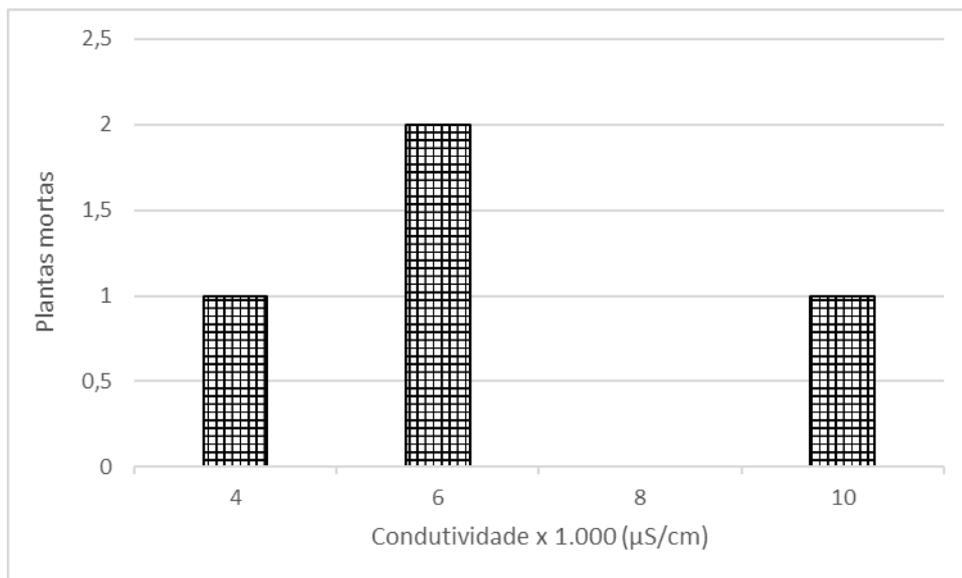


c)

Legenda: (a) início do teste de toxicidade com valores de salinidade de 4000, 6000, 8000 e 10.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; (b) – final do teste de toxicidade com valores de salinidade de 10.000, 15.000, 20.000 e 25.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; (c) – *Salvinia molesta* de um recipiente após o teste com faixa de 4 a 10 mil  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Logo no início dos testes, as plantas apresentavam aspecto esverdeado e todas as unidades (pequenos agrupamentos de folhas) estavam vivas. Na prospecção realizada durante 3 semanas não ocorreu morte, além das unidades terem se reproduzido e sendo a condutividade aplicada de  $4.000\mu\text{S}/\text{cm}$ . Após um tempo de realizada a prospecção, foram iniciados os períodos dos testes. Os resultados obtidos são apresentados nas Figura 4-16 e Figura 4-17. No primeiro teste, iniciado no dia 31 de agosto às 16 horas (em uma semana com chuva) (Figura 4-16), houve aplicação de solução salina nas fileiras 1, 2, 3 e 4, respectivamente, obtendo-se maiores condutividades:  $4.000$ ,  $6.000$ ,  $8.000$ ,  $10.000\mu\text{S}/\text{cm}$ . Desses resultados apresentados na Figura 4-16, houve mortes de 1 indivíduo por recipiente em apenas 4 recipientes. Na maioria dos recipientes houve crescimento e desenvolvimento das plantas, inclusive das raízes.

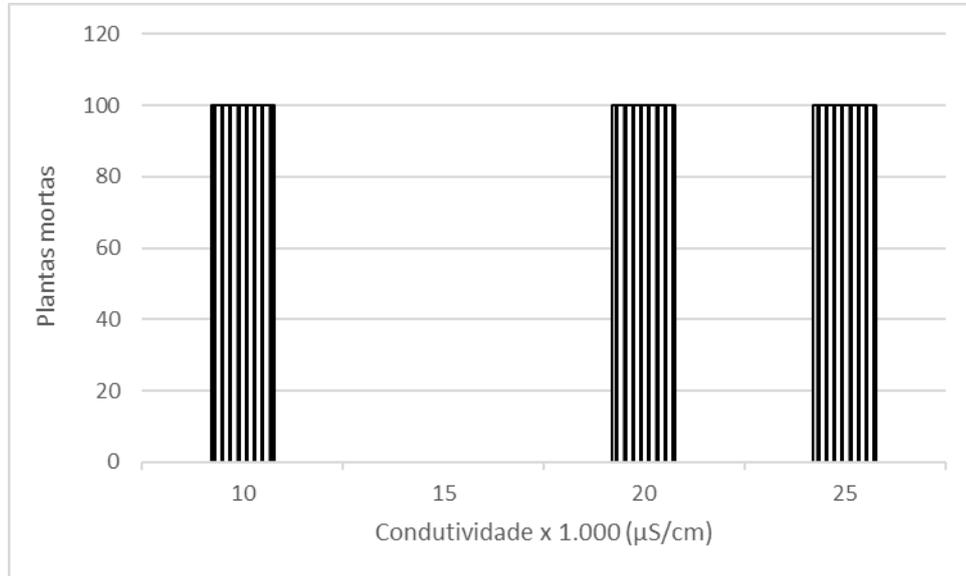
Figura 4-16 – Teste de salinidade aplicado em 31 de agosto de 2016



O segundo teste, principiado no dia 16 de setembro às 10 horas e 16 minutos em uma semana que também houve chuva, embora não nos dias do teste, houve aplicação de salinidades para as filas de recipientes 1, 2, 3 e 4, respectivamente de:  $10.000$ ,  $15.000$ ,  $20.000$  e  $25.000\mu\text{S}/\text{cm}$ . Conforme apresentado na Figura 4-17, houve morte de todos os indivíduos nas fileiras 1, 3 e 4. Na fileira 2, praticamente todas sobreviveram. Outros estudos em outras condições de temperatura e clima devem ser feitos para confirmar se realmente a condutividade  $15.000\mu\text{S}/\text{cm}$  é a

limitante ou se outros fatores influenciaram na sua sobrevivência visto a variedade de fatores influentes no teste.

Figura 4-17 – Teste de salinidade aplicado em 16 de setembro de 2016



Apesar da alta salinidade proveniente do efluente aplicado nos testes, foi comprovado que há uma grande resistência da *Salvinia molesta* aos sais dissolvidos. Os demais testes realizados em paralelo a esse estudo obtiveram bons resultados com relação ao efluente tratado. Os peixes *Danio rerio* cresceram e se reproduziram. As *Daphnia similis* também sobreviveram.

## 5 CONCLUSÃO

O dimensionamento e construção do sistema piloto permitiram uma operação satisfatória do modelo. Durante o período de funcionamento da *wetland* houve o desenvolvimento das plantas e do ecossistema nesse inserido. No entanto, os parâmetros de dimensionamento não foram suficientes para a construção de uma *wetland* que tivesse resultado efetivo na remoção de poluentes. Outras avaliações devem ser consideradas, incluindo uma melhor caracterização de parâmetros, as características físico-químicas e biológicas, além do afluente.

O tipo de esgoto a ser admitido no sistema pode permitir adaptações no processo como tipos de planta a ser utilizada no tratamento (que trate o poluente em questão), o uso do tipo de macrófita mais adequado (para fluxo superficial ou subsuperficial) e a altura da lâmina d'água no leito de tratamento. Como foi observado durante a pesquisa, as curtas raízes das *Salvinias* dificultavam o alcance da matéria orgânica nas regiões mais profundas, o que foi agravado pelas mudanças morfológicas provocadas pelo estresse salino. A principal mudança provocada pela salinidade foi a diminuição do tamanho da macrófita.

As mudanças provocadas nos vegetais levaram a alguns resultados insatisfatórios para os parâmetros analisados. Os resultados encontrados de caracterização do efluente foram: variação entre 15 a 30°C na temperatura do ar e nos leitos; 1.833 a 2.930  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de condutividade; 1,4 a 6,7 mg/L de OD; 7,1 a 9,2 de pH; 63 a 218 mg/L de DQO; 5 a 304 NTU de turbidez e 52 a 332 mg/L Pt.Co de cor. O desenvolvimento de algas em conjunto com as *Salvinia molesta*, ocasionou o aumento da DQO e da Cor avaliados. Em termos quantitativos, não houve redução da concentração, com exceção da temperatura e do pH. Além disso, o pH teve uma variação fora do esperado (7,1 a 9,2), demonstrando em alguns momentos caráter básico, devido à fotossíntese. Os parâmetros em questão, não mostraram ser significativos para a etapa avaliada.

Nessa pesquisa, foi produzida uma faixa de 25 a 440 g/m<sup>2</sup> de biomassa viva. Em adição a isto, o descarte da biomassa produzida pode ser encaminhado para a aplicação em diversas atividades econômicas, como a produção de móveis e de energia. Nesse experimento, a biomassa retirada chegou a uma faixa de 1.723 a 8.585 g.

A espécie estudada (*Salvinia*) é resistente a efluentes salinos de até cerca de 15.000 $\mu$ S/cm nas condições do clima da cidade de Paracambi. Prova disso, foram os resultados encontrados nos testes de toxicidade com sal: 1/4; 2/6; 0/8; 1/10; 100/10; 0/15; 100/20 e 100 mortes de plantas/ 25 $\mu$ S/cm de condutividade. Embora tenha se reproduzido a salinidade nessa ordem de grandeza, esse não apresentou toxicidade aos organismos estudados (*Salvinia molesta*, *Daphnia similis* e *Danio rerio*).

A concentração de sal influenciou fortemente na falta de remoção da matéria orgânica e pode explicar também alguns resultados maiores nos demais parâmetros, pois as lagoas eram cobertas e isso acentuava o aumento na concentração salina.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visto a vasta abordagem descrita nessa pesquisa, muitos assuntos abordados precisam ser melhor investigados para permitir novas descobertas. Com base nos resultados observados, os seguintes itens são sugeridos para uma futura investigação: descobrir devido a que houve o aumento na concentração de DQO; quantificar o lodo depositado no fundo do leito; medir a evapotranspiração; padronizar um método de mensurar a biomassa seca e a molhada; pesquisar a respeito da influência das microalgas e quantificar sua presença; realizar estudos na mesma em outras condições climáticas para confirmar se realmente a condutividade limitante para a *Salvinia molesta* é 15.000 $\mu$ S/cm; por fim, investigar a absorção de nutrientes e sais pela planta estudada.

## REFERÊNCIAS

- ABOU-ELELA, S. I. A.; HELLAL, M. S. Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with Canna, Phragmites and Cyprus. *Ecological Engineering*, v.47, p. 209-213, 2012.
- ALENCAR, R. D.; PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F.; HOLANDA, J. S.; PORTO, V. C. N.; FERREIRA NETO, M. Crescimento de cultivares de melão amarelo irrigadas com água salina. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, p. 221-226, 2003.
- ALMEIDA, R. A.; PITALUGA, D. P. S.; REIS, R. P. A. Tratamento de esgoto doméstico por zona de raízes precedida de tanque séptico. *Biociências*, v. 16, p. 73-81, 2010.
- ANJOS, A. W.; DELGADO, R. C.; LYRA, G. B.; SOUZA, L. P.; SUHETT, E. R. Evapotranspiração a partir de produtos orbitais para o estado do Rio de Janeiro. *Brazilian Journal of Irrigation and Drainage*, Botucatu, p. 126-140, 2016.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 22. ed. Washington: American Public Health Association, 2012.
- ARAÚJO, R. K.; WOLFF, D. B.; CRUZ, J. C.; BAGGIOTTO, C.; FRIEDRICH, M. Dinâmica das contaminações do solo e água subterrânea por efluente sanitário em áreas de preservação permanente com macrófitas e gramíneas. *Ciência & Engenharia*, v. 24, p. 115-123, 2015.
- ÁVILA, C.; GARFÍ, M.; GARCÍA, J. Three – stage hybrid constructed wetland system for wastewater treatment and reuse in warm climate regions. *Ecological Engineering*, v. 61, p. 43-49, 2013.
- BEHARRELL, M. Planting, selection and plant establishment in constructed wetlands in a tropical environment. *Developments in Ecosystems*, v.1, p. 311-329, 2004.

BENNET, F. D. Insects as agents for biological control of aquatic weeds. *Aquatic Botany*, Amsterdam, v. 3, p. 165-174, 1977.

BISSEGGER, S.; RODRIGUEZ, M.; BRISSON, J.; WEBER, K. P. Catabolic profiles of microbial communities in relation to plant identity and diversity in free-floating plant treatment wetland mesocosms. *Ecological Engineering*, v.67, p.190-197, 2014.

BRAILE JR., F. A construção do wetland. In: BRAILE JR., F. *Construção e operação de wetland como polimento de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. p. 66.

BUENO, R. F.; FIORE, F. A.; VICTORETTI, M.; INÁCIO, A. R.; CAPELLARI, B.; CHAGAS, R. K. Implantação de wetlands construídas em escala real para o tratamento de esgoto sanitário em residências para Barra do Ribeira no município de Iguape – São Paulo. *Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 8, p. 2-18, 2013.

CALIJURI, M. L.; BASTOS, R. K. X.; MAGALHÃES, T. B.; CAPELETE, B. C.; DIAS, E. H. O. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/ wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 14, p. 421-430, 2009.

CANCIAN, L. F.; CAMARGO, A. F. M.; SILVA, G. H. G. Crescimento de *Pistia stratiotes* em diferentes condições de temperatura e fotoperíodo. *Acta Botanica Brasilica*, Belo Horizonte, v. 23, p. 552-557, 2009.

CARY, P. R.; WEERTS, P. G. J. Growth of *Salvinia molesta* as affected by water temperature and nutrition I. Effects of nitrogen level and nitrogen compounds. *Aquatic Botany*, Amsterdam, v.16, p. 163-172, 1983.

CARY, P. R.; WEERTS, P. G. J. Growth of *Salvinia molesta* as affected by water temperature and nutrition II. Effects of phosphorus level. *Aquatic Botany*, Amsterdam, v.17, p. 61-70, 1983.

CHANDRA, G.; BHATTACHARJEE, I.; CHATTERJEE, S. N.; GHOSH, A. Mosquito control by larvivorous fish. *Indian Journal of Medical Research*, v. 127, p. 13-27, 2008.

CILLIERS, C. J. Biological control of water fern, *Salvinia molesta* (Salviniaceae), in South Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 37, p. 219-224, 1991.

COLARES, C. J. G; SANDRI, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. *Ambiente & Água*, Taubaté, v. 8, p. 172-185, 2013.

COSTA, C. R.; OLLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e método de avaliação. *Química Nova*, v. 31, p. 1820-1830, 2008.

COUTINHO, E. R.; SILVA, R. M.; HUBER, F.; DELGADO, A. R. S.; CORREA, B. S. P. M. Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio a processamento e monitoramento de dados meteorológicos. *Revista Científica Digital da Faetec*, Rio de Janeiro, v. 8, p. 1-11, 2015.

CUI, J.; JIANG, C. Building highway landscapes: innovative directions for urban wastewater treatment in the face of new challenges in China. *Procedia Engineering*, v. 21, p. 617-624, 2011.

DANTAS, G. F.; OLIVEIRA, V. M. R.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; SANTOS, M. G.; FARIA, R. T. Desempenho de métodos na estimativa de evapotranspiração de referência para o estado da Paraíba, Brasil. *Brazilian Journal of Irrigation and Drainage*, Botucatu, v. 21, p. 481-490, 2016.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. *Efeitos dos sais no solo e na planta*. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010.

ESTEVES, B. S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre plantas. *Oecologia Brasiliensis*, Rio de Janeiro, v. 12, p. 662-679, 2008.

FAZAL, S.; ZHANG, B.; MEHMOOD, Q. Biological treatment of combined industrial wastewater. *Ecological Engineering*, v. 84, p. 551-558, 2015.

FERREIRA, M. M.; SARON, A. Estudo da eficiência do tratamento de esgoto doméstico por sistemas 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*, v.8, p. 127-149, 2013.

FORNO, I. W.; HARLEY, K. L. S. The occurrence of *Salvinia molesta* in Brazil. *Aquatic Botany*, Amsterdam, v. 6, p.185-187, 1979.

GIORDANO, G.; SURERUS, V. *Efluentes industriais: estudo de tratabilidade volume 1*. 1. ed. Rio de Janeiro: Publit, 2015.

GOMES, M. A. C.; SUZUKI, M. S.; CUNHA, M.; TULLII, C. F. Effect of salt stress on nutrient concentration photosynthetic pigments, proline and foliar morphology of *Salvinia auriculata* Aubl. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 23, p. 164-176, 2011.

GORRA, R.; FREPPAZ, M.; ZANINI, E.; SCALENGHE, R. Mountain dairy wastewater treatment with the use of a 'irregularly shaped' constructed wetland (Aosta Valley, Italy). *Ecological Engineering*, v. 73, p. 176-183, 2014.

HARDMAN, D. J.; MCELDFOWNEY, S; WAITE, S. Macrophyte systems for nitrate and phosphate removal. In: HARDMAN, D. J.; MCELDFOWNEY, S; WAITE, S. *Pollution: ecology and biotreatment*. 1. ed. London: Longman Scientific & Technical, 1993, 174-189.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008*. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/defaulttabzip\\_esgot\\_san.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/defaulttabzip_esgot_san.shtm)>. Acesso em: 10 jun. 2016.

IZZATI, M. INTERNATIONAL CONFERENCE ON GLOBAL RESOURCE CONSERVATION, 6., 2015, Malang. *Salt tolerance of several aquatic plants*. Malang: Proceeding of 6<sup>th</sup> ICGRC, 2015.

JAMPEETONG, A.; BRIX, H. Effects os NaCl salinity on growth, morphology, photosynthesis and proline accumulation of *Salvinia natans*. *Aquatic Botany*, v. 91, p. 181-186, 2009.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Características dos esgotos. In: JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995, p. 19-46.

KAMATCHI, P. A. C.; ARIVOLI, S.; MAHESWARAN, R. Study of mosquito control using larvivorous fish *Danio rerio* Hamilton and *Oreochromis mossambicus* Peters. *Journal of Coastal Life Medicine*, v.4, p. 8-9, 2016.

KIHILA, J.; MTEI, K. M.; NJAU, K. N. Wastewater treatment for reuse in urban agriculture, the case of Moshi Municipality, Tanzania. *Physics and Chemistry of the Earth*, p. 104-110, 2014.

KNIGHT, R. L. *Wetland Systems*. In: Natural Systems for Wastewater Treatment, Manual of Practice FD-16. Alexandria: Water Pollution Control Federation, 1990 apud MITSCH; GOSSELINK. p. 211-260.

LETO, C.; TUTTOLOMONDO, T.; LA BELLA, S.; LEONE, R.; LICATA, M. Effects of plant species in a horizontal subsurface flow constructed wetland – phytoremediation of treated urban wastewater with *Cyperus alternifolius* L. and *Typha latifolia* L. in the West of Sicily (Italy). *Ecological Engeneering*, v. 61, p. 282-291, 2013.

LIANG, Y.; ZHU, H.; BAÑUELOS, G.; YAN, B.; ZHOU, Q.; YU, X.; CHENG, X. Constructed wetlands for saline wastewater treatment: a review. *Ecological Engineering*, v. 98, p. 275-285, 2017.

LOPES, R. C. S. Q.; ANDRADE, R. S.; DANTAS, I. R.; RODRIGUES, L. B.; ALMEIDA NETO, J. A. Wetlands construídas na redução de carga orgânica de efluente de laticínio. *Veredas Revista Eletrônica de Ciências*, Caruru, v.9, p. 107-120, 2016.

MAGALHÃES, D. P.; FERRÃO FILHO, A. S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. *Oecologia Brasiliensis*, Rio de Janeiro, v. 12, p. 355-381, 2008.

MARÍN, I.; GOÑI, P.; LASHERAS, A. M.; ORMAD, M. P. Efficiency of a Spanish wastewater treatment plant for removal potentially pathogens: Characterization of bacteria and protozoa along water and sludge treatment lines. *Ecological Engineering*, v. 74, p. 28-32, 2015.

MITHRAJA, M. J.; ANTONISAMY, J. M.; MAHESH, M.; PAUL, Z. M.; JEEVA, S. Phytochemical studies on *Azolla pinnata* R. Br., *Marsilea minuta* L. and *Salvinia molesta* Mitch. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, Tamil Nadu, p. S26-S29, 2011.

MITSCH, W. J.; GOSSELINK, J. G. *Wetlands*. 4. ed. New Jersey: Wiley, 2007.

MUSUNGU, C. P.; OGOCHE, I. J.; LALAH, J.; ONGERI, D.; CHEPKUI, R.; KIEMA, F. The extent of nutrient removal by wastewater treatment plants along the Nyalenda Wigwa Stream and the River Kisat (Kenya). *Ecohydrology & Hydrobiology*, v. 13, p. 236-240, 2013.

NG, Y. S.; CHAN, D. J. C. Wastewater phytoremediation by *Salvinia molesta*. *Journal of Water Process Engineering*, Penang, p. 1-9, 2016.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. *Journal of Water Process Engineering*, Penang, v. 15, p. 107-115, 2017.

NIVALA, J.; HEADLEY, T.; WALLACE, S.; BERNHARD, K.; BRIX, H.; AFFERDEN, M.; MÜLLER, R. A. Comparative analysis of constructed wetlands: the design and construction of the ecotechnology research facility in Langenreichenbach, Germany. *Ecological Engineering*, v. 61, p. 527-543, 2013.

OON, Y. L.; ONG, S. A.; HO, L. N.; WONG, Y. S.; OON, Y. S.; LEHL, H. K.; THUNG, W. E. Hybrid system up-flow constructed wetland integrated with microbial fuel cell for simultaneous wastewater treatment and electricity generation. *Bioresource Technology*, v. 186, p. 270-275, 2015.

O'SULLIVAN, C.; ROUNSEFELL, B.; GRINHAM, A.; CLARKE, W.; UDY, J. Anaerobic digestion of harvested aquatic weeds: Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), cabomba (*Cabomba caroliniana*) and salvinia (*Salvinia molesta*). *Ecological Engineering*, v. 36, p. 1459-1468, 2010.

PINTO, L. I. C.; COSTA, M. H.; DINIZ, L. M. F.; SEDIYAMA, G. C.; PRUSKI, F. F. Comparação de produtos de radiação solar incidente à superfície para a América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, p. 469-478, 2010.

RANI, V. U.; BHAMBIE, S. A study on the growth of *Salvinia molesta* Mitchell in relation to light and temperature. *Aquatic Botany*, Amsterdam, v. 17, p. 119-124, 1983.

RAO, A. S. Evapotranspiration rates os *Eichhornia crassipes* (mart.) solms, *Salvinia molesta* D. S. Mitchell and *Nymphaea Lotus* (L.) Willd Linn in a humid tropical climate. *Aquatic Botany*, Amsterdam, v.30, p.215-222,1988.

ROOM, P. M. Ecology of a simple plant-herbivore system: biological control of *Salvinia*. *TREE*, Brisbane, v. 5, p. 74-79, 1990.

ROOM, P. M.; GILL, J. Y. The chemical environment of *Salvinia molesta* Mitchell: ionic concentrations of infested waters. *Aquatic Botany*, Amsterdam, v. 23, p. 127-135, 1985.

SALOMÃO, A. L. S.; MARQUES, M.; SEVERO, R. G.; ROQUE, O. C. C. Engineered ecosystem for on-site wastewater treatment in tropical areas. *Water Science & Technology*, v. 66, p. 2131-2137, 2012.

SANTOS, B. S.; COSTA, P. F.; EYNG, E.; CÂMARA, C. D. Avaliação da eficiência de um sistema de tratamento por wetland construído aplicado ao efluente de um frigorífico de suínos. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, Londrina, v. 37, p. 13-22, 2016.

SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L. S. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 20, p. 151-158, 2015.

SOUZA, G. E.; GOSMANN, H. A.; BELLI FILHO, P.; MOHEDANO, R. A.; CASARIN, M. A.; BENEDET, L. Gestão de recursos naturais: sustentabilidade em propriedade produtora de suínos. *Mix sustentável*, Florianópolis, v. 2, p. 10-19, 2016.

STEFANAKIS, A. I.; SEEGER, E.; DORER, C.; SINKE, A.; THULLNER, M. Performance of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetland treating groundwater contaminated with phenols and petroleum derivatives. *Ecological Engineering*, v. 95, p. 514-526, 2016.

SUNTTI, C.; MAGRI, M. E.; PHILLIPPI, L. S. Filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical aplicados na mineralização e desaguamento de lodo de tanque séptico. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 16, p. 63-72, 2011.

TIPPING, P. W.; CENTER, T. D. Influence of plant size and species on preference of *Cyrtobagous salviniae* adults from two populations. *Biological Control*, Lauderdale, v. 32, p. 263-268, 2005.

TREIN, C. M.; PELISSARI, C.; HOFFMANN, H.; PLATZER, C. J.; SEZERINO, P. H. Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 15, p. 351-367, 2015.

VYMAZAL, J. Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: a review. *Ecological Engineering*, v.73, p. 724-751, 2014.

WANG, X.; LIU, J.; REN, N.; DUAN, Z. Environmental profile of typical anaerobic/anoxic/oxic wastewater treatment systems meeting increasingly stringent treatment standards from a life cycle perspective. *Bioresource Technology*, v. 126, p. 31-40, 2012.

WHITEMAN, J. B.; ROOM, P. M. Temperatures lethal to *Salvinia molesta* Mitchell. *Aquatic Botany*, Amsterdam, v. 40, p. 27-35, 1991.

WINK, M.; RIBEIRO, W.; POMMEREHN, S.; RADTKE, J. F.; SILVEIRA, E. O.; MACHADO, E. L. Unidade piloto em regime de batelada com sistemas de reatores anaeróbios + microalgas + wetlands construídos em fluxo vertical. *Revista Jovens Pesquisadores*, Santa Cruz do Sul, v. 6, p. 31-44, 2016.

WU, S.; WALLACE, S.; BRIX, H.; KUSCHK, P.; KIRUI, W. K.; MASI, F.; DONG, R. Treatment of industrial effluents in constructed wetlands: challenges, operational strategies and overall performance. *Environmental Pollution*, v. 201, p. 107-120, 2015.

ZARA, A. L. S. A.; SANTOS, S. M.; FERNANDES-OLIVEIRA, E. S.; CARVALHO, R. G.; COELHO, G. E. Estratégias de controle do *Aedes Aegypti*: uma revisão. *Revista Epidemiologia e Serviços de Saúde*, Brasília, v. 25, p. 391-404, 2016.

ZHANG, D. Q.; JINADASA, K. B. S. N.; GERSBERG, R. M.; LIU, Y.; TAN, S. K.; NG, W. J. Application of constructed wetlands for wastewater treatment in tropical and

subtropical regions (2000-2013). *Journal of Environmental Sciences*, v. 30, p. 30-46, 2015.

ZIDAN, A. R. A.; EL-GAMAL, M. M.; RASHED, A. A.; EID, M. A. A. E. Wastewater treatment in horizontal subsurface flow constructed wetlands using diferent media (setup stage). *National Water Research Center*, p. 1-10, 2015.

**APÊNDICE A**–Ficha de campo do dia 21 de junho de 2016

		Dados Físico-Químicos - Multiparâmetros em Campo				
Data:	21/06/2016		Entrada	Piscina1	Piscina 2	Saída
Hora:	14:30:00	Temperatura (°C)	18,8			19,3
Chuva durante a semana (Sim/Não)	Não	Condutividade (µS/cm)				
Temperatura do ar (°C)		Oxigênio Dissolvido (mg/L)				
		pH	8,2			8,8
		Dados Físico-Químicos - Aparelhos de Análise em Laboratório				
			Entrada	Saída		
		DQO (mg/L)	123	140		
		Turbidez (FAU)				
		Cor (mg/L Pt Co)				
		Dados da Biomassa				
Data:	23/06/2016		Piscina1	Piscina 2	Biomassa Viva	Biomassa Morta
Hora:	11:00:00	Comprimento (cm)	70	67	12	
		Largura (cm)	110	110	10	
		Área (cm <sup>2</sup> )	7.700	7.370	120	
		Peso da Biomassa (g)			30	
		Peso Total da Biomassa Viva: g/m <sup>2</sup>			25	

**APÊNDICE B** - Ficha de campo do dia 29 de junho de 2016

		Dados Físico-Químicos - Multiparâmetros em Campo				
Data:	29/06/2016		Entrada	Piscina1	Piscina 2	Saída
Hora:	14:45:00	Temperatura (°C)		22,7	23,3	
Chuva durante a semana (Sim/Não)	Não	Condutividade (µS/cm)		2.930	2.810	
Temperatura do ar (°C)	24,8	Oxigênio Dissolvido (mg/L)		1,6	2,2	
		pH		8,9	9,1	
*O tanque não foi enchido, o afluente veio do efluente tratado da estação.	Dados Físico-Químicos - Aparelhos de Análise em Laboratório					
		Entrada	Saída			
	DQO (mg/L)	218	205			
	Turbidez (FAU)	220	304			
	Cor (mg/L Pt Co)					
Dados da Biomassa						
	Piscina1	Piscina 2	Biomassa Viva	Biomassa Morta		
Comprimento (cm)						
Largura (cm)						
Área (cm²)						
Peso da Biomassa (g)						
Peso Total da Biomassa Viva (g)						

**APÊNDICE C - Ficha de campo do dia 7 de julho de 2016**

Dados Físico-Químicos - Multiparâmetros em Campo						
Data:	07/07/2016		Entrada	Piscina1	Piscina 2	Saída
Hora:	12:24:00	Temperatura (°C)	21,8	21,2	21,5	22,4
Chuva durante a semana (Sim/Não)	Não	Condutividade (µS/cm)	2.430	2.860	2.990	2.990
Temperatura do ar (°C)	22,2	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	5,4	4,4	4,8	4,9
		pH	9,0	9,0	9,1	9,2
Dados Físico-Químicos - Aparelhos de Análise em Laboratório						
			Entrada	Saída		
		DQO (mg/L)	129	161		
		Turbidez (FAU)	18	35		
		Cor (mg/L Pt Co)	199	332		
Dados da Biomassa						
			Piscina1	Piscina 2	Biomassa Viva	Biomassa Morta
		Comprimento (cm)	91	87	5	7
		Largura (cm)	110	110	4	4
		Área (cm <sup>2</sup> )	10.010	9.570	20	28
		Peso da Biomassa (g)			88	72
		Peso Total da Biomassa Viva: g/m <sup>2</sup>			440	

**APÊNDICE D - Ficha de campo do dia 15 de julho de 2016**

		Dados Físico-Químicos - Multiparâmetros em Campo				
Data:	15/07/2016		Entrada	Piscina1	Piscina 2	Saída
Hora:	17:40:00	Temperatura (°C)	25,0	22,1	23,5	28,2
Chuva durante a semana (Sim/Não)	Sim	Condutividade (µS/cm)	2.350	2.400	2.600	2.680
Temperatura do ar (°C)	22,4	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	2,0	1,4	1,8	2,4
		pH	7,9	8,0	8,1	8,5
		Dados Físico-Químicos - Aparelhos de Análise em Laboratório				
			Entrada	Saída		
		DQO (mg/L)	136	171		
		Turbidez (FAU)	11	28		
		Cor (mg/L Pt Co)	139	307		
		Dados da Biomassa				
			Piscina1	Piscina 2	Biomassa Viva	Biomassa Morta
Amostra de Saída filtrada		Comprimento (cm)	110	110		
Turbidez	17	Largura (cm)	70	66		
Cor	347	Área (cm²)				
Biomassa Retirada (g)	2419					

**APÊNDICE E - Ficha de campo do dia 18 de julho de 2016**

		Dados Físico-Químicos - Multiparâmetros em Campo				
Data:	18/07/2016		Entrada	Piscina1	Piscina 2	Saída
Hora:		Temperatura (°C)				
Chuva durante a semana (Sim/Não)		Condutividade (µS/cm)				
Temperatura do ar (°C)		Oxigênio Dissolvido (mg/L)				
		pH				
		Dados Físico-Químicos - Aparelhos de Análise em Laboratório				
*Somente a biomassa foi retirada.			Entrada	Saída		
		DQO (mg/L)				
		Turbidez (FAU)				
		Cor (mg/L Pt Co)				
		Dados da Biomassa				
			Piscina1	Piscina 2	Biomassa Viva	Biomassa Morta
Biomassa Retirada (g)	3996	Comprimento (cm)				
		Largura (cm)				
		Área (cm²)				
		Peso da Biomassa (g)				
		Peso Total da Biomassa Viva (g)				

**APÊNDICE F - Ficha de campo do dia 22 de julho de 2016**

		Dados Físico-Químicos - Multiparâmetros em Campo				
Data:	22/07/2016		Entrada	Piscina1	Piscina 2	Saída
Hora:	14:50:00	Temperatura (°C)	19,8	18,5	18,0	17,9
Chuva durante a semana (Sim/Não)	Não	Condutividade (µS/cm)				
Temperatura do ar (°C)	17,3	Oxigênio Dissolvido (mg/L)				
		pH	7,1	8,0	8,3	8,5
		Dados Físico-Químicos - Aparelhos de Análise em Laboratório				
			Entrada	Saída		
		DQO (mg/L)	114	139		
		Turbidez (FAU)	10	17		
		Cor (mg/L Pt Co)	105	240		
		Dados da Biomassa				
			Piscina1	Piscina 2	Biomassa Viva	Biomassa Morta
Biomassa Retirada (g)	1740	Comprimento (cm)	110	110	11	
		Largura (cm)	70	60	12	
		Área (cm <sup>2</sup> )	7.700	6.600	132	
		Peso Total da Biomassa Viva (g)			45	
		Peso Total da Biomassa Viva: g/m <sup>2</sup>			34	

**APÊNDICE G** - Ficha de campo do dia 28 de julho de 2016

Dados Físico-Químicos - Multiparâmetros em Campo						
Data:	28/07/2016		Entrada	Piscina1	Piscina 2	Saída
Hora:		Temperatura (°C)	21,0			20,0
Chuva durante a semana (Sim/Não)	Não	Condutividade (µS/cm)				
Temperatura do ar (°C)	17,0	Oxigênio Dissolvido (mg/L)				
		pH				
Dados Físico-Químicos - Aparelhos de Análise em Laboratório						
			Entrada	Saída		
		DQO (mg/L)	109	111		
		Turbidez (FAU)	5	25		
		Cor (mg/L Pt Co)	121	221		
Dados da Biomassa						
			Piscina1	Piscina 2		
		Comprimento (cm)	17	16		
		Largura (cm)	15	18		
		Área (cm²)	255	280		
		Peso da Biomassa (g)	57	60		
Peso Total da Biomassa Viva: g/m²					243	

**APÊNDICE H - Ficha de campo do dia 15 de agosto de 2016**

		Dados Físico-Químicos - Multiparâmetros em Campo				
Data:	15/08/2016		Entrada	Piscina1	Piscina 2	Saída
Hora:	12:00:00	Temperatura (°C)				
Chuva durante a semana (Sim/Não)	Não	Condutividade (µS/cm)				
Temperatura do ar (°C)		Oxigênio Dissolvido (mg/L)				
		pH				
		Dados Físico-Químicos - Aparelhos de Análise em Laboratório				
			Entrada	Saída		
		DQO (mg/L)	105	129		
		Turbidez (FAU)	15	49		
		Cor (mg/L Pt Co)	90	275		
		Dados da Biomassa				
			Piscina1	Piscina 2	Biomassa Viva	Biomassa Morta
Biomassa Retirada (g)	1723	Comprimento (cm)	110	110	4	
		Largura (cm)	89	80	4	
		Área (cm <sup>2</sup> )	9.790	8.800	16	
		Peso da Biomassa (g)			51	
		Peso Total da Biomassa Viva: g/m <sup>2</sup>			319	

**APÊNDICE I-** Ficha de campo do dia 25 de agosto de 2016

		Dados Físico-Químicos - Multiparâmetros em Campo				
Data:	25/08/2016		Entrada	Piscina1	Piscina 2	Saída
Hora:	11:30:00	Temperatura (°C)	22,3	19,8	19,7	20,0
Chuva durante a semana (Sim/Não)	Sim	Condutividade (µS/cm)	2.310	2.308	2.317	2.335
Temperatura do ar (°C)		Oxigênio Dissolvido (mg/L)	4,7	6,5	6,2	5,5
		pH	7,8	8,0	8,2	8,1
		Dados Físico-Químicos - Aparelhos de Análise em Laboratório				
			Entrada	Saída		
		DQO (mg/L)	63	96		
		Turbidez (FAU)	9	22		
		Cor (mg/L Pt Co)	52	115		
		Dados da Biomassa				
			Piscina1	Piscina 2	Biomassa Viva	Biomassa Morta
		Comprimento (cm)	110	110	6	
		Largura (cm)	110	110	7	
		Área (cm <sup>2</sup> )	12.100	12.100	39	
		Peso da Biomassa (g)			71	
		Peso Total da Biomassa Viva (g)			182	

**APÊNDICE J-** Ficha de campo do dia 9 de setembro de 2016

		Dados Físico-Químicos - Multiparâmetros em Campo				
Data:	09/09/2016		Entrada	Piscina1	Piscina 2	Saída
Hora:	12:10:00	Temperatura (°C)	22,1	22,0	21,8	21,7
Chuva durante a semana (Sim/Não)	Sim	Condutividade (µS/cm)	1.833	1.920	2.060	2.060
Temperatura do ar (°C)	22,5	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,2	4,4	6,7	4,8
		pH	8,0	7,6	7,5	7,5
		Dados Físico-Químicos - Aparelhos de Análise em Laboratório				
			Entrada	Saída		
		DQO (mg/L)	<50	<50		
		Turbidez (FAU)	15	19		
		Cor (mg/L Pt Co)	72	98		
		Dados da Biomassa				
			Piscina1	Piscina 2	Biomassa Viva	Biomassa Morta
Biomassa Retirada (g)	8585	Comprimento (cm)				
		Largura (cm)				
		Área (cm²)				
		Peso da Biomassa (g)				
		Peso Total da Biomassa Viva (g)				

Observações: Não houve alimentação de afluente nem de fósforo no tanque.  
 Valor da DQO abaixo do limite de quantificação do aparelho de 50 mg/L.

**APÊNDICE L- Ficha de campo do dia 16 de setembro de 2016**

		Dados Físico-Químicos - Multiparâmetros em Campo				
Data:	16/09/2016		Entrada	Piscina1	Piscina 2	Saída
Hora:	10:16:00	Temperatura (°C)	21,6	21,9	21,9	21,9
Chuva durante a semana (Sim/Não)	Sim	Condutividade (µS/cm)	1.926	2.090	2.190	2.190
Temperatura do ar (°C)	22,3	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,6	6,1	5,1	5,1
		pH	8,7	8,5	8,2	8,2
Dados Físico-Químicos - Aparelhos de Análise em Laboratório						
		Entrada	Saída			
		DQO (mg/L)		110		
		Turbidez (FAU)		32		
		Cor (mg/L Pt Co)				
Dados da Biomassa						
		Piscina1	Piscina 2	Biomassa Viva	Biomassa Morta	
		Comprimento (cm)	110	110	16	
		Largura (cm)	79	60	17	
		Área (cm²)	8.690	6.600	272	
		Peso da Biomassa (g)			91	
		Peso Total da Biomassa Viva (g)			33	

Observação: Não houve alimentação de aflunte nem de fósforo no tanque.

**ANEXO A**– Dados de coleta da empresa Tecma do dia 3 de junho de 2016

Data de coleta: 03/06/2016	
DBO, mg/L	4
Detergentes (MBAS), mg/L	<0,4
DQO, mg/L	138
Índice de Fenóis, mg/L	<0,08
Materiais Sedimentáveis, mL/L	<0,5
Óleos e Graxas Mineral , mg/L	<6
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	10
CENO, % - Peixe Danio Rerio	100
Fator de Toxicidade (FT) - Peixe Danio Rerio	1
pH	8,30 - 8,35
Temperatura, °C	21,2 - 22,0
Temperatura do ar, °C	23,5
Vazão, m <sup>3</sup> /h	5,4

A coleta foi realizada de 12:35 às 12:50 h. Condições Ambientais: Tempo: Parcialmente nublado, vento fraco e sem chuva Condição Operacional da Indústria: Operação plena. Condição Operacional da ETEI: Carga normal. Tipo de Amostragem: Simples.

**ANEXO B**– Dados de coleta da empresa Tecma do dia 6 de julho de 2016

Data de coleta: 06/07/2016	
DBO, mg/L	4
Detergentes (MBAS), mg/L	<0,4
DQO, mg/L	109
Índice de Fenóis, mg/L	<0,08
Materiais Sedimentáveis, mL/L	<0,5
Óleos e Graxas Mineral , mg/L	<6
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	5
pH	7,9
CENO, % - Peixe Danio Rerio	100
Fator de Toxicidade (FT) - Peixe Danio Rerio	1

A coleta foi realizada às 12:25 h. Tipo de Amostragem:  
Simplex Sistema: Operação plena. Produção: Carga normal. Condições Ambientais: Tempo bom e sem chuva, com vento fraco.

**ANEXO C**– Dados de coleta da empresa Tecma do dia 19 de julho de 2016

Data de coleta: 19/07/2016	
DBO, mg/L	<3
Detergentes (MBAS), mg/L	<0,4
DQO, mg/L	40
Índice de Fenóis, mg/L	<0,08
Ferro Solúvel, mg/L	<1,0
Materiais Sedimentáveis, mL/L	<0,5
Óleos e Graxas Mineral , mg/L	<6
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	<3
Zinco Total, mg/L	<0,17
Temperatura, °C	21,8 - 22,0
Temperatura do ar, °C	18,6 - 18,7

Tipo de Amostragem: Composta Horário da Coleta: Início 14:00h; final 14:20h. Condição Operacional da Indústria: Normal. Condição Operacional da Estação de Tratamento: Normal Condições Ambientais: Tempo encoberto, sem chuva e vento muito fraco.

**ANEXO D**– Dados de coleta da empresa Tecma do dia 12 de agosto de 2016

Data de coleta: 12/08/2016	
DBO, mg/L	<3
Detergentes (MBAS), mg/L	<0,4
DQO, mg/L	26
Índice de Fenóis, mg/L	<0,08
Materiais Sedimentáveis, mL/L	<0,5
Óleos e Graxas Mineral , mg/L	<6
pH	7,85
Resíduo Não Filtrável Total, mg/L	<3
Temperatura, °C	22,4
Temperatura do ar, °C	20,0
CENO, % - Peixe Danio Rerio	100
Fator de Toxicidade (FT) - Peixe Danio Rerio	1

Tipo de Amostragem: Simples. Horário da Coleta: 11:47 h. Condição Operacional da Indústria: Normal. Condição Operacional da Estação de Tratamento: Normal. Condições Ambientais: Tempo encoberto, sem chuva e vento fraco.