

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

FLAVIANE SMANIOTTO

ENRIQUECIMENTO DE AMIDO DE BIOMASSA PRODUZIDA EM LAGOA DE
LEMNA UTILIZANDO A ESPÉCIE *LANDOLTIA PUNCTATA*

Ilha Solteira
2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

FLAVIANE SMANIOTTO

**ENRIQUECIMENTO DE AMIDO DE BIOMASSA PRODUZIDA EM LAGOA DE
LEMNA UTILIZANDO A ESPÉCIE *LANDOLTIA PUNCTATA***

Prof.^a. Dr.^a. Liliâne Lazzari Albertin
Orientadora

Prof.^a. Dr.^a. Liliâne Santos de Camargos
Coorientadora

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Ilha Solteira, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais.

**ILHA SOLTEIRA
2016**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S635e Smaniotto, Flaviane.
Enriquecimento de amido de biomassa produzida em lagoa de lemna utilizando a espécie *landoltia punctata* / Flaviane Smaniotto. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2016
70 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, 2016

Orientador: Liliane Lazzari Albertin
Co-orientador: Liliane Santos de Camargos
Inclui bibliografia

1. Macrófitas aquáticas. 2. Polimento. 3. Esgoto doméstico.
4. Proteína bruta.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Enriquecimento de amido de biomassa produzida em lagoa de lemna utilizando a espécie *Landoltia punctata*

AUTORA: FLAVIANE SMANIOTTO

ORIENTADORA: LILIANE LAZZARI ALBERTIN

CO-ORIENTADORA: LILIANE SANTOS DE CAMARGOS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA CIVIL, área: RECURSOS HIDRICOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. LILIANE LAZZARI ALBERTIN
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. TSUNAO MATSUMOTO
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ALESSANDRO MINILLO
Engenharia Civil / Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

Ilha Solteira, 16 de maio de 2016

Dedico esta dissertação ao meu esposo João Victor e a minha família por acreditarem e me incentivaram nessa conquista.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmãos por me apoiarem nesse sonho.

Ao meu esposo João Victor por compreender, aceitar todos os momentos de ausência e distância.

À Liliane Lazzari Albertin, pela orientação, amizade e paciência.

À Liliane Santos de Camargos pelo apoio neste trabalho.

À Tatiana e Mariane pela amizade dedicada, por acompanharem e ajudarem na montagem do experimento e nas análises bromatológicas.

Ao Willian por apoiar todas minhas ideias e por compartilhar seus conhecimentos.

Aos alunos da Iniciação científica que me ajudaram neste trabalho, e me ensinaram a ter paciência e compreensão.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pela oportunidade e a CAPES pela disponibilização de recursos para realização dos experimentos.

Às colegas de república, Giovana, Thais e Adetoro por me aceitarem e dividiram o lar, pela amizade e companheirismo.

RESUMO

A busca de alternativas para melhorar a qualidade dos efluentes de estações de tratamento de esgotos domésticos lançados corpos d'água, aliado a busca de alternativas econômicas e de baixo custo que o uso de macrófitas aquáticas da subfamília *Lemnaceae*, e o seu potencial de despoluição de águas contaminadas, atuando principalmente na remoção de nutrientes, como nitrogênio e fósforo relacionados a processo de eutrofização. Visando dar destino a biomassa de lemna produzida, este trabalho tem o objetivo de avaliar sua composição química, a produção de biomassa, e quantificar o amido e a proteína bruta acumulada. Ao avaliar seu crescimento obtido em tanques em escala piloto, cultivadas em efluente de lagoa de estabilização o crescimento relativo alcançado com 12 dias de cultivo foi de 5,29g/m²dia, o que equivale a 19,3 t/ha.ano matéria seca. O amido contido no período de crescimento foi de 3,2±0,9%, e no enriquecimento 4,7±1,5% de amido, o equivalente a 0,61t/ha.ano de amido disponível e a quantidade de proteína bruta disponível equivale a 8,07t/ha.ano. Esta biomassa pode ser utilizada para diversos fins, como para o preparo de rações animais devidos sua alta quantidade de proteína bruta, ou a produção de etanol devido sua quantidade de amido e hemicelulose.

Palavras-chave: Macrófitas aquáticas. Polimento. Esgoto doméstico. Proteína bruta.

ABSTRACT

The search for alternatives to improve the quality of domestic effluents emitted into water bodies, coupled with the search for economic alternatives and cost that the use of aquatic weeds of *Lemnaceae* subfamily, and its potential for contaminated water pollution, mainly in removal of nutrients such as nitrogen and phosphorus related to eutrophication. Aiming to target biomass duckweed produced, this study aims to evaluate their chemical composition, biomass, and quantify starch and crude protein accumulated. When evaluating growth achieved in tanks on a pilot scale, grown in stabilization pond effluent relative growth reached 12 days of cultivation was 5,29g/m²day, equivalent to 19.3t/ha.year dry matter. The starch in the growth period was $3.2 \pm 0.9\%$ and $4.7 \pm 1.5\%$ enrichment starch, equivalent to 0,61t / ha.year available starch and the amount of protein gross available equals 8,07t / ha year. This biomass can be used for various purposes such as for the preparation of animal feeds due to their high amount of crude protein, or the production of ethanol because its amount of starch and hemicellulose.

Keywords: Aquatic macrophytes. Polish. Domestic wastewater. Crude protein.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma de fixação da energia solar no enriquecimento da biomassa.....	21
Figura 2- Árvore simplificada da família Araceae, mostrando as subfamílias Aroideae e Lemnoideae (anteriormente Lemnaceae)	24
Figura 3- Cladograma representando a família Lemnoideae	25
Figura 4- Layout das lagoas da ETE de Ilha Solteira – SP, local da captação do efluente da estação de tratamento de Esgoto de Ilha Solteira/SP	32
Figura 5- Layout do sistema de tratamento	33
Figura 6- Perfil do sistema com as dimensões em metros do tanque de enriquecimento.....	33
Figura 7- a) Bomba dosadora e b) Inversores de frequência para controle de vazão	34
Figura 8- Configuração do sistema de tratamento montado em área externa do laboratório	34
Figura 9- a) Imagem da <i>Landoltia punctata</i> e b) <i>Landoltia punctata</i> em escala (500 µm).....	35
Figura 10- A) Sistema para o cultivo e polimento e B) Divisões no tanque e colheita da seção C.....	36
Figura 11- a) Colheita das lemnas b) Peneira para escoar o excesso de umidade lemnas após colheita	37
Figura 12- Quadro flutuante em PVC para isolar as lemnas e placa madeira fotoperíodo.....	40
Figura 13- a) Ponto de coleta na entrada e b) ponto de coleta na saída.....	41
Figura 14- Relação da eficiência média dos parâmetros analisados.....	46
Figura 15- Dados coletados nas entradas e saídas dos tanques com lemnas para análise de DBO (mg/L)	46
Figura 16- Dados coletados nas entradas e saídas dos tanques com lemnas para análise de DQO (mg/L)	47
Figura 17- Dados coletados nas entradas e saídas dos tanques com lemnas para análise de Sólidos Totais (mg/L).....	48
Figura 18- Dados coletados nas entradas e saídas dos tanques com lemnas para análise de Nitrogênio total (mg/L)	50

Figura 19- Dados coletados nas entradas e saídas dos tanques com lemnas para análise de Nitrato (mg/L).....	51
Figura 20- Dados coletados nas entradas e saídas dos tanques com lemnas para análise de PT (mg/L).....	52
Figura 21- Distribuição dos valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) na entrada e saída dos Tanques A e B.....	53
Figura 22- Valores médios de pH na entrada e saída dos tanques.....	54
Figura 23- Biomassa produzida em relação ao peso seco (g) cultivados em 1m ² em função do períodos de cultivo (dia), e valores médios de produção (g/m ² .dia).....	55
Figura 24- Relação da composição química da lemna (%) em relação ao período de crescimento (dia).....	56
Figura 25- Quantificação de Amido (%) em relação ao período de crescimento (dia).....	59
Figura 26- Quantificação de Amido (%) em relação aos ensaios de enriquecimento.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Eficiências nos principais sistemas lagoas de estabilização no tratamento de esgoto sanitário	18
Tabela 2-	Relação de trabalhos realizados abordando espécies, tempo de detenção, concentração e eficiência do polimento de efluentes.....	20
Tabela 3-	Relação dos trabalhos que utilizam diferentes espécimes de Lemnas sob a produção de biomassa, temperatura e porcentagem do amido produzido.....	28
Tabela 4-	Divisões no tanque e período de crescimento	36
Tabela 5-	Processos de alteração do ambiente para enriquecimento de amido	39
Tabela 6-	Variáveis analisadas, frequência de amostragem e método de análise	41
Tabela 7-	Variáveis climáticas registradas durante o período de estudo	43
Tabela 8-	Caracterização do efluente e eficiências de remoção utilizando lagoa de lemna	45
Tabela 9-	Valores médios e desvio padrão, acréscimo na oxigenação do esgoto	53
Tabela 10-	Composição da Landoltia punctata.....	57

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

UNESP	Universidade Estadual Paulista
OD	Oxigênio Dissolvido
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
PT	Fósforo total
NT	Nitrogênio total
ST	Sólidos Totais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CONAMA	Conselho nacional de meio ambiente
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVO.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1	TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO.....	17
3.2	LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	17
3.3	POLIMENTO DO ESGOTO DOMÉSTICO	19
3.4	MACRÓFITAS AQUÁTICAS E O POLIMENTO DE EFLUENTE DO TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS.....	20
3.5	CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE	23
3.6	VALOR NUTRICIONAL DA BIOMASSA PRODUZIDA.....	26
3.7	CONDIÇÕES PARA ENRIQUECIMENTO E PRODUÇÃO BIOMASSA	27
3.8	ALTERNATIVAS PARA USO DA BIOMASSA DE LEMNA.....	29
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1	LOCALIZAÇÃO E MONTAGEM DO EXPERIMENTO	32
4.2	ESPÉCIE UTILIZADA	35
4.3	MONITORAMENTO CLIMATOLÓGICO	35
4.4	AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO.....	35
4.5	AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	37
4.5.1	Cinzas	38
4.5.2	Proteína bruta.....	38
4.5.3	Celulose.....	38
4.5.4	Extrato etéreo (EE).....	38
4.5.5	Fibra bruta (FB)	38
4.5.6	Extratos não nitrogenados (ENN).....	39
4.6	ENRIQUECIMENTO DE AMIDO	39
4.7	MONITORAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO NO SISTEMA DE POLIMENTO.....	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5.1	VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	43
5.2	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DAS CARGAS DO EFLUENTE	44
5.2.1	Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	46
5.2.2	Demanda Química de Oxigênio - DQO	47
5.2.3	Sólidos Totais (ST)	48
5.2.4	Nitrogênio total (NT), Nitrato (NO ₃) e Fósforo total (PT)	49
5.2.5	Oxigênio Dissolvido (OD) e potencial Hidrogeniônico (pH).....	53

5.3	AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO.....	54
5.4	AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA COM O DECORRER DO PERÍODO DE CRESCIMENTO.....	56
5.5	TEORES DE AMIDO	58
5.5.1	Amido contido nas lemnas na etapa da avaliação do crescimento.....	58
5.5.2	Amido contido nas lemnas no processo de enriquecimento.....	59
6	CONCLUSÃO.....	61
7	RECOMENDAÇÕES	62
	Referências.....	63

1 INTRODUÇÃO

Visando desenvolver técnicas economicamente viáveis para o polimento dos efluentes provenientes de lagoas de estabilização de tratamento de esgoto sanitário, e considerando a necessidade de melhorar a qualidade desse efluente a ser lançado nos corpos d'água, o uso de macrófitas aquáticas vem ganhando destaque nas pesquisas no meio acadêmico (MOHEDANO et al., 2012; MATOS et al., 2014; GE et al., 2012; TAO et al., 2013).

As macrófitas aquáticas da família *Araceae*, subfamília *lemnoideae*, mais conhecidas como lemnas, são pequenas plantas flutuantes, de ampla distribuição, com alta adaptabilidade a águas contaminadas, ricas em matéria orgânica e nutrientes e em locais de pouca movimentação da superfície da água.

Diversas pesquisas avaliam o potencial de remoção de poluentes da água, atuando principalmente na remoção de nutrientes de origem orgânica, tais como nitrogênio e fósforo, componentes relacionados aos processos de eutrofização de corpos hídricos. O processo de remoção destes poluentes deve-se à absorção destes compostos que são metabolizados pelas plantas, processo este conhecido como fitorremediação (ZHAO et al., 2014).

Vários pesquisadores analisaram a composição química das espécies de lemnas, e segundo Zhao et al. (2014), estas possuem baixa quantidade de lignina, em torno de 3%, açúcar fermentáveis (incluindo a glucose) em torno de 33,1%, entre outros, o que indica que há potencial para produção de etanol.

Devido à alta proporção de açúcares fermentáveis (em média 394g/kg de biomassa seca), combinada a sua alta produtividade, podendo dobrar a sua massa em 16 horas a 24 horas, sob a disponibilidade ideal de nutrientes, luz solar e temperatura da água, resultando em uma alta taxa de crescimento (HASAN et al., 2009).

Atualmente diversas pesquisas são realizadas visando o aproveitamento da biomassa de lemna na produção de biocombustíveis, em especial etanol, conforme relatam diversos pesquisadores (VERMA; SUTHAR, 2015; CHEN et al., 2012; YIN et al., 2015; CUI; CHENG, 2015; SU et al., 2014).

Das substâncias que mais se destacam nas lemnas, e a quantidade de proteína bruta contida, em média de 36 a 46% (Matos et al, 2014, VERMA; SUTHAR, 2015;) o que pode indicar o uso das lemnas como composto para o preparo de

rações animais ou no alimento para peixes da forma in natura (LENG, 1999; MWALE; GWAZE, 2013).

Outra vantagem no uso das lemnas é sua alta produtividade, 8,2kg/m².ano em peso seco (MATOS et al., 2014), podendo ser colhidas durante o ano todo, diferente de outras culturas que são sazonais, e a baixa produção de resíduos, sendo que a biomassa de lemna possui em média 10% de matéria seca.

Sabe-se que as macrófitas aquáticas possuem capacidade maior de acumular amido sob condições ambientais específicas ou estresse nutricional, variando cargas de nutrientes. Ge et al. (2012), avaliaram o acúmulo de amido na biomassa, desencadeado pela ausência de nutrientes ou crescimento no escuro com adição de glucose, chegaram a um valor de 10 a 36% de acúmulo de amido.

Portando, levando-se em consideração os diversos estudos relacionados ao polimento de efluentes domésticos, este trabalho tem como objetivo avaliar as condições de crescimento e caracterização da composição química da espécie *Landoltia punctata*, utilizando o cultivo em tanques, em escala piloto, com relação aos aspectos ambientais e climáticos da região noroeste do Estado de SP, município de Ilha Solteira/SP, tais como qualidade do efluente de estação de tratamento de esgoto doméstico utilizado.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de amido de biomassa de lemnas durante o polimento do efluente de lagoas de estabilização de tratamento de esgoto doméstico, utilizando a espécie *Landoltia punctata*.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar eficiência do processo de polimento do efluente de lagoa de estabilização;
- Avaliar o crescimento vegetativo da espécie;
- Quantificar a produção de biomassa;
- Quantificar o amido presente após período de estresse ambiental;
- Caracterizar a variação nutricional com relação ao período de cultivo;
- Avaliar a composição química da planta.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Segundo o “ranking” do saneamento, realizado pelo ‘Instituto trata Brasil’, e baseadas nos números do Sistema nacional de Informações sobre o Saneamento, das 100 maiores cidades brasileiras que possuem rede esgotamento sanitário, aproximadamente 39% do esgoto coletado é tratado (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2015)

A busca de satisfazer as necessidades de melhorias na qualidade dos corpos hídricos, devido ao aumento da preocupação de toda a sociedade com relação à escassez hídrica, e de alternativas eficazes e de baixo custo para o tratamento dos efluentes, se faz cada vez mais urgente.

Das diversas formas de tratamento de esgotos domésticos, segundo Campos (1994), as que partem do princípio da autodepuração, ou seja, o tratamento pela ação de microrganismos para a remoção da matéria orgânica presente denomina-se de tratamento biológico. Das alternativas para o tratamento biológico, têm-se sistemas de tratamento por meio de lagoas de estabilização, lodos ativados, filtro biológico aeróbio e reator anaeróbio de manta de lodo.

Alternativa de tratamento de esgotos sanitários, com baixo custo de implantação e operação são os sistemas de lagoas de estabilização, pois se adaptam ao clima quente característico da maior parte do Brasil, de operação simples e a baixo custo (VON SPERLING, 2002).

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE, 2008) mostrou que no Brasil, do total de 5.564 municípios, 29% deles utilizavam lagoas de estabilização no tratamento dos seus efluentes domésticos.

3.2 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

As lagoas de estabilização consistem em um sistema de lagoas dentro das quais ocorrem naturalmente os processos de estabilização da matéria orgânica que, por sua vez, dependem da temperatura, velocidade do vento, intensidade da radiação solar e da atuação dos microrganismos. São consideradas ambientalmente

sustentáveis por utilizarem processos naturais de tratamento e o baixo consumo de energia e possibilitarem o retorno dos nutrientes para o meio ambiente (MUGA; MIHELIC, 2008). Pode-se dizer que apresentam baixos custos de operação e manutenção (TSAGARAKIS et al., 2003; VON SPERLING, 2002).

As lagoas de estabilização são consideradas como uma das técnicas mais simples de tratamento de esgotos. Dependendo da área disponível, topografia do terreno e grau de eficiência desejado, podem ser empregados os seguintes tipos de sistemas de lagoas de estabilização: Lagoas facultativas, sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas (Sistema Australiano), Lagoas aeradas facultativas, sistema de lagoas aeradas de mistura completa seguida por lagoas de decantação (VON SPERLING, 2002).

As eficiências relativas ao tratamento de esgotos por lagoas de estabilização são apresentados conforme Tabela 1, definido por Von Sperling (2002) e apresenta como principal desvantagem no uso de lagoas de estabilização a dificuldade em satisfazer os padrões de lançamento, em relação aos nutrientes, tais como amônia, nitrogênio e fósforo, tidos como um dos principais causadores de problemas de eutrofização em corpos d'água.

Tabela 1- Eficiências nos principais sistemas lagoas de estabilização no tratamento de esgoto sanitário

Parâmetro	Facultativa	Anaeróbia-facultativa	Aerada facultativa	Aerada de mistura completa
DBO %	75 – 85	75 – 85	75 – 85	75 – 85
DQO %	65 – 80	65 - 80	65 - 80	65 - 80
SS %	70 – 80	70 - 80	70 - 80	80 - 87
Amônia %	< 50	< 50	< 30	< 30
Nitrogênio %	< 60	< 60	< 30	< 30
Fósforo %	< 35	< 35	< 35	< 35
Coliformes %	90 – 99	90 - 99	90 - 99	90 - 99

Fonte: Von Sperling (2002).

Todavia, para satisfazer padrões de lançamento conforme a Resolução CONAMA 430/11 (BRASIL, 2011) e do Decreto de Lei 8468/76 (CETESB), para preservar a qualidade da água do corpo receptor, os efluentes das lagoas requerem uma remoção adicional de nutrientes e sólidos suspensos, que pode ser realizada em uma etapa sequente denominada de polimento.

3.3 POLIMENTO DO ESGOTO DOMÉSTICO

Apesar dos sistemas de lagoas de estabilização remover boa parte da carga de poluentes, tal remoção nem sempre é suficiente para atingir as condições de depuração dos corpos d'água e atender as legislações vigentes, necessitando assim de um sistema complementar de remoção de nutrientes.

A denominação de lagoas de polimento, para Cavalcanti et al. (2001), serve para distingui-las das lagoas de estabilização, uma vez que o primeiro sistema se refere ao pós-tratamento de efluentes, ao passo que o segundo, ao tratamento de esgoto bruto.

Na busca de alternativas para a remoção adicional da matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, o uso de lagoas com macrófitas flutuantes têm se tornado cada vez mais comum tanto no polimento de esgotos como na recuperação de corpos d'água poluídos (MOHEDANO, 2010).

As macrófitas aquáticas da subfamília *Lemnoideae*, conhecidas como lemnas, podem ser utilizadas no polimento de efluentes de lagoas de estabilização, apresentando-se como uma opção eficiente em termos de remoção e de baixo custo (MOHEDANO, 2010).

Por possuir uma alta capacidade de crescimento, em torno de 3,5 g/m². dia (GE et al., 2012), as lemnas podem tornar-se um problema no uso em lagoas de polimento, pois a manutenção adequada do sistema necessita de remoção diária da biomassa produzida, caso contrário, todo o processo de remoção dos nutrientes retorna ao sistema na forma de biomassa morta.

Para Iqbal (1999), a quantidade e a frequência de colheita das lemnas desempenham um papel importante na eficácia do tratamento e no valor nutricional das plantas. Colheitas regulares garantem que os nutrientes acumulados ou toxinas sejam continuamente removidos do sistema.

Com isso, uma alternativa para tais resíduos provenientes da biomassa de lemnas pode ser o seu uso na incorporação em ração animal ou ser utilizada diretamente na alimentação de peixes, pois a planta apresenta teores de proteína bruta em torno de 35%, o que somado a sua taxa de crescimento e ao elevado teor de proteína, a torna 20 vezes superior que a soja em níveis proteicos (MOHEDANO et al., 2012).

Pesquisas recentes relatam uma eficiência na remoção de nutrientes presentes nos esgotos utilizando lagoas de lemnas, a Tabela 2, relaciona os principais autores pesquisados, considerando espécie de macrófita utilizada, principais características do esgoto, tempo de detenção hidráulico, e a eficiência de remoção no tratamento utilizando lagoas de lemnas.

Tabela 2- Relação de trabalhos realizados abordando espécies, tempo de detenção, concentração e eficiência do polimento de efluentes

Autor	Espécie	Concentração	TDH	Eficiência
Adhikari,U., et al. 2014	<i>Lemna minor</i>	NT 32mg/L DQO 500mg/L	22,5 dias	NT - 27,3% PT - 13% DQO- 76%
Garcia, 2015	<i>Landoltia punctata</i>	NT 50mg/L DQO 477mg/L	3,8 dias	NT- 74,6% PT- 66,1% DQO- 88,1%
Ge et al. 2012	<i>Lemna minor</i>	-	18 a 27 dias	NO ₃ ⁻ 75% a 95,1%
Matos et al. 2014	<i>Lemna gibba</i>	NH ₄ ⁺ -33,4mg/L	10 dias	NH ₄ ⁺ 30,8% NTK -19,9% DQO -39,9% E. coli -92,6%
Yilmaz & Akbulut, 2011	<i>Lemna minor</i>	DBO ₅ - 227mg/L DQO – 377mg/L	10 dias	DQO -83% DBO ₅ – 88%
Zhao et al. 2014	<i>Lemna japonica</i>	NT – 27mg/L PT – 3,5mg/L	11 dias	NT – 58% PT – 50%

Fonte: próprio autor

3.4 MACRÓFITAS AQUÁTICAS E O POLIMENTO DE EFLUENTE DO TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS

O processo de polimento de efluente doméstico utilizando macrófitas aquáticas é baseado no processo conhecido como fitorremediação, processo que utiliza-se de plantas aquáticas tanto flutuantes como enraizadas para a absorção dos nutrientes presentes, como nitrogênio, fósforo e metais dissolvidos na água (ZHAO et al., 2014).

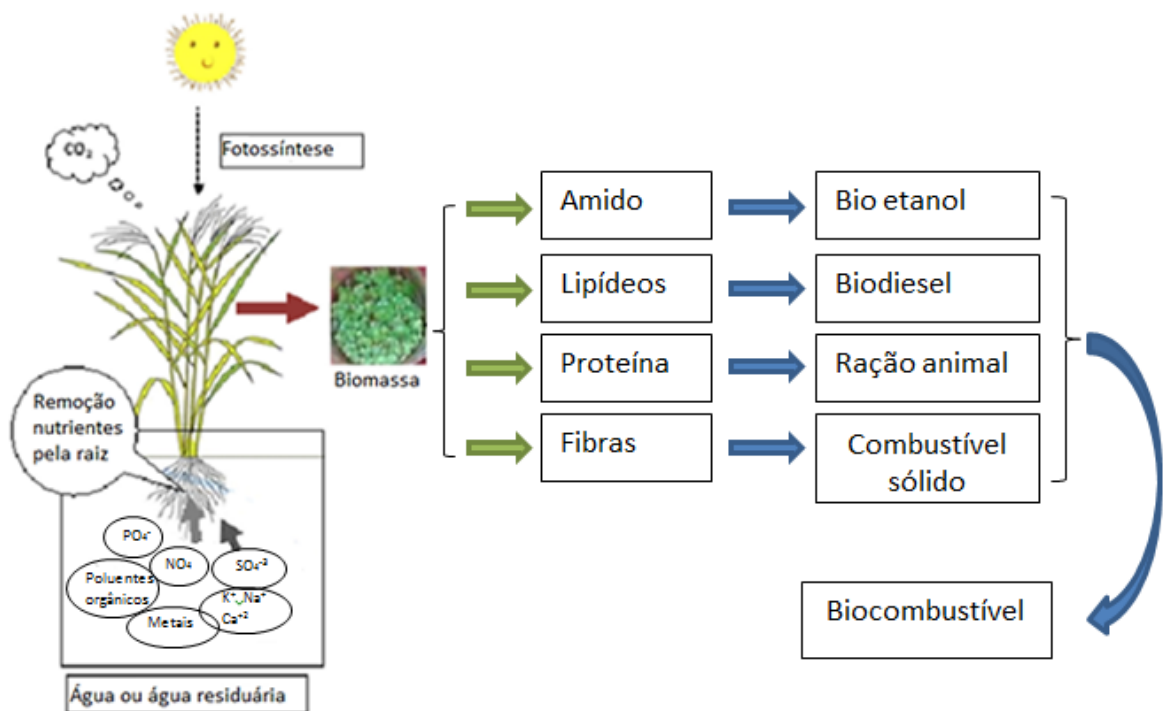
A fitorremediação é um processo de absorção de poluentes, de baixo custo, que converte os nutrientes em biomassa (ZHAO et al., 2014). No caso das

macrófitas aquáticas flutuantes, o processo de remoção de nutrientes ocorre por meio das raízes, denominado de rizofiltração.

A rizofiltração é uma técnica em que a adsorção ocorre nas raízes pela absorção de contaminantes que estão em solução aquosa, ao redor da zona de raízes. Zhao et al. (2014), relatam a presença de uma microfauna aderida às raízes das plantas, que auxiliam na degradação da DQO, na remoção e fixação do nitrogênio.

Essa técnica é comumente aplicada a metais, radionuclídeos, tais como, urânio, cério e estrôncio (VERMA; SUTAR, 2015). Tal processo pode ser esquematizado conforme Figura 1, que representa o processo de fixação de nutrientes através da raiz, utilizando energia solar e o CO_2 presente na atmosfera para produzir biomassa de elevado valor proteico.

Figura 1- Fluxograma de fixação da energia solar no enriquecimento da biomassa



Fonte: adaptado de Verma e Suthar (2015).

As lemnas podem ser utilizadas não somente na remoção de micropoluentes e nutrientes presentes nos esgotos domésticos. Em estudos realizados por Matos et al. (2014), tanques de lemnas apresentaram uma redução nos coliformes totais e *E. coli*, num percentual de 62,3% e 92,6% respectivamente. Tal remoção ocorre devido à competição das lemnas e bactérias por nutrientes; segundo El-Shafai et al. (2007),

ao remover a biomassa, remove-se também toda a microbiota aderidas às raízes das lemnas.

Para Von Sperling (2005), o principal mecanismo de remoção do fósforo em lagoas, principalmente nas de maturação, polimento e alta taxa, é obtido pela precipitação de fosfatos em condições de elevado pH, sendo mais elevado em lagoas rasas. Nos sistemas de tratamento com lemnas, o fósforo é normalmente removido pelos seguintes mecanismos: assimilação pelas plantas, absorção de partículas de argila e matéria orgânica, precipitação química com Ca^{2+} , Fe^{3+} e Al^{3+} . (TAVARES, 2008)

No entanto, a remoção de nitrogênio nas lagoas de estabilização ocorre por meio da volatilização da amônia, assimilação pelas algas, nitrificação e desnitrificação e a sedimentação do nitrogênio orgânico. Dentre esses mecanismos, Von Sperling (2002) cita como o mais importante o processo da volatilização da amônia, ou o desprendimento da amônia para a atmosfera.

Contudo, Tavares (2008) afirmam que os compostos nitrogenados, bem como a amônia são reduzidos nas lagoas de lemnas pelos seguintes processos: 1) absorção da amônia pelas lemnas; 2) sedimentação de sólidos suspensos com nitrogênio orgânico; 3) volatilização da amônia; 4) nitrificação e desnitrificação.

O fósforo é normalmente removido pelos seguintes processos: 1) absorção pelas plantas; 2) adsorção em partículas de argila e de matéria orgânica; 3) precipitação química; 4) remoção do lodo (IQBAL, 1999).

Eficiências de remoção de mais de 90% de DBO, mais de 74% de nutrientes e 99,78% para coliformes fecais foram notificados de uma lagoa de esgoto coberto de lemna em Bangladesh. No sistema estudado, no entanto, a carga do esgoto tratado é relativamente baixa, em relação à DBO (IQBAL, 1999).

Utilizando um tempo de detenção de 21 dias, as lemnas reduziram significativamente a carga de nutrientes, o que significa remoção média de 67 a 89% de Nitratos, 85 a 86% de sulfatos e 67 a 72% na remoção do fosforo total presente na água (VERMA; SUTHAR, 2015).

No estudo de Matos et al. (2014) a produtividade da lemna demonstrou que pode chegar 2,7 a 8,2kg/m².ano (biomassa seca), dependendo da espécie e das condições climáticas. A quantidade de proteína bruta contida 38,08%, nitrogênio e fósforo chegando a níveis de 6,08% e 0,4% e amônia e fosfato percentual 30,8% e 28,7%, respectivamente.

Em relação à concentração de oxigênio dissolvido (OD) nos esgotos domésticos, segundo Von Sperling, (2005) ela é praticamente nula. Isso se deve a quantidade de matéria orgânica presente, o que implica no elevado número de microrganismos que consomem o OD. Ainda segundo o autor, as lagoas facultativas podem apresentar valores de OD próximo à saturação, devido à produção de oxigênio puro pelas algas. Tal concentração varia ao longo do dia, sendo mais elevada durante as horas de insolação.

O processo de oxigenação da água pelas algas não ocorre nas lagoas de polimento utilizando lemnas, pois a cobertura vegetal na superfície diminui a penetração de energia luminosa e a proliferação das algas. Tal cobertura vegetal pode não ser tão eficiente na remoção de DBO em lagos cobertos de lemna por causa da transferência limitada de oxigênio na água (MOHEDANO, 2010).

Chaiprapat et al. (2003) consideram que apesar da principal função das lemnas nos tratamentos secundário e terciário ser a recuperação de nutrientes, as plantas formam uma manta na superfície da água inibindo a entrada de oxigênio, tanto por difusão, quanto pela produção pelo fitoplâncton.

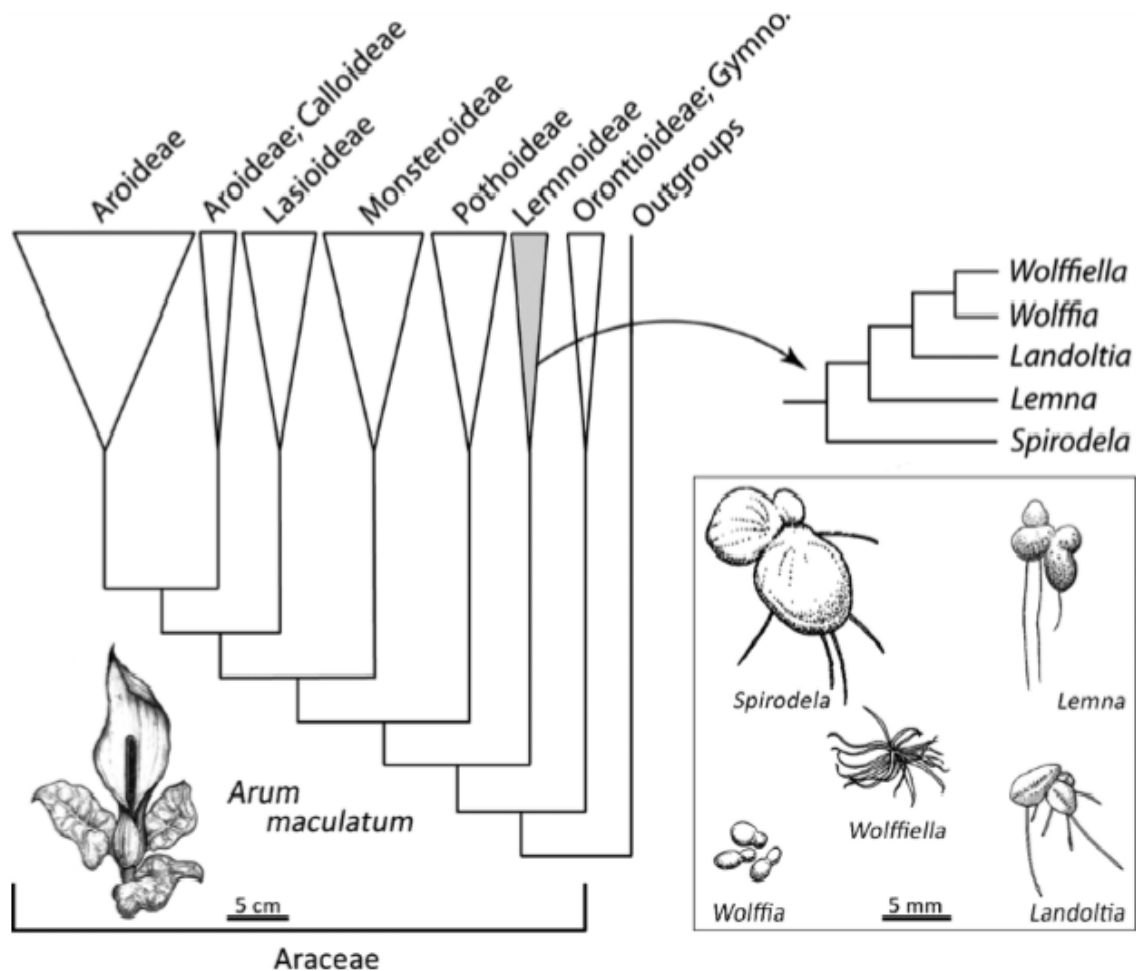
Como uma hipótese, Iqbal (1999) acredita que a parede celular fina, o baixo teor de lignina e os cloroplastos presentes nas raízes das lemnas permitem o fluxo de oxigênio dos tecidos vegetais para a água por difusão direta, beneficiando assim, a comunidade heterotrófica aderida pelo uso de OD e reforçando a oxidação da matéria orgânica na lagoa.

Reforçando a teoria de Iqbal (1999), citada acima, Garcia (2015), obteve um aumento médio de 1,73mg/L de OD no efluente doméstico, no pós tratamento com lemnas, o que explica a atividade fotossintética das lemnas, que influencia na concentração de OD, possivelmente devido à contínua transferência de oxigênio através das plantas e o sistema radicular.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DA ESPÉCIE

Comumente conhecidas como lemnas, as macrófitas aquáticas pertencem família *Araceae*, subfamília *Lemnoideae*; subfamília esta que possui 5 gêneros: *Lemna*, *Landoltia*, *Spirodela*, *Wolffia* e a *Wolffiella*, conforme representado na Figura 2 a árvore simplificada, representando a família *Araceae*.

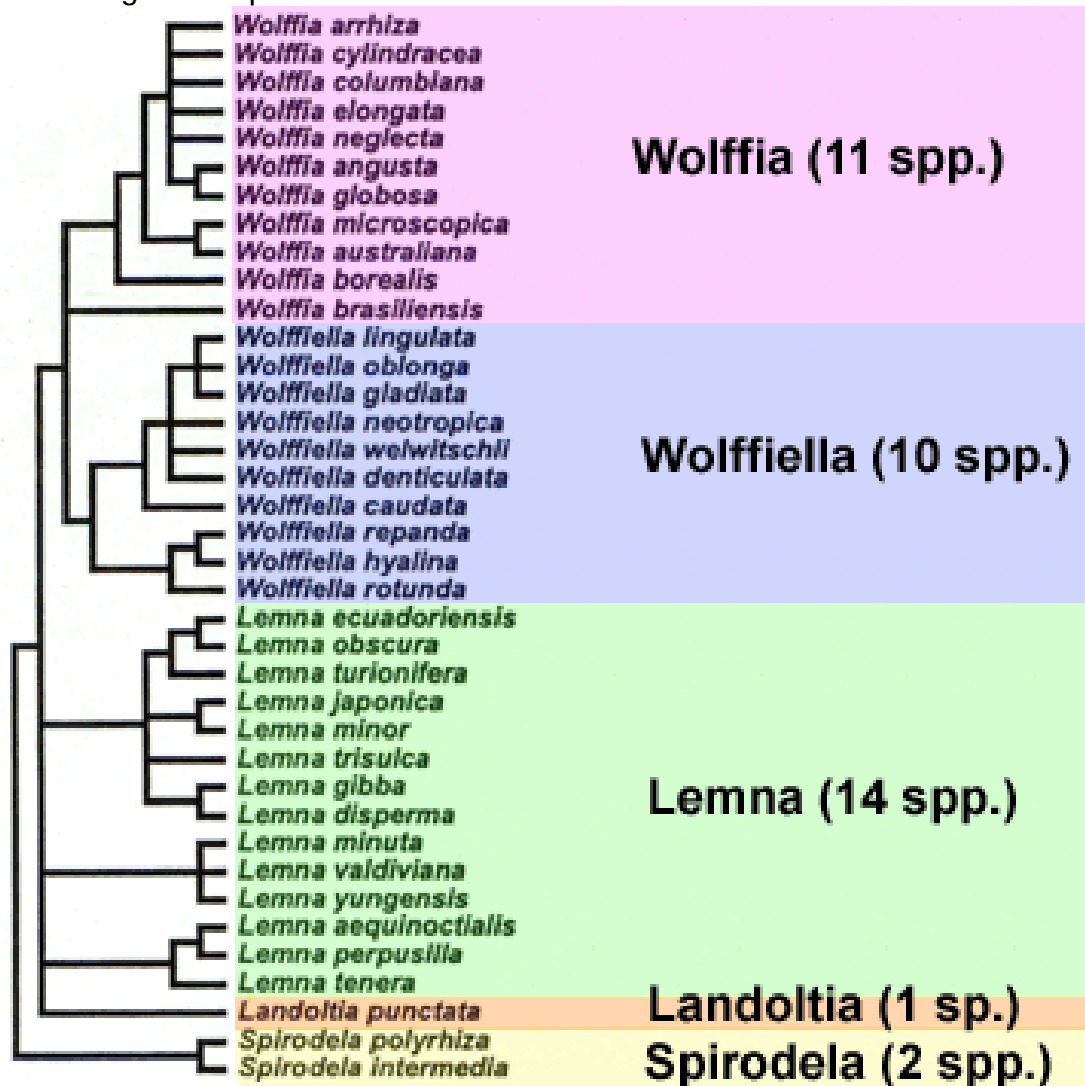
Figura 2- Árvore simplificada da família Araceae, mostrando as subfamílias Aroideae e Lemnoideae (anteriormente Lemnaceae)



Fonte: Kutschera e Niklas (2014).

O gênero *Lemna* possui as menores plantas aquáticas vasculares, sendo composto por em torno de 38 espécies identificadas e distribuídas ao redor do mundo, conforme representado na Figura 3, o cladograma da subfamília *Lemnoideae*, modificado por Les et al. (2002) mostra todos os cinco gêneros e as 38 espécies. São plantas cosmopolitas, que adaptam-se facilmente a ambientes poluídos e superfícies de água com baixa oxigenação.

Figura 3- Cladograma representando a família Lemnoideae



Fonte: Les et al. (2002).

Uma das principais diferenças entre as espécies está nas raízes (presença e ausência de raiz), e número de raízes por fronde; a espécie *Landoltia punctata* difere-se das demais, pois possui várias raízes por fronde (duas ou mais raízes), em comparação com as espécies do gênero *Lemna* que possuem apenas uma raiz por fronde, e de *Wolffia* e *Wolffiella* que não possuem raízes.

A *Landoltia punctata*, antes denominada de *Spirodela punctata*, recebeu este nome em homenagem a Elias Landolt. Esta espécie é intermediária entre os gêneros *Lemna* e *Spirodela*. Elas também possuem uma tonalidade avermelhada na face interior das frondes devido à produção de antocianina; normalmente elas possuem entre 2 a 4 raízes, sendo o gênero descrito por (LES; CRAWFORD, 1999).

As lemnas por apresentarem crescimento rápido normalmente seguindo taxas exponenciais, podem dobrar sua massa em 2 a 3 dias, em condições ideais de luz,

temperatura e nutrientes (JOURNEY et al., 1993). Em média uma planta gera 20 outros indivíduos. Sua reprodução é principalmente vegetativa, onde as frondes filhas brotam de bolsos reprodutivos no lado de uma fronde madura (KUTSCHERA; NIKLAS, 2015). Uma fronde pode produzir até 10 gerações ao longo de um período de 10 dias a várias semanas, antes de morrer. Com o tempo e a idade das frondes, aumenta o teor de fibras e minerais e passa a se reproduzir em ritmo mais lento (JOURNEY et al., 1993).

Dadas às características de crescimento, faz-se necessário realizar o manejo adequado das plantas, pois a alta densidade e a falta de nutrientes gera a competição com outras plantas por luz e nutrientes, reduzindo assim a taxa de crescimento. Uma remoção periódica de biomassa e o manejo adequado dos nutrientes garantem a otimização das taxas de reprodução.

3.6 VALOR NUTRICIONAL DA BIOMASSA PRODUZIDA

A biomassa de lemna apresenta características valiosas, como quantidade significativa de proteína bruta, carboidratos e celulose. Além de possuir poucas fibras, pois não necessitam de tecido estrutural para suportar folhas e galhos, tornam-se atrativas fontes de alimentos quando comparadas às demais culturas como soja, milho, arroz, nas quais a maior parte da biomassa delas é desprezada no beneficiamento (TAVARES, 2008).

Zhao et al. (2014) relatam que o desempenho da *L. japonica* é melhor não somente na produção de biomassa seca (6,1g/m².dia), mas também proteína bruta 35,5%, total de amino ácido 26,83% e fósforo 1,38%. Os autores cultivaram as lemnas em região subtropical com clima de monções, com média mensal de temperatura do ar em torno de 7 a 20°C e 2400 horas de incidência de luz durante o ano, em condições de restrição de nutrientes, a produção de biomassa da *Landoltia punctata* (4,81g/m²dia) obteve uma alta quantidade de amido contido, de cerca 45,84%, o equivalente a 2,9g/m²dia de amido.

As populações de lemnas podem produzir até 55 toneladas de massa seca por hectare e por ano, cultivadas em águas residuárias, o que representa mais do que cinco vezes o que pode ser alcançado com milho (*Zea mays*), uma das plantas terrestres de rápido crescimento com considerável importância econômica (KUTSCHERA; BRIGGS, 2013), com produtividade média anual de 5.395kg/ha, safra 2014/15 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB, 2016).

As lemnas crescem rapidamente com rendimentos acima de 44 t/ha.ano (matéria seca) avaliadas sob condições experimentais, com variações de temperatura entre 6° e 33°C (ZHAO et al., 2014).

Segundo Chen et al. (2012), a espécie *Landoltia punctata* apresentou bom potencial para produção de etanol, apresentando valores médios significativos de amido e proteína bruta, 25% e 16,2% respectivamente.

Das 4 espécies estudadas por Zhao et al. (2014), dentre elas *Wolffia globosa*, *Lemna japonica*, *Landoltia punctata* e a *Spirodela polyrhiza*, cultivadas em sistemas de tratamento de águas residuárias em escala piloto, cada espécie possuiu potenciais e vantagens únicos, porém a espécie *Landoltia punctata* obteve melhor performance, sob restrição de nutrientes; uma produção de biomassa em torno de 4,81g/m².dia, e 45,84% de amido contido, com quantidade acumulada de amido de equivale a 2,20g/m².dia.

Segundo Journey et al. (1993), o teor de proteína de lemnas é um dos mais altos no reino vegetal, porém é dependente das condições de crescimento. Quando cultivadas em meios ricos em nutrientes, podem apresentar níveis altos de proteína e baixo de fibras e quando cultivadas em águas pobres em nutrientes podem apresentar níveis de proteína baixos e níveis de fibra maiores.

3.7 CONDIÇÕES PARA ENRIQUECIMENTO E PRODUÇÃO BIOMASSA

Segundo Xiao et al. (2013) a espécie *Landoltia punctata* possui taxa de crescimento médio de 30,35 g/m²/semana, e espécies como as lemnas apresentam alta absorção de N e P com taxas de 0,622 gN/m² /semana e 0,135 gP/m² /semana.

Em pesquisas realizadas por Wang et al. (2014), a fonte preferencial de nitrogênio para macrófitas aquáticas encontra-se na forma de íon amônio (NH₄⁺), pois assim não há a necessidade de redução no interior da célula; com isso as tecnologias de fitorremediação tem sido consideradas como caminho para a remoção de íon amônio (NH₄⁺), este fato é de grande importância na formação de aminoácidos e proteínas, pois reduz a energia utilizada no processo de assimilação.

Diversos pesquisadores afirmam que algumas espécies de lemnas após passarem por situações de restrição de nutrientes e variações ambientais possuem a habilidade de acumular amido em sua estrutura celular (XU; SHEN, 2011; XIAO et al., 2013; GE et al., 2012; ZHAO et al., 2012; ZHAO et al., 2014; TAO et al., 2013; HUANG et al., 2014; SREE; APPENROTH, 2014; BALIBAN et al., 2013).

A Tabela 3 apresenta diversos resultados obtidos por pesquisadores, na produção de biomassa e no teor de amido, considerando a faixa de temperatura do ar no período do experimento, tempo de cultivo para cada espécie utilizada.

Tabela 3- Relação dos trabalhos que utilizam diferentes espécimes de Lemnas sob a produção de biomassa, temperatura e porcentagem do amido produzido

Autor	Espécie	Produção biomassa	Temperatura	% amido
Ge et al. 2012	<i>Lemna minor</i>	3,5g/m ² .dia	6° a 15°C	36%
Huang et al. 2014	<i>Landoltia punctata</i>	-	25°C	45,36%
Tao et al. 2013	<i>Landoltia punctata</i>	-	15 a 25°C	45,4%
Xu et al. 2011	<i>Spirodela polyrhiza</i>	12,4g/m ² .dia	20 a 30°C	64,9%
Yin et al. 2015	<i>Lemna aequinoctialis</i>	8,90g/m ² .dia	23°C	62%
Zhao et al. 2012	<i>Lemna minor</i>	12,1g/m ² .dia	6° a 33°C	25,4%
Zhao et al. 2014	<i>Landoltia punctata</i>	6,1g/m ² .dia	7° a 20°C	45,84%

Fonte: próprio autor

Elevadas concentrações de amônia (NH₃) tornam-se tóxicas para as lemnas, o que reduz a taxa de crescimento, inibe a síntese de pigmentos fotossintetizantes e causa o desequilíbrio na relação C/N, causando a morte prematura e a senescência das frondes (MATOS et al., 2014).

Ge et al. (2012), identificaram em sua pesquisa que o ciclo de crescimento da lemna gira em torno de 15 a 18 dias. Após esse período o crescimento e a sequente produção de biomassa se tornam estacionários. Há uma fase entre o 6^o e o 15^o dia em que o crescimento é rápido, ocorrendo numa taxa de 3,5 g/m²/dia (em massa seca). Neste período a produção de amido contido na biomassa diminui, porém ela volta a aumentar rapidamente durante a fase de crescimento estacionária.

Xu e Shen (2011) exploraram o fato das lemnas possuírem uma grande capacidade de acumular amido para produzir etanol a partir de sua biomassa. Durante quatro semanas, eles cultivaram lemnas em uma lagoa de 300m² abastecida com efluente de suinocultura. A colheita era feita com uma frequência de

3 vezes por semana e os pesquisadores obtiveram uma produção de biomassa de 12,4g/m²/dia. Outro exemplo, 10-35% podem ser colhidas diariamente com as plantas remanescentes deixados na lagoa para um maior crescimento (HASAN et al., 2009).

Para enriquecer o teor de amido das lemnas, os pesquisadores transferiram as lemnas cultivadas para tanques com água limpa, sem presença de nutrientes, onde permaneceram por 7 dias. Ao final, verificaram que a biomassa de *Landoltia punctata* continha por volta de 45,4% de amido em massa seca (TAO et al., 2013).

Pesquisas indicaram uma quantidade ótima de biomassa nas lagoas de tratamento em torno de 200 a 600 g/m² e peso fresco (SKILICORN et al., 1993; CHENG et al., 2002; SMITH; MOELYOWATI, 2001; ZIMMO et al., 2004; LANDESMAN et al., 2002), densidades acima desses valores indicam superpopulação, assim como nas baixas densidades que podem ocasionar a redução na eficiência do tratamento e até mesmo eficiências negativas (MOHEDANO, 2010).

Segundo Iqbal (1999), as plantas mais jovens mostram um melhor perfil de recuperação de nutrientes e maior taxa de crescimento, em relação às plantas mais velhas, a colheita regular é importante para manter uma cultura saudável e produtiva, devendo manter uma cobertura quase que completa na superfície da lagoa após a colheita.

3.8 ALTERNATIVAS PARA USO DA BIOMASSA DE LEMNA

Desde os anos 1970, as lemnas atraíram considerável atenção para o seu elevado teor de proteínas, o crescimento rápido de biomassa em comparação com as plantas terrestres e a capacidade de absorver nutrientes e outras substâncias químicas (JOURNEY et al., 1993; IQBAL, 1999; HASAN et al., 2009; MWALE; GWAZE, 2013).

A biomassa de lemna após colheita possui valor proteico valioso, onde as concentrações de proteína bruta, carboidratos, amido e lignocelulose se apresentam como boa alternativa para uso na produção de etanol.

Zhao et al. (2012), apontam como alternativa promissora a produção de etanol, por meio da sacarificação enzimática para produzir glucose e outros

derivados de açúcares da parede celular, que por meio de fermentação ou degradação enzimática pode ser convertida para etanol.

A obtenção de etanol a partir de biomassa envolve duas etapas sendo a primeira no processo de hidrólise dos polissacarídeos, gerando mono e dissacarídeos e a segunda etapa envolve a fermentação dos monos e dissacarídeos em etanol (OGEDA; PETRI, 2010).

O processo de produção de etanol, produzido a partir da Lignocelulose, apesar de bom potencial como matéria prima, apresenta alto custo na produção do etanol, segundo (YIN et al., 2015).

Para Verma e Suttar (2015), o cultivo da *lemna* levou a um significativo acúmulo de proteína bruta, aminoácidos, amido e baixa quantidade de fibras. Estas características químicas da *lemna* reiteram seu potencial para uma fonte de alimento e produção de bioenergia. Segundo Yin et al. (2015) as quantidades de amido podem variar conforme a espécie utilizada e das condições de crescimento, o que varia num percentual de 3 a 75%.

Ao avaliar as composições químicas das *lemnas* e Iatrou et al. (2015), obtiveram teores de proteína bruta de 31,6% em experimento utilizando urina humana, enquanto Cheng e Stomp (2009) obtiveram 45,8% utilizando dejetos suíno com a espécie *Spirodela polyrrhiza*, tais valores podem ser comparados aos estudos realizados por Verma e Suthar (2015), que obtiveram taxas de proteína bruta entre 16 e 41,7%, fibra bruta entre 8,8 a 15,6% e lipídeos de 4,5 a 9%.

O baixo teor de fibra e o alto valor nutricional das *lemnas* fazem dela bom alimento ou componente para rações animais. Sua grande quantidade de nitrogênio faz com que ela possa também ser usada como fertilizante (IQBAL, 1999).

Matos et al. (2014) cultivando a espécie *Landoltia punctata*, demonstraram que se pode chegar a 2,7 a 8,2 kg/m².ano em biomassa seca, dependendo das condições climáticas. A composição da biomassa foi de 38,08% de proteína bruta, nitrogênio e fósforo chegando a níveis de 6,08% e 0,4%, e amônia e fosfato percentual 30,8% e 28,7%, respectivamente.

Ao considerar a *lemna* como fonte de proteína no preparo de rações animais e sua produção em comparação, por exemplo, com a soja, esta última possui estimativa de produção para a safra 2015/16 em torno de 3,116t/ha.ano (IBGE, 2016), contendo em torno de 38% de proteína bruta (EMPRESA BRASILEIRA DE

PESQUISA AGROPECUARIA- EMBRAPA, 2016), isto é, rendimento médio da soja de 1,18 t/ha.ano de proteína bruta disponível.

Assumindo um rendimento anual médio da produção de lemna de 27t/ha.ano em peso seco, com um teor de proteína de 38% em peso seco (MATOS, 2014), uma produção de proteína de cerca de 10 t/ha.ano pode ser obtido. Esta produção de proteína por hectare é muito maior do que para a maioria das outras plantas cultivadas, e cerca de 10 vezes maior que a da soja.

A proteína de lemna também foi utilizada como suplemento para aves. Segundo Leng (1999), a lemna seca mostrou-se superior em qualidade de proteína em comparação com a farinha de alfafa. Ainda conforme Leng (1999), o uso da lemna cultivada em esgoto doméstico não apresentou contaminação por organismos fecais na carne de aves que consumiam esta lemna.

Em estudos realizados com frangos de corte alimentados com lemnas, Mwale e Gwaze (2013), confirmaram que o desempenho em frangos de corte foi maior com um nível de inclusão de lemna de 4 a 8% na ração, melhorando a eficiência proteica, energética e a rentabilidade.

Estudos que avaliaram a pigmentação de ovos de galinhas poedeira, alimentadas com lemnas mostraram que houve um aumento na pigmentação das gemas dos ovos de galinhas alimentadas com quatro dietas convencionais, sem pigmentos artificiais com lemnas e substituindo o farelo de soja, obtiveram nível 10 na escala de coloração da gema dos ovos (0-12) com dietas contendo concentrações de 60, 90 e 130g/kg de lemna (LENG, 1999).

Men et al. (1995) realizaram experimentos utilizando a lemna fresca substituindo o grão de soja em mistura mineral para patos de engorda. Não houve redução nas características de desempenho de crescimento ou da carcaça. Como vantagem, a lemna pode ser cultivada na fazenda enquanto a soja geralmente tem que ser comprada.

A dieta com silagem lemna e milho na proporção de (1:2) produziu maiores taxas de crescimento em novilhas da raça Holandesa do que uma dieta à base de silagem de milho e grama (LENG, 1999).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

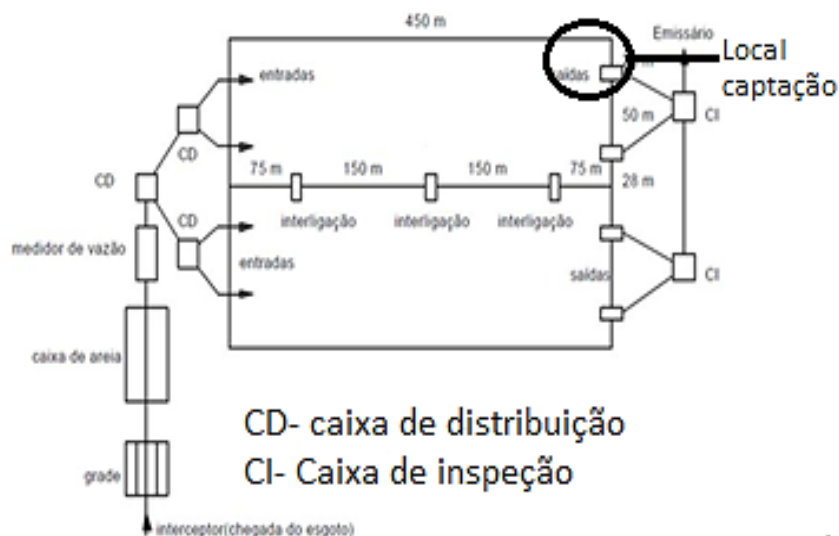
4.1 LOCALIZAÇÃO E MONTAGEM DO EXPERIMENTO

O município de Ilha Solteira – SP, localizado na região noroeste do Estado de São Paulo, coordenadas geográficas 20° 25' 24,4" S e 51° 21' 13,1" W, altitude de 337 m, possui uma população estimada em 25.064 habitantes, de acordo com o censo do IBGE de 2010 (IBGE, 2013).

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Ilha Solteira é composta por duas lagoas facultativas, cada uma com formato retangular, com 450 m de comprimento e 106 m de largura. São operadas em paralelo com interligações entre si em três pontos, como mostra a foto na Figura 4. A ETE pode receber uma vazão de até 66L/s, totalizando um volume diário de aproximadamente 5.700 m³.

O experimento proposto foi conduzido em uma estação experimental, localizada no Laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Civil, da UNESP – Câmpus de Ilha Solteira. O efluente do tratamento de esgoto doméstico utilizado no experimento foi coletado numa saída da lagoa facultativa da Estação Tratamento Esgoto (ETE) de Ilha Solteira, indicado na Figura 4, num volume de 6.000 L/semana, para a realização do seu polimento utilizando sistema de lagoas de lemnas.

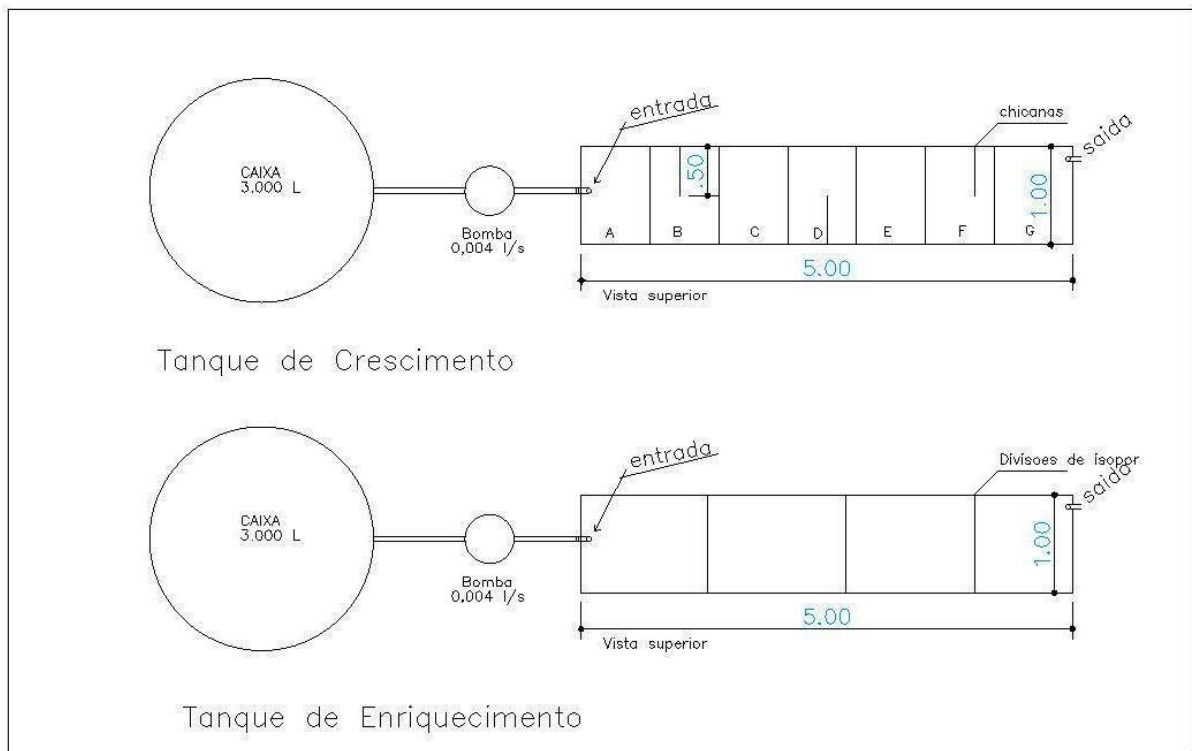
Figura 4- Layout das lagoas da ETE de Ilha Solteira – SP, local da captação do efluente da estação de tratamento de Esgoto de Ilha Solteira/SP



Fonte: Adaptado de Matsumoto e Schincariol (1998).

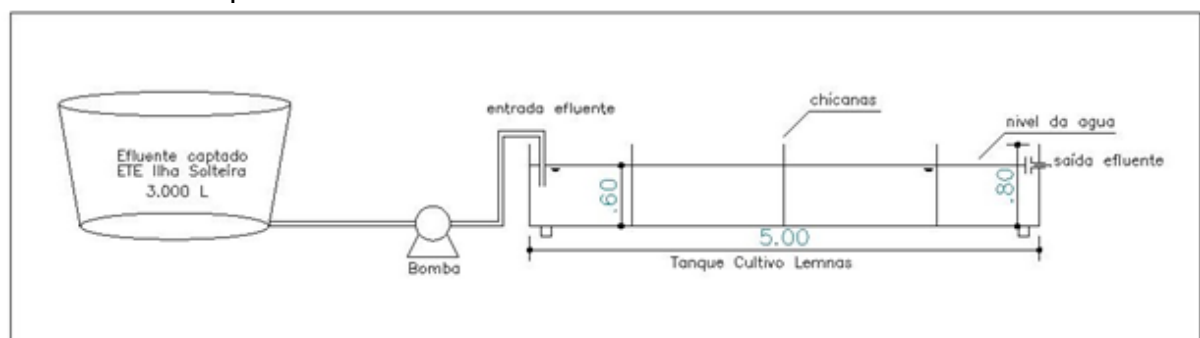
As Figura 5 e 6 representam o sistema de tratamento proposto para o polimento do efluente, em lagoas com lemnas. Foram utilizados dois sistemas tratamento, cada um composto por um caixa de armazenamento seguida de uma bomba que a ligava ao tanque de cultivo. Ambos os tanques foram cobertos com tela para impedir a proliferação de mosquitos, como exigência Vigilância sanitária, e impedir a queda de folhas de árvores próximas.

Figura 5- Layout do sistema de tratamento



Fonte: próprio autor

Figura 6- Perfil do sistema com as dimensões em metros do tanque de enriquecimento



Fonte: próprio autor

O esgoto transportado da ETE era depositado nas caixas de armazenamento, com capacidade de 3.000L cada, ligados a uma bomba dosadora com vazão de

375L/dia, associada a um inversor de frequência, conforme apresentada na Figura 7a. Os inversores de frequências (Figura 7b) foram utilizados para controlar a vazão bombeada das caixas de armazenamento para os tanques.

Figura 7- a) Bomba dosadora e b) Inversores de frequência para controle de vazão



Fonte: próprio autor

Na fotografia do sistema piloto apresentado na Figura 8, é possível ver o tanque de crescimento utilizado para o cultivo de lemnas, onde foi avaliado o crescimento da biomassa e a eficiência do tratamento, e o tanque de enriquecimento, onde foi realizado o processo de enriquecimento de amido das lemnas, seguindo uma sequência de variações das condições de cultivo das plantas.

Figura 8- Configuração do sistema de tratamento montado em área externa do laboratório



Fonte: próprio autor

4.2 ESPÉCIE UTILIZADA

A espécie utilizada é da família *Araceae*, subfamília *Lemnoideae*, do gênero *Landoltia* e a espécie *Landoltia punctata* apresentada na Figura 9. Sua escolha foi principalmente por ser uma das espécies que mais acumulam amido, e por dar continuidade à pesquisas realizada por Garcia (2015).

Figura 9- a) Imagem da *Landoltia punctata* e b) *Landoltia punctata* em escala (500 μm)



Fonte: Adaptado Armstrong (2000).

4.3 MONITORAMENTO CLIMATOLÓGICO

Foram monitorados os dados de temperatura, umidade do ar e pluviosidade, apenas para considerar as condições externas ao cultivo. Esses dados foram obtidos na Estação Agrometeorologia, UNESP de Ilha Solteira, por meio do site (<http://clima.feis.unesp.br/>).

4.4 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO

Em um dos sistemas foi feito a avaliação do crescimento da lemna. Este tanque foi dividido em 7 seções para avaliar o crescimento em diferentes períodos de colheita, adotando tempo de cultivo variando de 3 a 21 dias. Assim, nas 7 seções do tanque foram avaliados os períodos de cultivo de 3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 dias.

Tais divisões são apresentadas na Figura 10A e 10B. Essas divisões foram necessárias para que se pudesse avaliar de forma homogênea o crescimento da planta, principalmente devido às variações das concentrações dos constituintes do esgoto, maiores na seção A, que se refere à entrada do esgoto no sistema, e menores nas seções F e G, localizadas na saída do efluente pós polimento.

Figura 10- A) Sistema para o cultivo e polimento e B) Divisões no tanque e colheita da seção C



Fonte: próprio autor

O tanque possui uma área total de 5,0 m² e cada uma das seções tinham área de 0,7 m². Para as divisões das seções foram utilizadas placas de isopor, apenas para o isolamento na superfície da água.

Inicialmente, foi inoculada uma quantidade de 250g de lemna fresca em cada seção. As plantas foram colhidas e se quantificou o seu peso fresco e seco, conforme a Tabela 4. Para cada seção denominada de A, B, C, D, E, F e G as plantas foram cultivadas totalizando um período de 84 dias em cada seção, com diferentes intervalos de colheitas. As plantas foram colhidas com intervalos de 3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 dias. Na Tabela 4, cada coluna representa uma rodada do experimento.

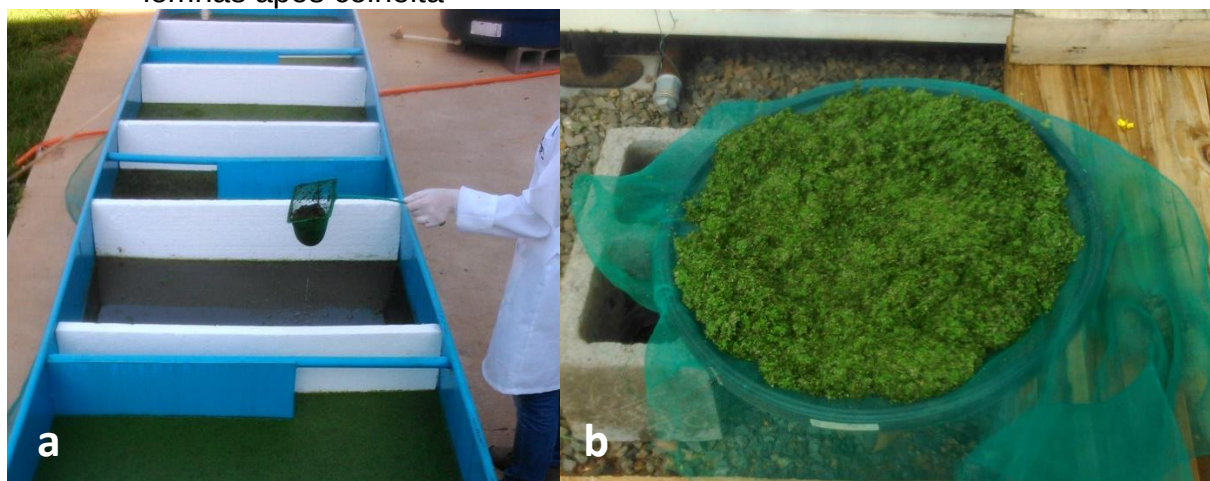
Tabela 4- Divisões no tanque e período de crescimento

Seções	Períodos de colheita (dias)						
A	3	6	9	12	15	18	21
B	6	9	12	15	18	21	3
C	9	12	15	18	21	3	6
D	12	15	18	21	3	6	9
E	15	18	21	3	6	9	12
F	18	21	3	6	9	12	15
G	21	3	6	9	12	15	18

As lemnas eram colhidas utilizando peneira comum (Figura 11a), eram deixadas à temperatura ambiente por mais ou menos 1 hora para escoar o excesso de água. Após este período era amostrado seu peso fresco (g), apresentado na Figura 11b. Na sequência, as lemnas eram colocadas em estufa por 48 horas a 50°C, para secagem e aferição de seu peso seco.

Novas lemnas eram inoculadas na seção correspondente. Este procedimento foi realizado 7 vezes, até que cada uma das seções tivesse realizado o período de crescimento de 21 dias (Tabela 4).

Figura 11- a) Colheita das lemnas b) Peneira para escoar o excesso de umidade lemnas após colheita



Fonte: dados próprio autor

A cada série de 3 dias de cada seção e assim sucessivamente 6, 9, 12, 15, 18 e 21 dias, foram calculadas e analisadas as dispersões dos dados, calculando os valores médios de cada período, para assim obtermos um valor médio de crescimento por período de cultivo da planta (3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21).

4.5 AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Ao final do processo de crescimento foram analisadas a composição química das plantas, utilizando metodologia de análise de alimentos, descrita por Weende (1980), que consiste em fracionar o alimento em água, cinzas ou matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), extrato etéreo (EE) e extrativo não nitrogenado (ENN) (RODRIGUES, 2010).

Com estas análises obteve-se a composição em teores percentuais (%) de proteína bruta, lipídeos, fibra bruta, cinzas, celulose, hemicelulose, carboidratos, amido (SILVA; QUEIROZ, 2002).

4.5.1 Cinzas

As amostras foram incineradas até cor esbranquiçada e cessar a liberação de fumaça e, posteriormente, colocadas em mufla a 600°C até peso constante (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC, 2012).

4.5.2 Proteína bruta

O teor de nitrogênio por destilação foi determinado em aparelho de Micro-Kjeldahl (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS- AOAC, 2012), usando o fator 6,25 para conversão para proteínas.

4.5.3 Celulose

O método utilizado foi o de Van Soest (1994), pela determinação da fibra em detergente ácido (FDA), onde a celulose, parte solúvel em detergente ácido, pode ser obtida por diferença de peso após colada em mufla a 500°C (AOAC, 2012).

4.5.4 Extrato etéreo (EE)

A determinação do extrato etéreo (EE) consiste em submeter a amostra seca do material à extração com éter de petróleo, partindo do princípio da solubilidade dos lipídios. Foi utilizado aparelho para extração de gordura e acessórios, tipo “Goldfisch”. O éter usado no processo é aquecido até tornar-se volátil e, ao condensar-se, circula sobre a amostra em análise, arrastando toda a fração gordurosa e demais substâncias solúveis em éter. O éter é recuperado em outro recipiente, enquanto a gordura extraída é calculada por diferença de peso (AOAC, 2012).

4.5.5 Fibra bruta (FB)

O termo fibra bruta engloba as frações de celulose e lignina insolúvel. Do ponto de vista químico, fibra bruta é a parte dos carboidratos resistente ao tratamento sucessivo com ácido e base diluídos. A fibra é inversamente relacionada

com o teor de energia, quanto maior a fibra, menor será o valor da energia (AOAC, 2012).

4.5.6 Extratos não nitrogenados (ENN)

Para obter-se a percentagem de ENN, somam-se as cinco determinações laboratoriais do Esquema de Weende: matéria seca a 65°C (MS), extrato etéreo (EE), proteína bruta $N \times 6,25$ (PB), fibra bruta (FB) e matéria mineral (MM). Este total é subtraído de 100 (AOAC, 2012).

4.6 ENRIQUECIMENTO DE AMIDO

O processo de enriquecimento de amido foi realizado no tanque de enriquecimento como apresentado anteriormente na Figura 8. Este tanque foi dividido em 4 (quatro) seções, sendo denominadas de seções A, B, C e D. Cada seção foi separada e as lemnas utilizadas para cada procedimento de variação do ambiente.

Cada seção foi separada com quadros flutuantes feitos em PVC, como detalhado na Figura 12, com área de 160 cm² cada, e foi inoculado um total de 100 g de lemnas frescas. Foram analisados em qual(is) processos (sendo eles: retirada das lemnas do esgoto e colocadas em caixas contendo água limpa ou em refrigerador ou esgoto com pH 9,0 ou variação no fotoperíodo) levou(aram) a um maior acúmulo de amido, conforme detalhado na Tabela 5.

Tabela 5- Processos de alteração do ambiente para enriquecimento de amido

Seção	Processo	Dias	12:00	18:00
A	Fotoperíodo	Segunda a sexta	Cobertura da seção A	Retirada da cobertura
B	Água limpa	Segunda a sexta	Remoção das plantas e colocadas em água limpa.	Retornar lemnas ao tanque de esgoto seção B
C	Temperatura da água 4°C	Segunda a sexta	Remoção das lemnas do tanque de esgoto e colocadas em água limpa, temperatura ambiente, em geladeira a temperatura de 4°C.	Retorno plantas ao tanque esgoto seção C
D	pH esgoto de 9,0	Segunda a sexta	Correção do pH do esgoto em tanque separado, e colocação das lemnas	Retorno de lemnas ao tanque esgoto seção D

Na seção onde se avaliou o efeito do fotoperíodo foram utilizadas placas de isopor para impedir entrada de luz solar pelas laterais e uma placa de madeira utilizada como cobertura da seção, conforme indicado na Figura 12.

Em todas as seções as plantas receberam ao mesmo tempo a alteração do ambiente de cultivo, durante 5 dias consecutivo. Cada processo teve um período 6 horas diários, durante 5 dias, como mostrado na Figura 12. Ao final do 5º (quinto) dia, foram retiradas amostras de lemna de 0,1g em peso seco para análise do teor de amido. Todos os processos foram repetidos 4 vezes até que cada processo fosse realizado nas 4 seções do tanque, a fim de avaliar em iguais condições cada processo, sabendo que a qualidade do esgoto é diferente na entrada do sistema e na saída, onde se apresenta mais depurado.

Figura 12- Quadro flutuante em PVC para isolar as lemnas e placa madeira fotoperíodo



Fonte: dados próprio autor

O processo de quantificação do amido foi realizado conforme método de dosagem de açúcares solúveis totais, descrito por Umbreit et al. (1957).

4.7 MONITORAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO NO SISTEMA DE POLIMENTO

As amostras do esgoto foram coletadas na entrada e na saída dos tanques de cultivo das lemnas, representadas na Figura 13, sempre no período da tarde.

Figura 13- a) Ponto de coleta na entrada e b) ponto de coleta na saída

Fonte: próprio autor

A avaliação da eficiência do tratamento foi realizada para se verificar a eficiência de remoção realizada pela lemna. O segundo tanque foi utilizado como duplicata, levando em consideração os parâmetros descritos na Tabela 6, assim como método de análise e frequência de amostragem.

No processo de tratamento do esgoto foram avaliados os seguintes parâmetros: Nitrogênio Total (NT), Nitrato (NO_3^-), Fósforo Total (PT), Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos Totais (ST).

Tabela 6- Variáveis analisadas, frequência de amostragem e método de análise

Variáveis analisadas		Frequência de amostragem	Método de análise
DBO (mg/L)		Semanal	Método 5210 B. 5-Day BOD Test (APHA, 1998)
DQO (mg/L)		Semanal	Método 5220 B. Open Reflux Method (APHA, 1998)
Fósforo Total (mg/L)		A cada 3 dias	Método Oficial AOAC 973.55. Photometric Method.(APHA, 1998)
Nitrato (mg/L)		A cada 3 dias	Método Oficial AOAC 973.50. Brucine Colorimetric Method. (APHA, 1998)
Nitrogênio	Total	A cada 3 dias	Método Oficial AOAC 973.48. Kjeldhal Method. (APHA, 1998)
Oxigênio	Dissolvido	Diária	Método 4500-O C. Azide Modification (APHA, 1998)

continuação

Variáveis analisadas		Frequência de amostragem	Método de análise
pH		Diária	Método Oficial AOAC 973.41. pH meter. (APHA, 1998)
Sólidos (mg/L)	Totais	Semanal	Método 2540 B. Total Solids Dried at 103-105 °C (APHA, 1998)
Temperatura esgoto (°C)		Diária	Termômetro de mercúrio

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este item apresenta os resultados obtidos a partir dos procedimentos propostos. A eficiência de remoção foi calculada para a determinação do desempenho das lemnas no polimento do efluente.

5.1 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

O clima da região é classificado, segundo Köppen, como do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, apresentando temperatura média anual de 24,5°C, precipitação média anual de 1.232mm e uma umidade relativa média anual de 64,8% (HERNANDEZ et al., 1995). De acordo com o monitoramento climatológico realizado nos 10 últimos anos, verifica-se uma temperatura média de 25,4°C, com temperatura máxima de 32,2°C e mínima de 19,9°C, precipitação média anual de 1.104mm e umidade média relativa de 72,3% (UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA- UNESP, 2015).

Na Tabela 7, encontram-se os valores máximos, médios e mínimos da temperatura e umidade relativa do ar e precipitação total durante o período experimental.

Tabela 7- Variáveis climáticas registradas durante o período de estudo

Temperatura (°C)			Umidade relativa do ar (%)			Precipitação total (mm)
Máx.	Média	Mín.	Máx.	Média	Mín.	
31,4	25,4	12,3	98,6	65,16	43	189,50

Fonte: UNESP (2015).

Observa-se uma variação na temperatura ambiente durante o monitoramento, sendo registradas temperaturas que pudessem ser prejudiciais às lemnas. As temperaturas máximas e mínimas registradas ao longo do período experimental foram 31,4°C e 12,3°C, respectivamente. Iqbal (1999) relata que em temperaturas acima de 35°C pode haver redução da produtividade das plantas pelo estresse causado pelo calor. O autor afirma ainda que a temperatura mínima para o crescimento das lemnas é de 7°C e que a faixa de temperatura ideal está entre 25°C e 31°C, dependendo da espécie.

A precipitação total durante o período experimental foi de 189,50mm. Segundo Iqbal (1999), os efeitos da chuva sobre o crescimento das lemnas não são

bem claros, porém efeitos positivos reportados incluem a melhoria da absorção de nutrientes pela limpeza das superfícies de absorção. Os possíveis efeitos negativos incluem chuvas prolongadas que diminuem a luminosidade drasticamente, a diluição dos nutrientes e a parcial submersão das partes fotossintéticas das plantas. Além disso, o impacto mecânico das chuvas prolongadas pode causar estresse na população de lemnas, as quais ficam emaranhadas pelas raízes permanecendo submersas, porém, este fato não foi observado neste estudo, pois a precipitação ocorrida durante o período experimental não foi prolongada.

Durante o experimento no período onde as temperaturas máximas se encontravam na faixa entre 30,8° e 31,4°C foram obtidas as maiores taxas de crescimento pelas lemnas variando entre 54,1 e 66,4g/m².dia em massa fresca. Porém durante o período com as temperaturas mínimas houve um crescimento menor pelas lemnas com taxa em média de 5,3 a 6,6g/m².dia em temperaturas variando de 12,3° a 14,4°C.

5.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DAS CARGAS DO EFLUENTE

A discussão dos resultados será feita primeiramente para os parâmetros coletados semanalmente (DQO, DBO e ST), em seguida para os coletados a cada 3 dias (NT, NO₃ e PT) e por fim para os coletados diariamente (pH e OD).

As concentrações de DQO, DBO, ST, NT, NO₃ e PT na entrada da lagoa de lemnas tiveram variações ao longo do período experimental. Essas variações estão relacionadas às mudanças na composição do esgoto transportado da ETE de Ilha Solteira até o tanque de armazenamento. As diferentes eficiências de tratamento encontradas em cada tanque podem ser explicadas devido à frequência de colheita das lemnas e à diferente incidência solar recebida por cada tanque, o tanque A se encontrava completamente sob a incidência solar ao longo do dia, e o Tanque B, recebia sombra no período da tarde o que justifica diferentes valores de entrada em cada.

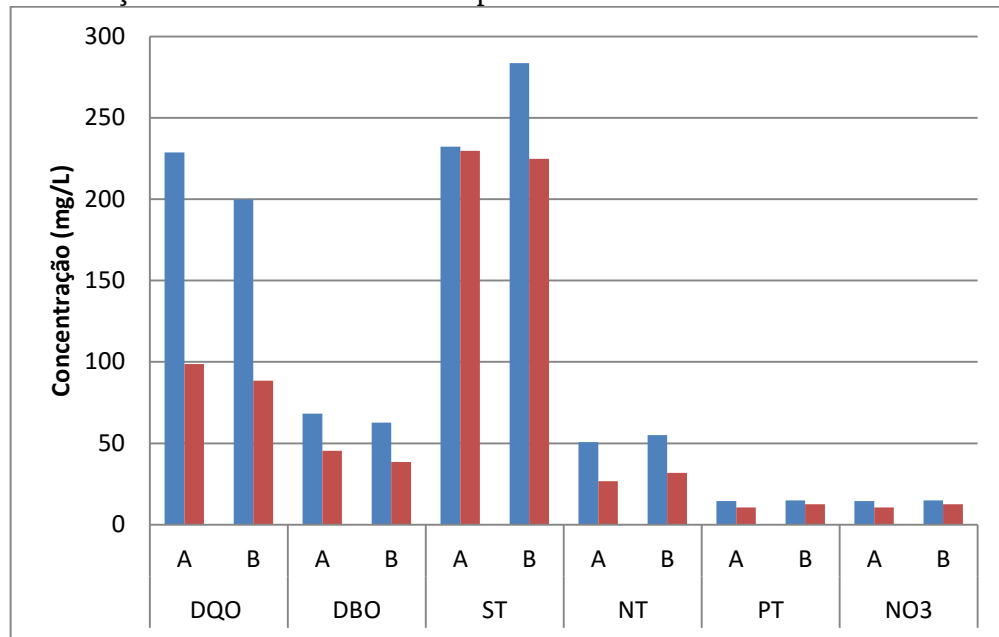
Na Tabela 8 são apresentados os dados de valores médios (mg/L) e desvio padrão das concentrações do esgoto na entrada e na saída do sistema de polimento, tanto para o tanque A quanto para o tanque B, além das respectivas eficiências médias de remoção (%), após um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8 dias.

Tabela 8- Caracterização do efluente e eficiências de remoção utilizando lagoa de lemna

Variável		Entrada	Saída	Eficiência remoção (%)
DQO (mg/L)	Tanque A	228,8 ± 96,5	98,7 ± 67,1	56,86
	Tanque B	199,8 ± 63,6	88,5 ± 34,7	55,72
DBO (mg/L)	Tanque A	68,3 ± 34,8	45,4 ± 32,1	33,53
	Tanque B	62,8 ± 31,5	38,6 ± 25,9	38,54
ST (mg/L)	Tanque A	232,3 ± 81,6	229,6 ± 98,4	22,47
	Tanque B	283,5 ± 86,1	224,8 ± 65,3	20,69
NT(mg/L)	Tanque A	50,7 ± 20,1	26,6 ± 7,0	47,54
	Tanque B	55,1 ± 25,1	31,8 ± 11,8	42,22
PT(mg/L)	Tanque A	14,6 ± 4,5	10,5 ± 4,1	27,75
	Tanque B	14,9 ± 4,5	12,6 ± 4,1	15,75
NO₃ (mg/L)	Tanque A	15,9 ± 8,5	13,7 ± 8,1	13,59
	Tanque B	10,4 ± 4,6	6,7 ± 5,2	35,22

Ao analisar os dados acima, verifica-se que são resultados promissores, lembrando que o sistema é utilizado para pós-tratamento de efluentes de lagoas de estabilização, melhorando assim a qualidade do efluente final a ser lançado no corpo d'água.

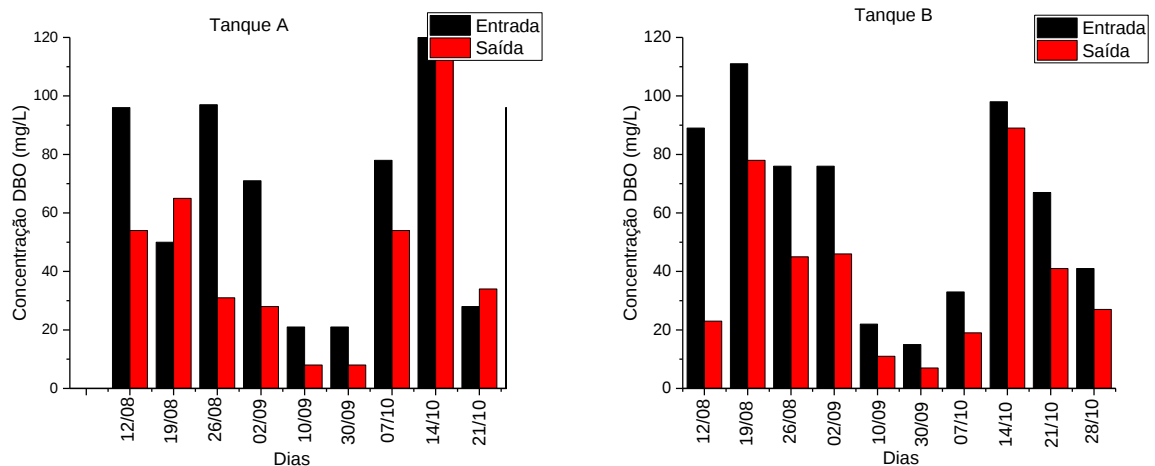
No sistema em comparação ao Tanque A e B, houve variações na entrada do efluente para os parâmetros analisados, devido problemas decorrentes no funcionamento das bombas, o que resultou em recebimento do efluente em apenas uma das caixas. Algumas variações nas concentrações de entrada são justificadas pela exposição do tanque A que durante o dia todo ficava sob a exposição solar ao contrário do sistema B apresentou pequenas variações em razão do sombreamento recebido, são apresentados na Figura 14.

Figura 14- Relação da eficiência média dos parâmetros analisados

A seguir são apresentados os resultados individuais para cada parâmetro.

5.2.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO

A Figura 15 apresenta os resultados obtidos para a concentração de DBO.

Figura 15- Dados coletados nas entradas e saídas dos tanques com lemnas para análise de DBO (mg/L)

Ao avaliar a concentração de DBO no experimento, notou-se uma concentração de 125mg/L para o tanque A e 111mg/L no tanque B de DBO na entrada dos tanques A e B (Figura 21). No período em que ocorreu a maior concentração de DBO (125 e 111mg/L), a eficiência de remoção foi de 72,8% e

59,4% respectivamente, e para as menores concentrações de DBO nos Tanques A e B a eficiência de remoção foi de 61,9% e 68,1% respectivamente.

No dia 19 de agosto, houve problemas com funcionamento de uma das bombas, ficando o tanque A com sistema paralisado para manutenção das mesmas, e o Tanque B recebeu o efluente o que justifica as diferentes concentrações de entrada.

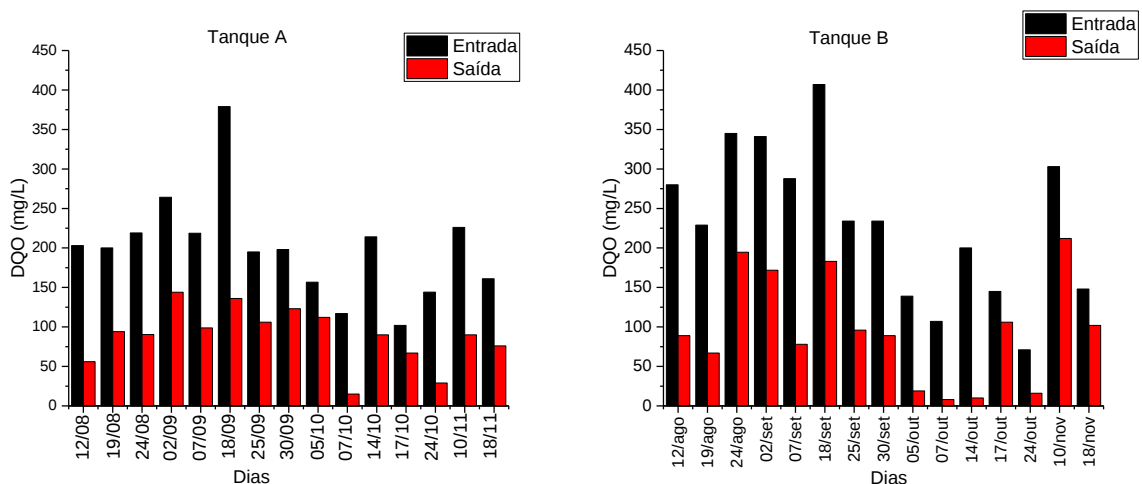
Considerando os padrões de lançamento de efluentes baseados na Resolução CONAMA 430/2011 e o Decreto CETESB 8.468/76, e do Instituto das Águas do Paraná, que enquadra o Rio Paraná como rio de classe 2, os padrões de lançamento permitem o máximo de DBO de 60mg/L ou mínimo de remoção de 60%.

No sistema em questão obtemos uma eficiência de remoção dos Tanques A e B 72,8% e 59,4%, com valores médios de 45,4 e 38,6mg/L de DBO de lançamento dentro dos padrões exigidos pela legislação vigente.

5.2.2 Demanda Química de Oxigênio - DQO

Na Figura 16 estão representados os resultados para a variável DQO.

Figura 16- Dados coletados nas entradas e saídas dos tanques com lemnas para análise de DQO (mg/L)



Ao avaliar a concentração de DQO no experimento, notou-se uma concentração de 407mg/L e 379mg/L de DQO na entrada dos tanques A e B (Figura 20). Em outro momento, a concentração de DQO na entrada dos tanques A e B chegaram a um valor de 71 e 102mg/L, sendo as mais baixas obtidas durante o experimento. No período em que ocorram as maiores concentrações de DQO (407 e

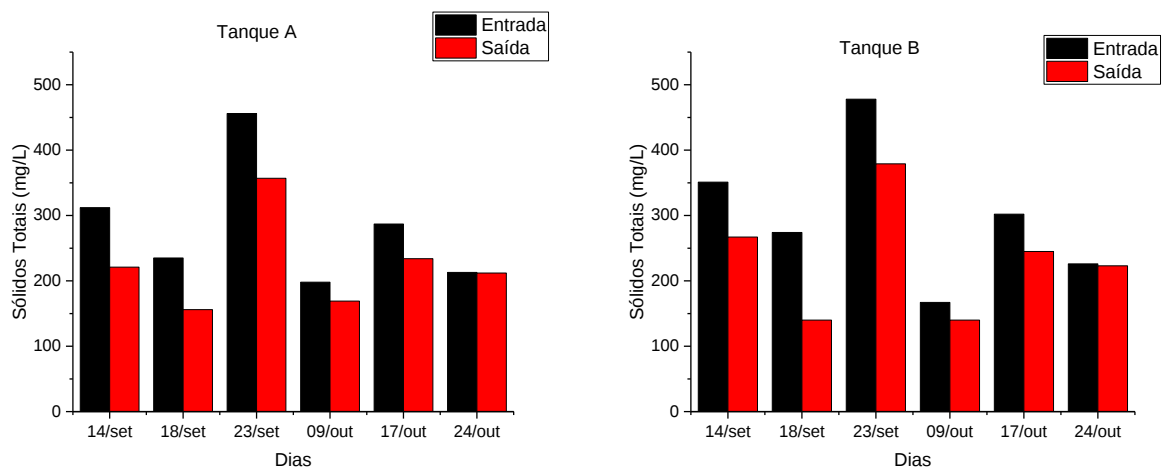
379mg/L), a eficiência de remoção foi de 76,4% e 72% e para as menores concentrações de DQO, as eficiências de remoção foram de 77,4% e 71,5%. Tais valores de remoção foram equivalentes aos de Adhikari et al. (2014), obtiveram eficiências de remoção de DQO de 76% com um período de detenção de 22,5dias, com concentrações de entrada de 500mg/L, utilizando a espécie *Lemna minor*.

Porém é nas menores concentrações de entrada que o desempenho das lemnas se mostra favorável quanto à eficiência de tratamento. Estes resultados foram aparentes entre os dias 06 a 17 de outubro, quando a concentração da DQO do esgoto encontrava-se em média de 124,6mg/L. Garcia (2015) também constatou que em menores concentrações de entrada, a eficiência apresenta-se maior em relação ao polimento do efluente doméstico.

5.2.3 Sólidos Totais (ST)

As concentrações de sólidos totais obtidas para os dois tanques com lemnas na entrada e saída encontram-se na Figura 17.

Figura 17- Dados coletados nas entradas e saídas dos tanques com lemnas para análise de Sólidos Totais (mg/L)



Ao avaliar as concentrações de sólidos totais nos tanques, nota-se que os valores máximos para entrada foram os coletados no dia 23 de setembro, para ambos os tanques, sendo as concentrações de 478mg/L para o A e 456mg/L para o B. Já os valores mínimos encontrados foram os coletados no dia 09 de outubro, para ambos os tanques, sendo as concentrações na entrada de 167mg/L para o A e 198mg/L para o B. As eficiências apresentaram valores calculados de 16% e 15% para cada tanque.

A partir dos dados apresentados, pode-se observar que para as concentrações afluentes mais elevadas, a eficiência de remoção se aproxima da média encontrada e, ao contrário dos resultados obtidos para DBO e DQO, em maiores concentrações o desempenho das lemnas com relação à eficiência do tratamento se mostrou mais positiva.

Matos et al. (2014) encontraram concentrações de médias de $50,4 \pm 9,7 \text{ mg/L}$ de sólidos totais na entrada do sistema de tratamento com lemnas e de $28 \pm 5,9 \text{ mg/L}$ na saída, com eficiência de 44,4% com tempo de detenção de 1dia para cada lagoa, em sistemas de 4 lagoas em série, totalizando 4dias.

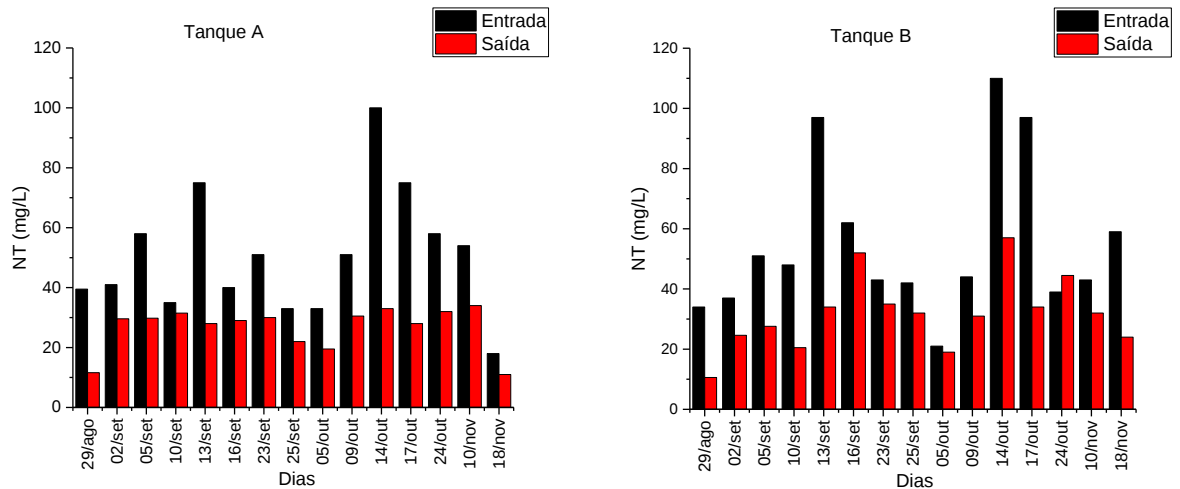
Garcia (2015) obteve uma eficiência maior em relação ao polimento do efluente doméstico para um tempo de detenção hidráulico de 3dias, obtendo uma eficiência de 18%, sendo este valor próximo do resultado encontrado para o tempo de detenção de 8dias utilizado neste trabalho.

Journey et al. (1993) e Iqbal (1999) citam que os principais mecanismos para redução de sólidos nas lagoas com lemnas são a filtração física pelas raízes, a barreira para o vento. As melhores remoções de ST nas lagoas de lemnas podem ser atribuídas ao menor desenvolvimento de algas e melhor sedimentação devido ao efeito de sombreamento e condições de imobilidade fornecida pela cobertura com lemnas.

5.2.4 Nitrogênio total (NT), Nitrato (NO_3) e Fósforo total (PT)

Neste item foi avaliada a remoção dos nutrientes NT, NO_3 e PT nos tanques com lemnas, com coletas de amostras da entrada e saída, da mesma forma realizada para os demais parâmetros acima, porém com análises a cada 3dias. Na Figura 18 estão representados os dados obtidos para Nitrogênio Total (NT).

Figura 18- Dados coletados nas entradas e saídas dos tanques com lemnas para análise de Nitrogênio total (mg/L)

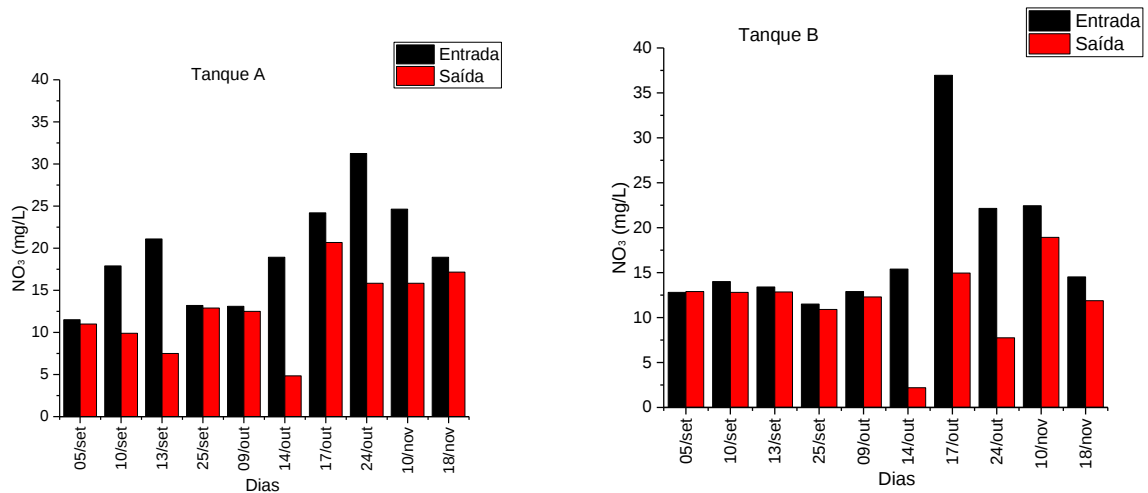


Ao avaliar os dados de nitrogênio total (NT), notou-se que os valores máximos para entrada foram os coletados no dia 14 de outubro, sendo as concentrações de 100mg/L para o A e 110mg/L para o B. As eficiências calculadas para o primeiro foi de 67% e para o segundo de 48%. Porém os valores mínimos encontrados foram os coletados no dia 18 de novembro para o tanque A e 05 de outubro para o tanque B. As concentrações na entrada do primeiro foram de 18mg/L e para o segundo de 21mg/L. As eficiências apresentaram valores calculados de 39% para o A e 10% para o B.

A remoção do nutriente nas lagoas com lemnas apresentou resultados positivos. Nota-se que as concentrações de NT sofreram uma pequena redução nas entradas das lagoas durante o período de monitoramento. Assim como em outras variáveis, ocorreu um pico de NT, devido à variação da composição do efluente oriundo da ETE. Garcia (2015) obteve remoção de 36% utilizando 3dias de TDH. Quando comparado com a eficiência média obtida de 47,54%, nota-se que para o TDH utilizado (8dias), a porcentagem removida apresentou maior eficiência.

Feito isso, apresenta-se na Figura 19 os dados referentes às coletas de nitrato (NO_3) para a entrada e saída das lagoas experimentais.

Figura 19- Dados coletados nas entradas e saídas dos tanques com lemnas para análise de Nitrato (mg/L)

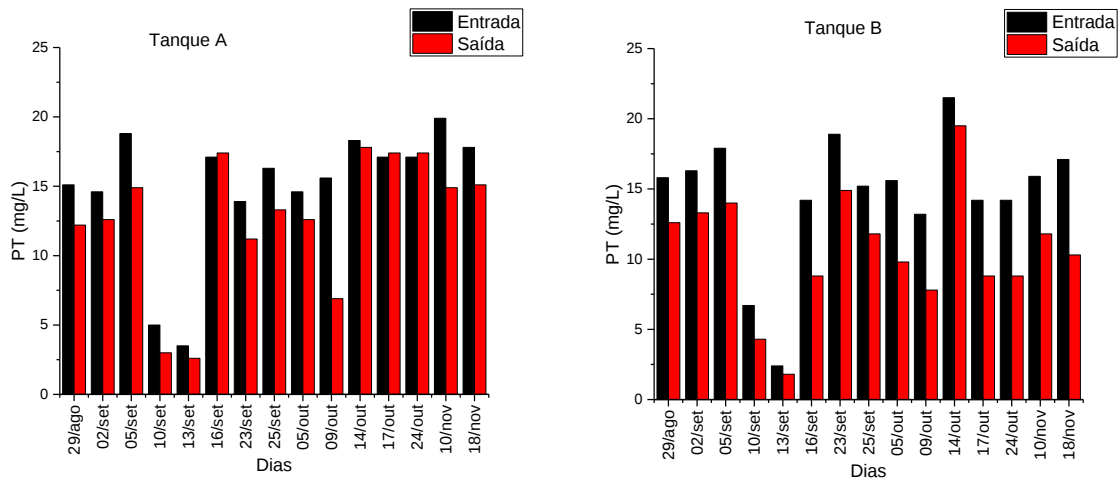


Ao avaliar os dados de Nitrato (NO_3), notou-se que os valores máximos para entrada foram os coletados no dia 24 de outubro para o tanque A e 17 de outubro para o tanque B, sendo as concentrações de 31,24mg/L para o primeiro e 36,96mg/L para o segundo. As eficiências calculadas no Tanque A foi de 49,2% e para o B de 59%. Já os valores mínimos encontrados foram os coletados no dia 05 de setembro para o tanque A e as concentrações na entrada do A foi de 11,5mg/L e no B de 11,5mg/L no dia 25 de setembro. As eficiências médias apresentaram valores calculados de 4,3% para o primeiro e 5,2% para o segundo tanque.

Matos et al. (2014) obteve com tempo de detenção de 4dias, valores de entrada de NO_3 $0,51 \pm 0,16 \text{ mg/L}$ e saída de $0,53 \pm 0,43 \text{ mg/L}$ com eficiência de 4,05%, com isto os valores encontrados no sistema em questão também não obteve remoções significativas. Para Ge et al. (2012) eficiências na remoção de nitrato foi melhor alcançada com tempo de detenção de entre 18 e 27dias, com eficiências de 75% a 95,1%.

A seguir na Figura 20, apresentam-se na os dados referentes às coletas de fósforo total (PT) para a entrada e saída dos tanques A e B.

Figura 20- Dados coletados nas entradas e saídas dos tanques com lemnas para análise de PT (mg/L)



Ao avaliar os dados de fósforo total (PT), notou-se que os valores máximos para entrada foram os coletados no dia 10 de novembro para o tanque A e 14 de outubro para o tanque B, sendo as concentrações de 19,9mg/L para o primeiro e 21,50mg/L para o segundo. As eficiências calculadas no A foi de 25,1% e para o B de 9,1%. Já os valores mínimos encontrados foram os coletados no dia 13 de setembro para ambos os tanques e as concentrações na entrada do A foi de 3,5mg/L e no B de 2,4mg/L. As eficiências apresentaram valores calculados de 25,7% para o primeiro e 25% para o segundo.

A absorção de nitrogênio, fósforo e potássio, entre diversos outros nutrientes, é fundamental para o metabolismo de todos os vegetais superiores. Os valores para a remoção de fósforo por lemnáceas encontrados na literatura são de 5 a 10 vezes menores do que para a remoção de nitrogênio, embora estes valores encontrem-se em diferentes escalas na bibliografia.

As remoções obtidas no experimento foram equivalentes ao estudo realizado por Matos et al. (2014), que obteve 28,7% de PT utilizando *Lemna gibba*.

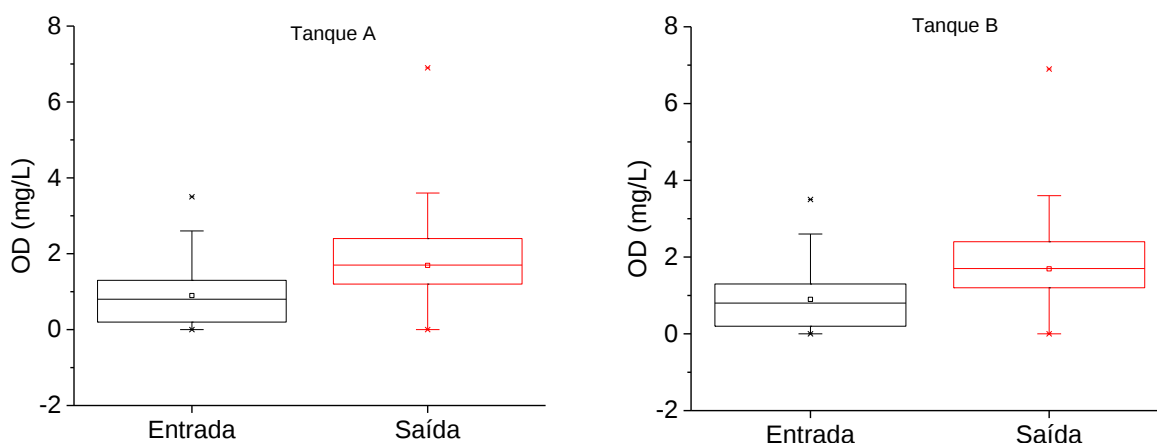
O fósforo é removido de sistemas com lemnáceas por meio da assimilação pelas plantas, precipitação, adsorção sobre partículas de argila e matéria orgânica. Segundo Iqbal (1999), a capacidade de absorção pelas plantas depende da frequência de coleta, taxa de crescimento e disponibilidade de fósforo na forma de ortofosfato.

5.2.5 Oxigênio Dissolvido (OD) e potencial Hidrogeniônico (pH)

As amostras foram coletadas na entrada e saída dos tanques com lemnas, com frequência diária, para análise de OD. Os Resultados são apresentados na Figura 21 e Tabela 9.

Neste trabalho, observou-se o aumento de OD após o tratamento nas lagoas de lemnas. Em alguns momentos o oxigênio dissolvido na entrada atingiu valores nulos e após o tratamento estes valores elevaram-se.

Figura 21- Distribuição dos valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) na entrada e saída dos Tanques A e B



Ao mesmo tempo em que a atividade fotossintética favorece a oxigenação, a cobertura vegetal diminui a superfície de contato com a atmosfera reduzindo a difusão do oxigênio, sendo ponto de discordância entre autores a respeito da presença de oxigênio dissolvido em lagoas de lemnas (AL-NOZAILY et al., 2000; KÖRNER et al., 1998. Houve melhoria nas condições de oxigenação de ambos os tanques A e B, com 94,8% e 87,8%, respectivamente. O valor de 94,8% obtido apresenta-se maior do que Garcia (2015) encontrou para um TDH de 3 dias com 88,9%.

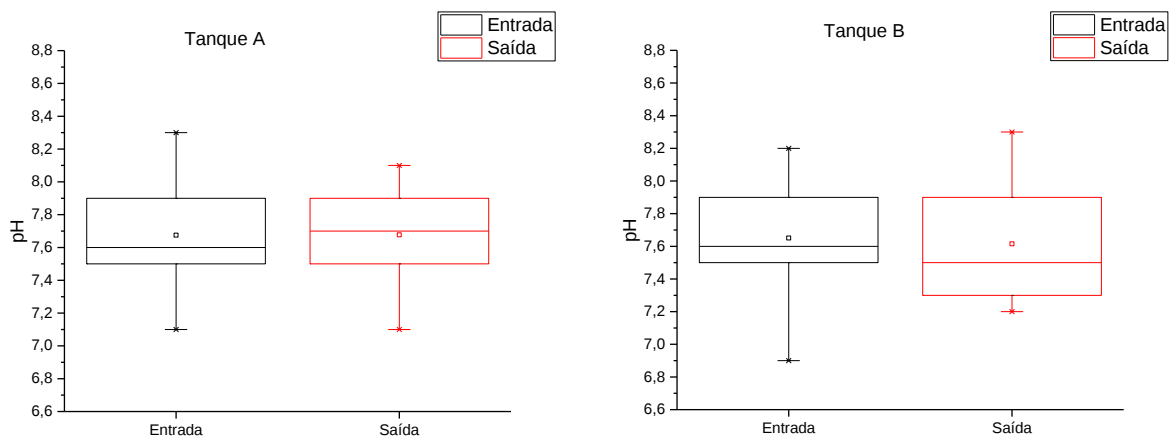
Tabela 9- Valores médios e desvio padrão, acréscimo na oxigenação do esgoto

	Oxigênio Dissolvido (mg/L)		
	Entrada	Saída	Acréscimo OD (%)
Tanque A	0,96 ± 0,8	1,87 ± 1,26	94,8
Tanque B	0,9 ± 0,89	1,69 ± 1,19	87,8

Sabe-se que a principal função das lemnas em tratamento secundário e terciário é a recuperação de nutrientes, mas deve-se considerar que as plantas formam uma manta na superfície da água inibindo a entrada de oxigênio, tanto por difusão, quanto pela produção pelo fitoplâncton (IQBAL, 1999).

A partir dos dados coletados, pode-se perceber que houve um aumento do pH após o tratamento com as macrófitas aquáticas. Porém tal aumento não se mostrou significativo a ponto de exercer grandes modificações no polimento. As médias calculadas nas entradas e saídas dos tanques ficaram em torno de $7,61 \pm 0,23$ a $7,67 \pm 0,29$, tais resultados são apresentados na Figura 22.

Figura 22- Valores médios de pH na entrada e saída dos tanques



A Resolução 430/2011 do CONAMA (BRASIL, 2011) e do decreto estadual 8468/76 (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB, 1976) prevê que, para lançamento de efluentes, considera-se aceitável o pH na faixa entre 5,0 e 9,0; faixa onde se encontram todas as amostras analisadas.

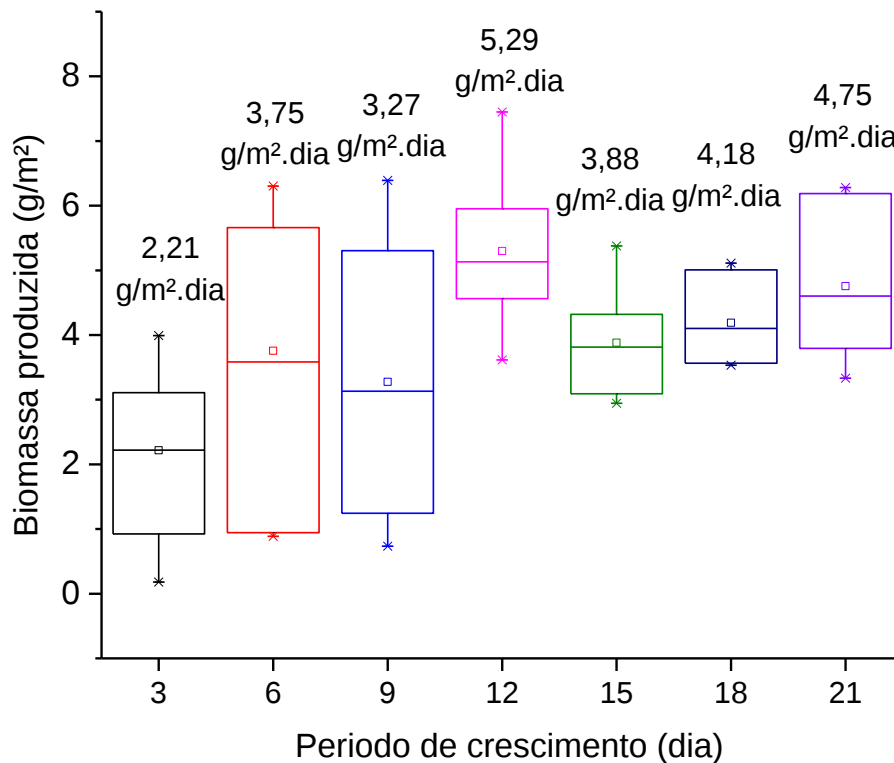
5.3 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO

O experimento de cultivo das lemnas teve início no dia 23 de julho até 12 de outubro de 2015, totalizando 84 dias.

A produção total de biomassa de lemnas no período de 84 dias do experimento foi de 21,15kg, cultivadas em tanque de 5m² de área (equivalente a 4,2kg/m²). As lemnas após secagem em estufa obteve-se uma composição média de 92% de água, e 8% de biomassa seca, o que equivale a 1,7Kg de matéria seca em 84 dias.

Os resultados relativos aos períodos de crescimento são apresentados na Figura 23, que representa os valores médios de crescimento da planta em relação aos períodos de cultivo, por metro quadrado de área.

Figura 23- Biomassa produzida em relação ao peso seco (g) cultivados em 1m² em função do períodos de cultivo (dia), e valores médios de produção (g/m².dia)



Ao avaliar o crescimento das lemnas, pode-se verificar que entre 12 e 21 dias de crescimento os dados de biomassa produzida por unidade de área apresentaram menor dispersão (ou variação), diferente do que ocorre entre 6 e 9 dias, nos quais os dados mostram maior amplitude de variação.

Pela Figura 22 também é possível indicar que no 12º dia de cultivo se obtém a maior taxa média de produção, 5,29g/m².dia.

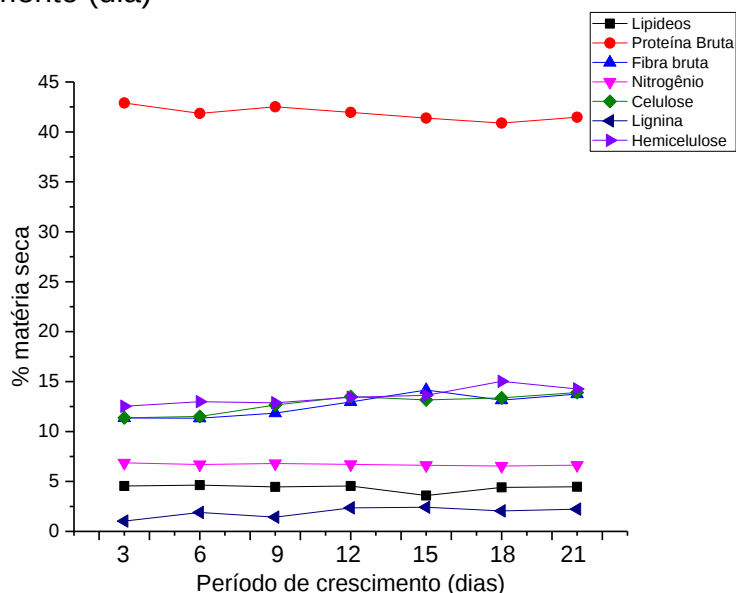
Ge et al. (2012), identificaram em sua pesquisa que o ciclo de crescimento da lemna entre 15 a 18 dias. Após esse período o crescimento e a sequente produção de biomassa se tornam estacionários. Há uma fase entre o 6º e o 15º dia em que o crescimento é rápido, ocorrendo numa taxa de 3,5 g/m².dia (em massa seca), onde obtemos maiores taxas de crescimento, com valores médios de 3,75 ± 0,83g/m².dia (massa seca).

Entre o 6° e o 15° dia ocorre um ponto alto de crescimento no 12° dia de $5,29 \pm 0,45\text{g/m}^2.\text{dia}$ (massa seca). Após, ocorre um decréscimo na produção, o que pode ser explicado devido ao aumento da população de plantas na superfície do tanque, ocorrendo à competição por espaço e morte das plantas.

5.4 AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA COM O DECORRER DO PERÍODO DE CRESCIMENTO

Os seguintes componentes foram avaliados para caracterizar a composição química da planta: lipídeos, proteína bruta, fibra bruta, nitrogênio, celulose, lignina e a hemicelulose, apresentados na Figura 24.

Figura 24- Relação da composição química da lemna (%) em relação ao período de crescimento (dia)



Com relação aos valores médios obtidos na composição química da planta, com teor de proteína bruta de 41,85% maior em relação ao obtido por Costa (2014), que obteve teores de $6,53 \pm 0,21\%$ Amido; $12,83 \pm 0,05\%$ Celulose; $34,27 \pm 0,11\%$ Proteína Bruta; e $10,54 \pm 0,16\%$ Cinzas, utilizando *Landoltia punctata* cultivada em esgoto doméstico.

A Tabela 10 apresenta as porcentagens médias, referentes à composição química da planta.

Tabela 10- Composição da *Landoltia punctata*

Componente	% (matéria seca)
Celulose	12,78 ± 0,99
Fibra Bruta	12,65 ± 1,14
Hemicelulose	13,53 ± 0,86
Lignina	1,91 ± 0,51
Lipídeos	4,32 ± 1,11
Nitrogênio	6,69 ± 0,10
Proteína Bruta	41,85 ± 0,68

Devido à quantidade de proteína bruta não variar com o tempo de cultivo no esgoto, considerando a produção com 12º dia de cultivo, no que se obteve a melhor taxa de crescimento com 5,29g/m².dia (Figura 23), com produção total de 19,3t/ha.ano de biomassa seca de lemna, o equivalente a 8,07t/ha.ano de proteína bruta disponível.

A quantidade média de celulose obtida, 12% em matéria seca, é compatível aos resultados obtidos por Chen et al. (2012) e por Ge et al. (2012) utilizando a *Landoltia punctata* e a *Lemna minor*. Ambos os autores afirmam que lemnas apresentam valores baixos de celulose em comparação com plantas terrestres, que possuem em média 50% de seu peso seco.

A proteína bruta obtida na biomassa da *Landoltia punctata*, em média foi de 43% (matéria seca). São encontrados diversos dados sobre o teor de proteína na biomassa de lemnas, os quais variam entre 6,8–45,0% (MOHEDANO, 2010; MATOS et al., 2014; CHEN et al., 2012). Em estudo com *Landoltia punctata* em esgoto doméstico, Matos et al. (2014) encontrou um teor de 38,08% (matéria seca) de proteína bruta, já Chen et al. (2012) obtiveram 16,27% (matéria seca) em condições naturais de crescimento e Tao et al. (2013) encontraram um valor 29,6% (matéria seca) em solução nutritiva padrão.

Essas diferenças encontradas são decorrentes da disponibilidade de nitrogênio no meio que, segundo Landolt e Kandeler (1987), é o principal fator que afeta a produção de proteína, pois este é utilizado na formação de aminoácidos e consequentemente de proteínas, sendo então esperado que em águas com maior quantidade de nitrogênio seja também maior o teor de proteínas.

Ao avaliar a concentração de NT e a quantidade de proteína bruta, verifica-se que no dia 14 de outubro, apresentado na Figura 24, a concentração de NT era 100mg/L, e a maior porcentagem de proteína bruta obtida foi de 45,3%. E na menor porcentagem obtida de proteína bruta de 35,54% a concentração de NT era de 39,5mg/L.

Dentre os componentes que mais se destaca na composição da *Landoltia punctata*, cultivada em esgoto doméstico, é a sua quantidade de proteína bruta, em média 41,85% de sua matéria seca. Isso favorece o uso da planta como matéria prima no preparo de rações, o que é favorecida devido à baixa quantidade de fibra bruta (IQBAL, 1999).

Como potencial uso da proteína de lemna na alimentação animal destaca-se devido a esta ser uma proteína origem de um resíduo do tratamento de esgoto, de baixo custo e elevado teor nutricional, Shammout e Zakaria (2015), afirmam que o uso da proteína de lemna como fonte de alimento para frangos de corte, em locais onde o custo de outras fontes de proteína como farelo de arroz e soja é elevado.

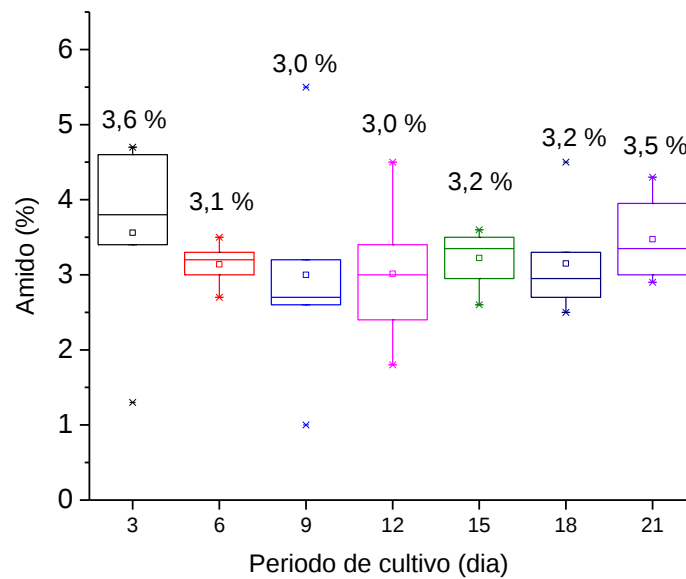
5.5 TEORES DE AMIDO

Os processos de enriquecimento de amido e crescimento das lemnas foram quantificados sendo avaliados os processos que mais representaram o enriquecimento de amido, condições de estresse, e fome de nutrientes,

5.5.1 Amido contido nas lemnas na etapa da avaliação do crescimento

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**5 são apresentados teores de amido obtidos nas lemnas cultivadas em efluente doméstico, seguindo os critérios de crescimento, com colheitas regulares de 3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 dias.

Figura 25- Quantificação de Amido (%) em relação ao período de crescimento (dia)

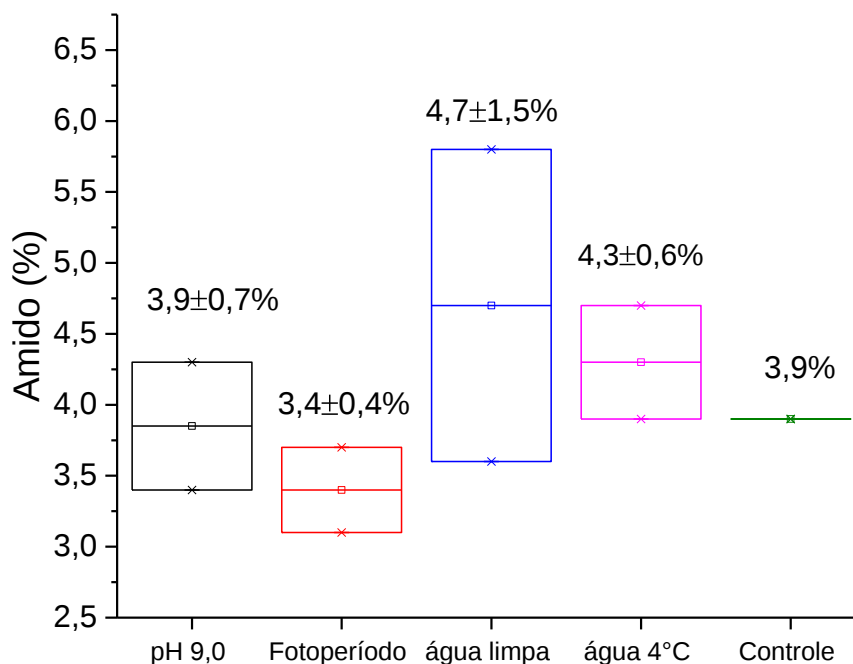


Pela Figura 25 pode-se verificar que devido à quantidade de alimento disponível no esgoto, as lemnas mantiveram-se estáveis quanto à quantidade de amido contido em sua biomassa, em média de $3,2 \pm 0,9\%$.

5.5.2 Amido contido nas lemnas no processo de enriquecimento

Na Figura 26 são apresentados os dados dos teores de amido obtidos após ensaios de enriquecimento.

Figura 26- Quantificação de Amido (%) em relação aos ensaios de enriquecimento



O maior teor de amido encontrado foi de 4,7% em biomassa seca, para a biomassa colocada em água limpa, quantidade ainda maior que a obtida por Tao et al. (2013), que foi de 3,0% (matéria seca), e bem menor do que os 24,59% (matéria seca) encontrados por Chen et al. (2012), ambos para a mesma espécie.

De modo geral, em condições que otimizam o crescimento (rico em nutrientes), a biomassa tem um percentual relativamente baixo de amido, visto que para sua reprodução a energia é adquirida por meio da fotossíntese, que é também necessária para o armazenamento de amido, fazendo com que o acúmulo de amido concorra com o crescimento por energia (XIAO et al., 2013). Assim, a baixa quantidade de amido (4,7%) pode ser atribuída ao fato de terem sido cultivadas em esgoto doméstico, rico em nutrientes (COSTA, 2014).

O elevado teor de proteínas (43%) obtido, associado ao nível relativamente baixo de amido (3,6%) o que corroborando com Cui et al. (2011) e Xu et al. (2011), que afirmaram que o teor de proteína de biomassa de lemnas é correlacionado negativamente com o de amido. Chen et al. (2012), atestam nos seus resultados que a quantidade de proteína bruta é inversa à quantidade de amido. Eles obtiveram valores de 16,2% de proteína e 24,59% de amido.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os objetivos propostos e os resultados obtidos ao longo deste trabalho, pode-se afirmar e concluir que:

- Houve resultados positivos quanto à remoção da matéria orgânica e nutrientes presentes nos tanques com lemnas. Obteve-se uma eficiência média considerável para os parâmetros de DBO (38,5%), DQO (56,8%), sólidos totais (22,4%), NT (47,5%) e PT (27,7%), se tratando de um sistema operacional simples para o polimento de efluentes domésticos;
- O desempenho dos tanques contendo as lemnas foi satisfatório e não mostrou-se suscetível as condições climatológicas da região, apontando que há a possibilidade destas serem incorporadas aos processos de tratamento de esgoto de ETEs da região.
- A produção de biomassa mostrou-se elevada, com taxas de crescimento de 5,29 g/m². dia, equivalente a 19,3 t/ha.ano.
- Considerando a maior porcentagem 3,2% de quantidade de amido presente na biomassa, obteve-se uma produção equivalente de 0,6t/ha.ano de amido disponível.
- A composição química da *Landoltia punctata* apresentou valores de proteína bruta elevados, considerando sua produção em efluente, baixo custo, como alternativa para ração animal.
- O enriquecimento do amido da forma como foi feito, não mostrou-se eficiente no cultivo em esgoto doméstico, apresentando melhores rendimentos no cultivo da lemna em água limpa sob restrição de nutrientes.
- Os valores de proteína bruta $41,85 \pm 0,68\%$, encontrados são superiores em relação à quantidade de amido $3,2 \pm 0,9\%$, o que desaconselha o uso da espécie *Landoltia punctata* para produção de etanol cultivada nas condições utilizadas no experimento.

7 RECOMENDAÇÕES

Desse modo, recomenda-se realizar investigações referentes:

- Avaliar se as lemnas após secas mantem coliformes ativos ou que possam causar qualquer contaminação no uso para alimentação animal;
- Avaliar alternativas de uso na dieta animal da biomassa de lemna;
- Avaliar o polimento dos efluentes em comparação com sistema de polimento com e sem lemnas;
- Avaliar outras condições de estresse para enriquecimento de amido;
- Avaliar outro procedimentos de secagem da lemna.

Referências

- ADHIKARI, U; HARRIGAN, T.; REINHOLD D. M. Use of duckweed-based constructed wetlands for nutrient recovery and pollutant reduction from dairy wastewater. **Ecol. Eng.**, v. 78, p. 6–14, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.05.024>>. Acesso em: 15 abr 2015.
- AL-NOZAILY, F.; ALAERTS, G.; VEENSTRA, S. Performance of duckweed-covered sewage lagoons – I. Oxygen balance and COD removal. **Water Research**, Londres v. 34, n. 10, p. 2727-2733, 2000.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 15. ed. Washington: AOAC INTERNATIONAL, 1990. 1141p.
- BALIBAN, R. C.; ELIA, J. A.; FLOUDAS, C. A.; XIAO, X.; ZHANG, Z.; LI, J.; CAO, H.; MA, J.; QIAO, Y.; HU, X. Thermochemical conversion of duckweed biomass to gasoline, diesel, and Jet fuel: Process synthesis and global optimization. **Petrochemical Research Institute**, Beijing, China, v. 52, n. 33 p. 11436-11450, 2013.
- BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.
- CAMPOS, J. R. **Alternativas para tratamento de esgotos: pré-tratamento de águas para abastecimento**. Americana: Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, 1994. 112 p.
- CAVALCANTI, P. F. F.; ADRIANUS VAN HAANDEL, A.; VON SPERLING, M.; KATO, M. T.; LUDUVICE, M. L.; MONTEGGIA, L. O. Pós-tratamento de efluentes anaeróbios em lagoas de polimento. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. v. 2 Coletânea de Trabalhos Técnicos. Projeto PROSAB, FINEP.
- COMPANIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO- CETESB. Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Disponível em: <www.unesp.br/pgr/pdf/decreto_8468_1976.pdf>. Acesso em: 18 abr 2016.
- CHAIPRAPAT, S.; CHENG, J.; CLASSEN, J. J.; DUCOSTE, J. J.; LIEHR, S. K. Modeling nitrogen transport in duckweed pond for secondary treatment of swine wastewater. **J. of Environmental Engineering**, New York, v. 129, n. 8, p. 731-739. 2003.

CHEN, Q.; JIN, Y.; ZHANG, G.; FANG, Y.; XIAO, Y.; ZHAO, H. Improving production of bioethanol from duckweed (*Landoltia punctata*) by pectinase pretreatment. **Energies**, Basel, v. 5, n. 1, p. 3019-3032, 2012.

CHENG, J. J.; STOMP, A. M. Growing duckweed to recovery nutrients from wastewater and for production of fuel ethanol and animal feed. **Clean**, Weinheim, v. 37, n.1, p. 17-26, 2009.

CHENG, J.; BERGMANN, B. A.; CLASSEN, J. J.; STOMP, A. M.; HOWARD, J. W. Nutrient recovery from swine lagoon water by *Spirodela punctata*. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 81-85, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Séries históricas**. Brasília: Portal Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 12 de fev. 2016.

COSTA, F. N. **Valorização de *Landoltia punctata* proveniente de tratamento de esgoto doméstico através da hidrólise enzimática, visando à produção de etanol**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC, Florianópolis, 2014.

CUI, W; CHENG, J. J. Growing duckweed for biofuel production: a review. **Plant Biology**, Amsterdam, v. 17, n. 1, p. 16–23, 2015. Suplemento.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Soja na alimentação**. Brasília: Portal Brasil, 2015. <http://www.cnpso.embrapa.br/soja_alimentacao/index.php?pagina=7> Disponível em: 14 fev. 2016.

EL-SHAFI, S. A.; EL-GOHARY, F. A.; NASR, F. A.; VAN DER STEEN, N. P.; GIJZEN, H. J. Nutrient recovery from domestic wastewater using a UASB-duckweed pond system. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 98, n. 4, p. 798-807, 2007.

GARCIA, D. C. O. **Avaliação de lagoas de lemnáceas no polimento de esgoto doméstico e produção de biomassa**. 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado)– Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de São Paulo- UNESP, Ilha Solteira, 2015.

GE, X; ZHANG, N; PHILLIPS, G.; XU, J. Growing *Lemna minor* in agricultural wastewater and converting the duckweed biomass to ethanol. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 124, nov 2012, p. 485-488.

HASAN, M. R.; CHAKRABARTI, R. Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: a review. **Fisheries and Aquaculture Technical**, Rome: FAO, 2009. v. 531, p. 123.

HERNANDEZ, F. B. T.; LEMOS FILHO, M. A. F.; BUZETTI, S. **Software HIDRISA e o balanço hídrico de Ilha Solteira**. Ilha Solteira: UNESP, 1995. 45 p.

HUANG, M; FANG, Y; XIAO, Y; SUN, J; JIN, Y; TAO, X; MA, X; HE, K.; ZHAO, H; Proteomic analysis to investigate the high starch accumulation of duckweed (*Landoltia Punctata*) under nutrient starvation. **Industrial Crops and Products**, China, v. 59, n. 317, p. 299-308, 2014.

IATROU, E. I; STASINAKIS, A. S; ALOUPI, M. Cultivating duckweed *Lemna minor* in urine and treated domestic wastewater for simultaneous biomass production and removal of nutrients and antimicrobials. **Ecological Engineering**, Mytilene, v. 84, p. 632-639, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Ministério das cidades**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2008. Disponível em: <http://www.cidadessustentaveis.org.br/sites/default/files/arquivos/pesquisa_nacional_saneamento_basico_2008_ibge.pdf>. Acesso em: 13 mar 2015.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Ranking do Saneamento Instituto Trata Brasil Resultados com base no SNIS 2013. São Paulo: [s.n.], 2015. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/ranking/relatorio-completo-2015.pdf>>. Acesso em: 4 set 2015.

IQBAL, S. **Duckweed aquaculture, potentials, possibilities and limitations for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries**. Switzerland: SANDEC, 1999. 91 p. (Report, 6).

JOURNEY, W. K; SKILLICORN, P.; SPIRA, W. **A new aquatic farming system for developing countries: duckweed aquaculture**. Washington: World Bank Publication, 1993. 67 p.

KÖRNER, S.; LYATUU, G. B.; VERMAAT, J. E. The influence of *Lemna gibba* L. on the degradation of organic material in duckweed-covered domestic wastewater. **Water Research**, Londres, v. 32, n. 10, p. 3092-3098, 1998.

KUTSCHERA, U.; BRIGGS W. R. Seedling in buckwheat and the discovery if the photomorphogenic shade-avoidance response. **Plant Biology**, Amsterdam, v. 15, p. 931-940, 2014.

KUTSCHERA, U.; NIKLAS, K. J. Darwin-Wallace demons: survival of the fastest in populations of duckweeds and the evolutionary history of an enigmatic group of angiosperms U. Review article. **Plant Biology**, Amsterdam, v. 17, n. 1, p. 24-32, 2015. Suplemento.

LANDESMAN, L.; CHANG, J.; YAMAMOTO, Y.; GOODWIN, J. Nutritional value of wastewater-grown duckweed for fish and shrimp feed. **World Aquaculture**, Baton Rouge, v. 33, n. 4, p. 39-40, 2002.

LANDOLT, E.; KANDELER, R. The family of Lemnaceae - a monographic study: phytochemistry, physiology, application, bibliography. Biosystematic investigation the family of duckweeds. **Veroffenteichungendes Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule-ETH**, Zurich, v. 4, n. 95, p. 638, . 1987.

LENG, R .A. **Duckweed**: a tiny aquatic plant with enormous potential for agriculture and environment. Rome: FAO, 1999. 108 p. Disponível em: www.fao.org/ag/againfo/resources/documents/DW/Dw2.htm. _Acessado em: 25 fev 2016.

LES, D. H; CRAWFORD, D. J; LANDOLT, E; GABEL, J. D.; KIMBALL, R. T. Phylogeny and systematics of *Lemnaceae*, the duckweed family. **Systematic Botany**, Zurich, v. 27, n. 2, 2002, p. 221-240.

LES, D. H.; CRAWFORD, D. J. Landoltia (*Lemnaceae*), a new genus of Duckweeds. **Novon**, Ohio, v. 9, n. 4, p. 530-533, 1999.

MWALE, M; GWAZE, F. R. Characteristics of duckweed and its potential as feed source for chickens reared for meat production: a review. **Academic Journals**, Quênia, v. 8, n. 18, p. 689-697, 2013.

MATSUMOTO, T.; SCHINCARIO, L. C. S. Avaliação do desempenho de uma lagoa de estabilização do tipo facultativa através do perfil de distribuição da DBO. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 8., 1998, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 1998. p. 232-239.

MEN, B. X; OGLE, B. PRESTON T R: *Use of duckweed (Lemna spp) as replacement for soya bean meal in a basal diet of broken rice for fattening ducks. Livestock Research for Rural Development*, Cali, v. 7, n. 1, 1995. Disponível em: <<http://www.lrrd.org/lrrd7/3/2.htm>> Acesso em: 12 nov. 2015.

MOHEDANO, R. A. **Uso de macrófitas lemnáceas (*Landoltia punctata*) no polimento e valorização do efluente de suinocultura e na fixação de carbono.** 2010. 270 f. Tese (Doutorado)– Engenharia Ambiental, Universidade Federal Santa Catarina- UFSC, Florianópolis, 2010.

MOHEDANO, R. A.; COSTA, R. H. R.; TAVARES, F. A.; BELLI FILHO, P. High nutrient removal rate from swine wastes and protein biomass production by full-scale duckweed ponds. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 112, n. 1, p. 98-104, 2012.

MUGA, H. E.; MIHELICIC, J. R. Sustainability of wastewater treatment Technologies. **Journal of Environmental Management**, New York, v. 88, n. 3, p. 437-447, 2008.

OGEDA, T.; PETRI, D. Hidrólise enzimática de biomassa. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 7, p. 1549-1558, 2010.

RODRIGUES, R. C. **Métodos de análises bromatológicas de alimentos: métodos físicos, químicos e bromatológicos.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 177 p.

SHAMMOUT, M. W; ZAKARIA, H. Water lentils (duckweed) in Jordan irrigation ponds as a natural water bioremediation agent and protein source for broilers. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 83, p. 71–77, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.017>>. Acesso em: 19 fev 2016.

SILVA, D. J; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos.** 3. ed. Viçosa: UFV, 2002. 235 p. ISBN: 8572691057

SMITH, M. D.; MOELYOWATI, I. Duckweed based wastewater treatment (DWWT): design guidelines for hot climates. **Water Science and Technology**, Londres, v. 43, n. 11, p. 291-299, 2001

SREE, S.; APPENROTH K J.; Increase of starch accumulation in the duckweed *Lemna minor* under abiotic stress. **Albanian J Agric. Sci.**, Albania, p.11-14, 2014. Special Edition.

SU, H.; ZHAO, Y.; JIANG, J.; QIULI, L.; QING, L.; LU, Y.; ZHAO, H.; WANG, M. Use of Duckweed (*Landoltia punctata*) as a Fermentation Substrate for the production of higher alcohols as biofuels. **Energy Fuels**, Washington, v. 28, p. 3206–3216, 2014. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ef500335h>>. Acesso em: 4 out 2015.

TAO, X.; FANG, Y.; JIN, Y.; MA, X.; ZHAO, Y.; HE, K.; ZHAO, H.; WANG, H.; Comparative transcriptome analyses to investigate the high starch accumulation of duckweed (*Landoltia punctata*) under nutrient starvation. **Biotechnology for Biofuels**, London, v. 6, n. 72, p. 2-15, 2013. Disponível em: <<http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/6/1/72>>. Acesso em: 8 dez 2015.

MATOS, F. T.; LAPOLLI, F. R.; MOHEDANO, R. A.; FRACALLOSSI, D. M.; BUENO, G. W.; ROUBACH, R. Duckweed bioconversion and fish production in treated domestic wastewater. **Journal of Applied Aquaculture**, Londres. v. 26 n. 1, p. 49-59, 2014. DOI: 10.1080/10454438.2014.877740.

TAVARES, F. A. **Reúso de água e polimento de efluentes de lagoas de estabilização por meio de cultivo consorciado de plantas da família Lemnaceae e tilápias.**, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, 2008. 237 p.

TSAGARAKIS, K. P.; MARA, D. D.; ANGELAKIS, A. N. Application of cost criteria for selection of municipal wastewater treatment systems. **Water Air and Soil Pollution**, v. 142, n. 1-4, p. 187-210, 2003.

UMBREIT, W. W.; BURRIS, R. H.; STAUFFER, J. E. **Manometric techniques**. New York: Burgess Publishing, 1957. 338 p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”- UNESP. **Portal clima:** área de hidráulica e irrigação. Ilha Solteira: Unesp, 2015. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br/>>. Acesso em: 12 out. 2015.

VERMA, R.; SUTHAR, S. **Impact of density loads on performance of duckweed bioreactor: a potential system for synchronized wastewater treatment and energy biomass production**. New York: Wiley Online Library, 2015. Disponível em: <wileyonlinelibrary.com>. Acesso em: 8 set 2015.

WANG, W.; YANG, C.; TANG, X.; GU, X.; ZHU, Q.; PAN, K.; HU, Q.; MA, D. Effects of high ammonium level on biomass accumulation of common duckweed *Lemna minor*. **Environ Sci Pollut Res**, Berlin, v. 21, n. 24 p. 14202–14210, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. 2. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. 196 p.

YILMAZ, D. D.; AKBULUT, H. Effect of circulation on wastewater treatment by *lemna gibba* and *lemna minor* (floating aquatic macrophytes). **International Journal of Phytoremediation**, Philadelphia, v. 13, p. 970–984, 2011.

YIN, Y.; YU, C.; ZHAO, J.; SUN, C.; MA, Y.; ZHOU, G. The influence of light intensity and photoperiod on duckweed biomass and starch accumulation for bioethanol production. **Biosource Technology**, Amsterdam, v. 187, p. 84-90, 2015.

ZHAO, H.; APPENROTH, K.; LANDESMAN, L.; SALMEÁN, A. A.; LAM, E. Duckweed rising at chengdu. **Plant Mol. Biol.**, Zurich, v. 78, n. 6, p. 627-632, 2012.

ZHAO, X.; MOATES, G. K.; WILSON, D. R.; GHOGARE, R. J.; COLEMAN, M. J.; WALDRON, K. W. Steam explosion pretreatment and enzymatic saccharification of duckweed (*Lemna minor*) biomass. **Biomass and bioenergy**, Doetinchem, v. 72, p. 206-215, 2015. Disponível em: <doi:10.1016/j.biombioe.2014.11.003>. Acesso em: 20 abr 2015.

ZHAO, Y.; FANG, Y.; JIN, J.; HUANG, S.; BAO, T.; FU, Z.; HE, F.; WANG, M.; ZHAO, H. Pilot-scale comparison of four duckweed strains from different genera for potential application in nutrient recovery from wastewater and valuable biomass production Y. **Plant Biology**, Alemanha, v. 17, n. 1, p. 82–90, 2014. Suplemento.

ZHAO, Y.; FANG, Y.; JIN, Y.; HUANG, J.; BAO, S.; FU, T.; HE, Z.; WANG, F.; ZHAO, H; Potential of duckweed in the conversion of wastewater nutrients to valuable biomass: A pilot- scale comparison with water hyacinth. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 163, p. 82-91, 2014. Disponível em: <doi:10.1016/j.biortech.2014.04.018>. Acesso em: 8 set 2014.

XIAO, Y.; FANG, Y.; JIM, Y.; ZHANG, G.; ZHAO, H. Culturing duckweed in the field for the starch accumulation. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 48, p. 183-190, 2013. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.04.017>>. Acesso em: 5 jan de 2015.

XU, J.; SHEN, G. Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 848-853, 2011.

ZIMMO, O. R.; VAN DER STEEN, N. P.; GIJZEN, H. J. Nitrogen mass balance across pilotscale algae and duckweed-based wastewater stabilization ponds. **Water Research**, Londres, v. 38, n. 4, p. 913-920, 2004.